

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

Т. Ю. Киричок

**ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ СИСТЕМНОГО
АНАЛІЗУ ВИДАВНИЧО-ПОЛІГРАФІЧНОГО
ВИРОБНИЦТВА:
ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ЗАСАДИ
БАГАТОФАКТОРНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ
ПРОДУКЦІЇ.
КУРС ЛЕКЦІЙ**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня доктора філософії за освітньою
програмою «Видавництво та поліграфія»
спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2021

Рецензент *Палюх О. О., д-р техн. наук, доцент, в.о. зав. кафедри
репрографії Видавничо-поліграфічного інституту*

Відповідальний
редактор *Роїк Т. А., д-р техн. наук, проф.*

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 1 від 16.09.2021 р.)
за поданням Вченої ради Видавничо-поліграфічного інституту (протокол № 1 від 30.08.2021 р.)*

Електронне мережне навчальне видання
Киричок Тетяна Юріївна, д-р техн. наук, проф.

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ВИДАВНИЧО-ПОЛІГРАФІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА: ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ЗАСАДИ БАГАТОФАКТОРНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ. КУРС ЛЕКЦІЙ

Прикладні аспекти системного аналізу видавничо-поліграфічного виробництва: Теоретичні та практичні засади багатофакторного оцінювання якості продукції. Курс лекцій. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія» / Т. Ю. Киричок ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,87 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 92 с.

Навчальний посібник відповідає навчальній програмі дисципліни «Прикладні аспекти системного аналізу видавничо-поліграфічного виробництва» спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія» освітньо-наукової програми «Видавництво та поліграфія» підготовки докторів філософії. Посібник містить інформацію не лише про теоретичне підґрунтя багатофакторного оцінювання, але практичні приклади застосування підходів комплексної оцінки якості поліграфічної продукції у реальних наукових дослідженнях до розв'язання практичних завдань видавничо-поліграфічної галузі, а також практикум «Багатофакторне оцінювання якості виробу / технологічного процесу формування комплексного показника якості (за власним дисертаційним дослідженням)».

Для докторів філософії ВПІ КПІ ім. Ігоря Сікорського спеціальності 186 Видавництво та поліграфія.

© Т. Ю. Киричок, 2021
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

ЗМІСТ

Передмова	5
Розділ 1. Теоретичні основи формування комплексного показника якості	7
1.1. Багатофакторне оцінювання якості продукції	7
1.2. Формування комплексного показника якості продукції	10
1.3. Визначення комплексного показника якості продукції на основі функції корисності	11
1.4. Методи формування згорток	16
1.5. Алгоритм побудови функцій корисності	21
Висновки по розділу 1	27
Контрольні запитання до розділу 1.	28
Розділ 2. Практичне застосування багатофакторного оцінювання якості у поліграфії формуванням комплексного показника якості	29
2.1. Задача визначення найбільш точного показника зношеності за допомогою функції корисності	29
2.2. Визначення зносостійкості банкотної продукції шляхом формування комплексного показника зносостійкості за допомогою функції корисності	35
2.2.1. Дослідження змін часткових показників зношування експериментальних зразків банкнот під час імітації зношування	35
2.2.2. Багатофакторне дослідження зносостійкості банкнотного паперу	46
2.2.3. Багатофакторне дослідження впливу технологічних параметрів інтагліодруку на зносостійкість банкнот	57
2.3. Комплексне дослідження стійкості фарбового шару інтагліодруку до чинників штучного зношування	58
2.3.1. Методичне забезпечення досліджень стійкості фарбового шару інтагліодруку до чинників штучного зношування.	58
2.3.2. Результати дослідження впливу чинників штучного зношування на часткові показники зношеності зразків.	65
2.3.3. Комплексна оцінка зносостійкості фарбового шару.	70
2.4. Комплексне оцінювання підвищення зносостійкості банкнот за рахунок лакування.	76
Висновки до розділу 2.	83
Контрольні запитання до розділу 2.	84
Розділ 3. Багатофакторне оцінювання якості виробу / технологічного	86

процесу формування комплексного показника якості (за власним дисертаційним дослідженням). Практикум.

Контрольні запитання до розділу 3. 88

Рекомендований перелік літературних джерел 89

ПЕРЕДМОВА

Навчальний посібник охоплює поняття, концепції, принципи багатофакторного оцінювання виробничих процесів та виробів, що є важливим складником змісту навчальної дисципліни «Прикладні аспекти системного аналізу видавничо-поліграфічного виробництва».

Метою навчального посібника, як і викладання зазначеної навчальної дисципліни загалом, є формування системних компетентностей вченого-дослідника і майбутнього науково-педагогічного працівника видавництва та поліграфії. Знання і розуміння системного підходу до виробництва друкованої продукції дозволяє успішно застосувати ці компетентності у науковій роботі над темою дисертаційного дослідження та подальшій діяльності. Матеріал, наведений в навчальному посібнику, спрямований на підготовку фахівців, здатних розв'язувати задачі дослідницького та/або інноваційного характеру у сфері видавництва та поліграфії, що характеризуються комплексністю і невизначеністю умов, набуття компетентностей у сфері досліджень та інновацій; проєктування, удосконалення та створення нових видів виробів та технологій видавництва та поліграфії.

Посібник містить інформацію не лише про теоретичне підґрунтя багатофакторного оцінювання, але практичні приклади застосування підходів комплексної оцінки якості поліграфічної продукції у реальних наукових дослідженнях, а також практикум «Багатофакторне оцінювання якості виробу / технологічного процесу формуванням комплексного показника якості (за власним дисертаційним дослідженням)». Все це поглибить уявлення аспірантів про застосування багатофакторного дослідження поліграфічної продукції для новітніх технологій видавництва та поліграфії, дозволить досягнути важливого програмного результату навчання - застосовувати принципи, методи, засоби та технології системно-структурного підходу, багатофакторних та багатопараметричних теоретичних та емпіричних досліджень, методів оптимізації, базових алгоритмів моделювання виробів і

технологічних процесів та прийняття оптимальних рішень, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних виробів та технологій у видавництві та поліграфії та дотичних міждисциплінарних напрямках. здійснювати системні дії під час реалізації наукових досліджень та креативності.

В посібнику відображено окремі напрацювання наукової групи «Технологічне забезпечення якості захищеної від підроблення поліграфічної продукції», котра з 2008 р. успішно діє на кафедрі технології поліграфічного виробництва у співдружності з фахівцями Банкотно-монетного двору НБУ. Цей досвід буде корисним для майбутніх докторів філософії, дослідницька діяльність котрих спрямована не лише на проблеми захищеної продукції, але й на інші аспекти видавництва та поліграфії.

В підсумку це розвине індивідуальне системне мислення аспіранта, стане підґрунтям для розроблення власного плану наукового пошуку та дослідження.

Навчальний посібник призначено для здобувачів, аспірантів усіх форм навчання технічних спеціальностей. Курс відповідає нагальній ринковій потребі підготовки сучасних фахівців.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ

Кількісне оцінювання якості продукції є одним з найважливіших завдань кваліметрії. Якість продукції – це сукупність властивостей і характеристик продукції, які характеризують її здатності задовольняти обумовлені або передбачувані потреби [1, 2]. Проблемою кваліметричних вимірювань є відсутність конкретних фізичних мір якості продукції, через що якість оцінюють за окремими властивостями. Для визначення рівня якості продукції застосовують диференціальний і комплексний, або інтегральний, методи [3, 4]. У разі застосування диференціального методу порівнюють одиничні показники якості оцінюваного (або оцінюваних) і базового (еталонного) зразків продукції. Однак дуже часто оцінювані зразки продукції за одними властивостями мають високі показники якості, за іншими – низькі. Тому неможливо зробити достовірний висновок щодо рівня якості продукції як цілісного об'єкта.

1.1. Багатофакторне оцінювання якості продукції

Формування оцінки якості продукції за комплексом властивостей є надзвичайно важливим завданням та є об'єктом уваги фахівців різних галузей. При цьому часто постає завдання урахування великої кількості показників з метою забезпечення певного комплексного чи інтегрального показника якості [3–7]. Виходячи з цього, оцінка якості продукції є процесом прийняття рішення в умовах багатокритеріальності, тому важливою є розробка системи кількісної оцінки якості продукції. Це можливо реалізувати на основі різних підходів, зокрема на основі, функції корисності [8–11], MAI [12–19], віртуальної міри якості [4], нечіткого відношення переваги [20–22] тощо. Використання функції корисності для оцінювання якості продукції доцільне через необхідність здійснювати оцінку великої кількості об'єктів, тоді як у MAI, наприклад, через особливості формування матриць парних порівнянь кількість альтернатив бажано обмежити дев'ятьма, а більша кількість альтернатив потребує кластеризації [13].

Особливо недоліки диференціального методу оцінювання продукції проявляються на етапі досліджень нової продукції. Прикладом цього може бути підвищення зносостійкості банкотної продукції.

Зношеність банкнот характеризується низкою ознак та показників зношеності. Єдиний показник, котрий би достовірно характеризував зношеність банкноти – її стан, що характеризується втратою (повною чи частковою) властивостей через перебування в обігу чи в певних умовах випробувань, відсутній. Зносостійкість банкнот – здатність чинити опір зношуванню в процесі обігу чи в певних умовах випробувань – може встановлюватися лише шляхом порівняльних досліджень і характеризується низкою показників. Тому для урахування великої кількості показників під час вирішення задач вибору оптимального технологічного процесу виготовлення банкнот підвищеної зносостійкості необхідно розробити засоби формування комплексного показника зносостійкості банкотної продукції.

Показниками, що встановлюються під час досліджень, є оптичні, розмірні, структурні, міцнісні, локальні пошкодження, магнітні, електрофізичні, пошкодження фарбового шару тощо (рис. 1.1).

Проблемою досліджень зносостійкості банкотної продукції є відсутність єдиного показника, котрий би достовірно характеризував зношеність банкноти. Оцінка зносостійкості певного варіанту виготовлення зразка банкноти має розглядатися як задача багатокритеріального вибору, тобто ситуація прийняття рішення на заданій множині допустимих альтернатив $X = \{x_i | i = \overline{1, m}\}$ (видів банкнотного паперу, технологічних режимів інтагліодруку тощо) за потреби врахування сукупності властивостей (показників зношеності) альтернатив, котрі характеризуються вектором цільових функцій $\bar{f}_i = \{f_j(x_i) | j = \overline{1, n}; x \in X\}$, де $f_j(x_i)$ відповідає j -й властивості (в подальшому для зручності позначимо часткову цільову функцію $f_j(x_i) = x_{ij}$), за якою оцінюється альтернатива $x_i \in X$.

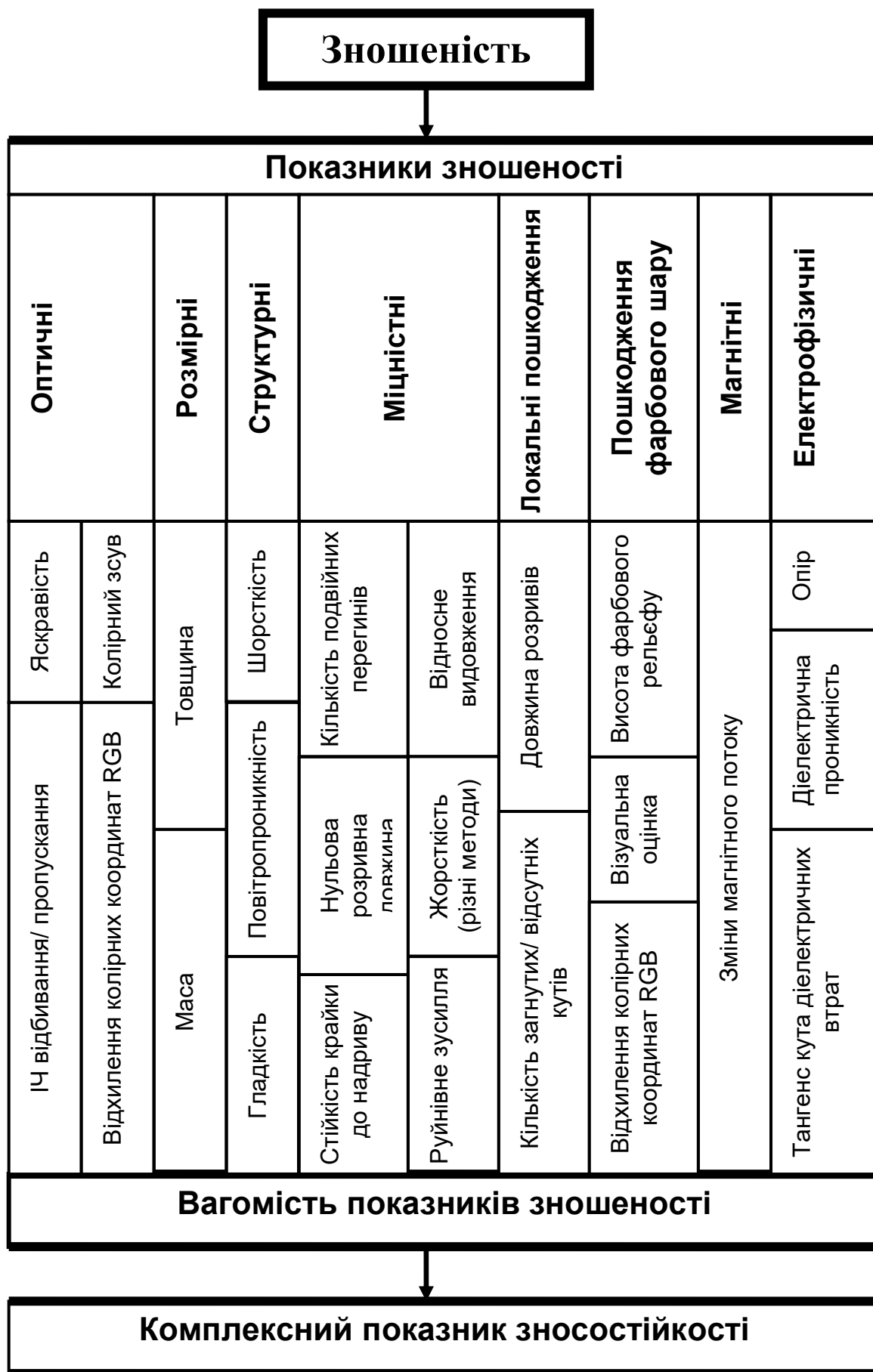


Рис. 1.1. Концептуальна модель визначення комплексного показника зносостійкості банкнот

1.2. Формування комплексного показника якості продукції

Етапами кваліметричних вимірювань є вимірювання різних показників якості (кількісних характеристик властивостей продукції) – механічних, теплових, електромагнітних, хімічних – та наступне формування комплексної оцінки якості продукції на основі отриманих на попередньому етапі результатів. Зазначимо, що термін "продукція" буде вживатися в розумінні стандартів [1, 2] як результат діяльності та процесів (матеріали, вироби, послуги, методики, інформація, програмне забезпечення тощо).

Формування комплексної оцінки якості продукції пропонується здійснювати за розробленою структурно-логічною схемою [10], що включає експертний, вимірювальний та обчислювальний блоки (рис. 1.2).

На першому етапі експертами здійснюється діагностика проблеми якості продукції, встановлюється мета та умови оцінювання якості (контролювання, забезпечування чи поліпшування), набір альтернатив (видів продукції, що оцінюються), встановлюються показники якості продукції (їх перелік, методи визначення (вимірювальний, розрахунковий, реєстраційний, експертний, статистичний, соціологічний тощо [10])). Важливим є також визначення вагомості показників якості, яке зазвичай здійснюється на основі експертних опитувань. Експертним блоком також здійснюється оцінювання показників якості (всіх або частини) за умови обрання для встановлення показників якості методу експертного оцінювання. Крім того, експертним блоком здійснюється, за необхідності, завдання базових та граничних показників якості, відносно яких встановлюється рівень якості продукції, відносна характеристика якості продукції, яка ґрунтується на порівнянні значень оцінюваних показників якості продукції з базовими значеннями відповідних показників, тобто показників, прийнятих за основу під час порівняльного оцінювання її якості [10]. Таким базовим показником може виступати регламентоване значення показника якості продукції (значення показника якості, яке встановлюють нормативні

документи [10]), зокрема, номінальне чи граничне. Експертним блоком здійснюється вибір методу формування комплексної оцінки якості продукції.

На основі даних експертного блоку здійснюються вимірювання, характеристик продукції, котрі є в подальшому основою для встановлення показників якості. Далі на основі даних, отриманих на експертному рівні та в результаті вимірювань, пропонується в обчислювальному блоці встановити комплексний показник якості продукції як ступінь переваги альтернатив, котрий може бути визначений на основі різних підходів, зокрема, функції корисності [8–11, 23–26].

1.3. Визначення комплексного показника якості продукції на основі функції корисності

Вибір найкращого варіанту із певної кількості можливих, виходячи із певної сукупності показників, що характеризують ці варіанти, є надзвичайно поширеним. Це задача багатокритеріального вибору, тобто ситуація прийняття рішення на заданій множині допустимих альтернатив $X = \{x_i | i = \overline{1, m}\}$ за потреби врахування сукупності властивостей альтернатив, котрі характеризуються вектором цільових функцій $\bar{f}_i = \{f_j(x_i) | j = \overline{1, n}; x \in X\}$, де $f_j(x_i)$ відповідає j -й властивості (в подальшому для зручності позначимо часткову цільову функцію $f_j(x_i) = x_{ij}$), за якою оцінюється альтернатива $x_i \in X$. Для порівняння альтернатив та вибору найкращої з них можливо використати підходи теорії корисності [8–11], відповідно до якої, існує певна міра цінності – функція корисності, котра дає можливість впорядкувати альтернативи. У цьому випадку оптимальним рішенням задачі багатокритеріального вибору є вибір альтернативи, на якій функція корисності набуває максимального значення. Кожна i -та альтернатива характеризується власною функцією корисності $F(x_i)$, котра характеризує якість альтернативи за всіма властивостями.

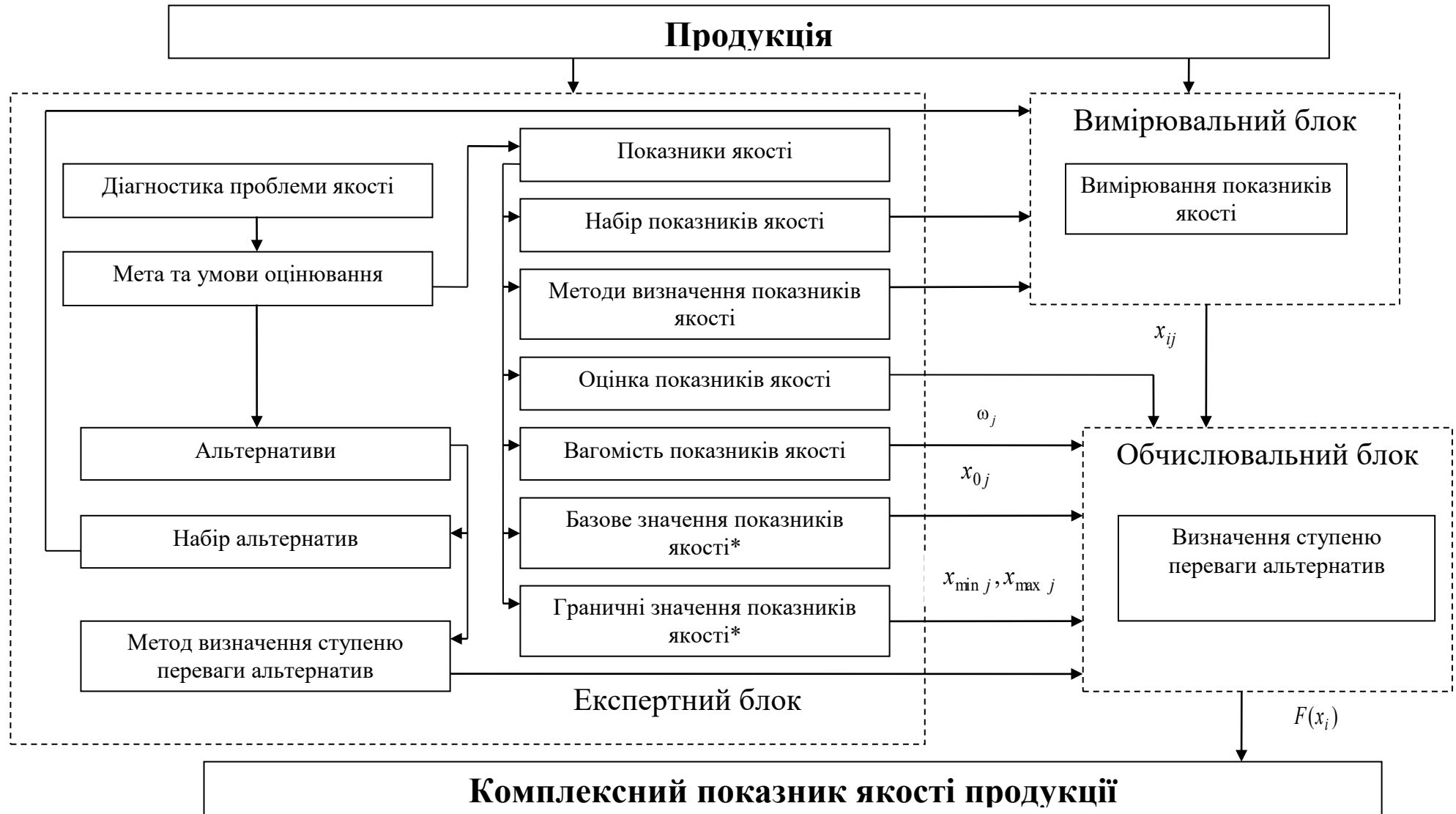


Рис. 1.2. Структурно-логічна схема визначення комплексного показника якості продукції. Тут * – показники, що не є обов’язковими для введення

Нормування часткових критеріїв. Формування функції корисності $F(x_i)$ для i -ї альтернативи відбувається за рахунок згортання векторного критерію \bar{f} в скалярний за допомогою різного виду згорток. При цьому для уникнення можливої ситуації, коли недостатнє значення часткової функції корисності стосовно одного критерію може бути компенсоване збільшенням значень часткової функції корисності стосовно іншого критерію, необхідно провести нормування часткових критеріїв.

Під час нормування та формування функції корисності необхідно враховувати, що характерним для переважної більшості систем є те, що часткові функції корисності не є односпрямованими: частина часткових критеріїв повинна бути максимізована, частина – мінімізована. У зв'язку з цим, часткові критерії поділяють на стимулятори (котрі повинні бути максимізовані) та дестимулятори (котрі повинні мінімізуватися), тобто $f_j(x) \rightarrow \max, j = \overline{1, k}, x \in S$ та $f_j(x) \rightarrow \min, j = \overline{k+1, n}, x \in D$, де S та D – множина критеріїв-стимуляторів та -дестимуляторів, відповідно.

На необхідності нормування (нормалізації) показників якості наголошують багато дослідників, котрі працюють в різних галузях [3, 4, 27–29]. Зазначається, що одиничні показники якості необхідно звести до однієї розмірності та порядку. Таке зведення пропонується здійснювати шляхом формування відносного показника якості – частки від ділення реального показника якості на його базове значення [4]. Однак, такий підхід, доречний для нормування стимуляторів, не враховує наявності дестимуляторів. Іншими авторами [30] пропонується, щоб показники коефіцієнтів вагомості повинні мали розмірність, зворотну розмірності відповідного показника, що, на нашу думку є дещо штучним і не відповідає змісту поняття "коефіцієнт вагомості".

Якщо значення часткового критерію x_{ij} для i -ї альтернативи змінюється в межах $[x_{\min j}, x_{\max j}]$, де $x_{\min j} = \min_i x_{ij}$ та $x_{\max j} = \max_i x_{ij}$ – мінімальне та

максимальне значення часткового критерію відповідно, то частковий критерій може нормуватися таким чином:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}}, \quad (1.1)$$

тобто зводиться до інтервалу $[0,1]$. Однак, таке нормування може призводити до від'ємної корисності. Тому для дестимуляторів необхідно використовувати нормування:

$$x'_{ij} = 1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}}. \quad (1.2)$$

Ще один варіант нормування, котрий пропонується – зведення часткових критеріїв до бажаного значення критерію, в якості якого може виступати певне еталонне значення часткового критерію, яким може виступати базове, регламентоване чи номінальне значення показника якості продукції [1, 2], або, зокрема, максимальне значення для стимуляторів $x_{\max j}$ ($x_{\max j} = \max_i x_{ij}$) та мінімальне значення для дестимуляторів $x_{\min j}$ ($x_{\min j} = \min_i x_{ij}$). Тобто, в останньому випадку в якості еталонного рішення доцільно обрати ідеальний варіант, що характеризується максимальними значеннями стимуляторів та мінімальними значеннями дестимуляторів:

$$x_{0j} = \begin{cases} x_{\max j}, & j = \overline{1, k} \\ x_{\min j}, & j = \overline{k+1, n} \end{cases}. \quad (1.3)$$

Тоді стимулятори для всіх $j = \overline{1, k}$ нормуються таким чином:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{\max j}}. \quad (1.4)$$

Однак, для такого способу нормування необхідно враховувати ситуацію, коли $x_{\min j} = 0$, тобто множина дестимуляторів $D = D' \cup D^0$:

$$x_{0j} = \begin{cases} x_{\max j}, & j = \overline{1, k}, x \in S \\ x_{\min j} \neq 0, & j = \overline{k+1, m}, x \in D' \\ x_{\min j} = 0, & j = \overline{m+1, n}, x \in D^0 \end{cases}.$$

У разі, коли $x_{\min j} = 0$, згортка певних видів може дорівнювати нулю [30], що робить неможливим визначення комплексного показника якості.

Тоді дестимулятори, для яких $x_{\min j} \neq 0$, нормуємо для всіх $j = \overline{k+1, m}$, таким чином:

$$x'_{ij} = \frac{x_{\min j}}{x_{ij}}, \quad (1.5)$$

а для всіх $j = \overline{m+1, n}$ нормування дестимулятора пропонується проводити як відхилення від найгіршого значення, що є окремим випадком нормування (1.2):

$$x'_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}}. \quad (1.6)$$

Тут $x_{\max j}$ – найгірше значення для дестимулятора.

Нормування у разі ситуації, коли стимулятори чи дестимулятори змінюють знак, може здійснюватися за рахунок урахування у функції корисності як часткового критерію різниці між еталонним та дійсним значенням.

Обидва пропоновані варіанти нормування можуть бути застосовані для нормування матриці часткових критеріїв альтернатив під час формування функції корисності. Нормування зведенням до інтервалу $[0,1]$ не потребує урахування наявності дестимуляторів, базове значення котрих дорівнює нулю. Однак, нормування зведенням до інтервалу $[0,1]$, на нашу думку, може призводити до необґрунтованого заниження функції корисності альтернатив у випадку, якщо значення часткових критеріїв є близькими між собою та наближеними до найкращого значення, або до необґрунтованого завищення функції корисності альтернатив у випадку, якщо значення часткових критеріїв є близькими між собою та наближеними до найгіршого значення. Такого недоліку позбавлений варіант нормування зведенням часткових критеріїв до еталону, однак він потребує урахування наявності дестимуляторів, базове значення котрих дорівнює нулю. Крім того, нормування зведенням до еталону дає змогу визначити функцію корисності для безальтернативного варіанту шляхом нормування його зведенням до еталону, котрий є певним ідеальним варіантом, яким, як вже вище

зазначалося, може виступати базове, регламентоване чи номінальне значення показника якості продукції [1, 2], в той час як нормування зведенням до інтервалу $[0,1]$ вимагає як мінімум двох альтернатив (якщо граничні значення не задані). Важливо, що саме нормування зведенням до еталону надає можливість оцінки рівня якості продукції шляхом порівняння з базовим, регламентованим чи номінальним значенням показника якості продукції [1].

1.4. Методи формування згорток

Формування функції корисності $F(x_i)$ для i -ї альтернативи шляхом згортання векторного критерію \bar{f} в скалярний можливе з використанням згорток, зокрема адитивної

$$F(x_i) = \sum_{j=1}^n \omega_j x_{ij} \quad (1.7)$$

та мультиплікативної

$$F(x_i) = \prod_{j=1}^n x_{ij}^{\omega_j}, \quad (1.8)$$

які є найбільш поширеними [12–17] та часто використовуються одночасно для формування адитивно-мультиплікативних згорток різного виду, як класичного, так і побудованих на основі поліному Колмогорова – Габера [8].

В формулах (4.7), (4.8) і далі ω_j – вага j -го критерію, $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$.

Недоліком таких методів згортки є, зокрема, те, що недостатнє значення часткової функції корисності стосовно одного критерію може бути компенсоване збільшенням значень часткової функції корисності стосовно іншого критерію [12]. Втім, цього недоліку можна уникнути шляхом нормування часткових критеріїв. Є певні застереження щодо необхідності односпрямованості часткових функцій корисності [8]. Крім того, на адекватність моделі функції корисності впливає топологічний розподіл альтернатив в просторі часткових критеріїв [8]. Для розповсюдження

моделей функції корисності на більш широкий спектр задач вже розроблено низку модифікацій згорток часткових критеріїв. Це, наприклад, адитивно-мультиплікативна

$$F(x_i) = \sum_{j=1}^n \omega_j x_{ij} + \prod_{j=1}^n x_{ij}^{\omega_j} \quad (1.9)$$

та ентропійна згортки [11]:

$$F(x_i) = \sum_{j=1}^n \omega_j x_{ij}^{\omega_j}. \quad (1.10)$$

Тоді з урахуванням нормувань зведенням до інтервалу $[0,1]$ (1.1), (1.2) та зведенням до еталону (1.4)–(4.6) вирази для згорток (1.7)–(1.10) матимуть вигляд, відповідно:

адитивна згортка

$$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} + \sum_{j=k+1}^n \omega_j \left(1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right), \quad (1.11)$$

$$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} + \sum_{j=k+1}^m \omega_j \frac{x_{\min j}}{x_{ij}} + \sum_{j=m+1}^n \omega_j \left(1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right); \quad (1.12)$$

мультиплікативна згортка

$$F(x_i) = \prod_{j=1}^k \left(\frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right)^{\omega_j} \prod_{j=k+1}^n \left(1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right)^{\omega_j}, \quad (1.13)$$

$$F(x_i) = \prod_{j=1}^k \left(\frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right)^{\omega_j} \prod_{j=k+1}^m \left(\frac{x_{\min j}}{x_{ij}} \right)^{\omega_j} \prod_{j=m+1}^n \left(1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right)^{\omega_j}; \quad (1.14)$$

адитивно-мультиплікативна згортка

$$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} + \sum_{j=k+1}^n \omega_j \left(1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right) + \prod_{j=1}^k \left(\frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right)^{\omega_j} \prod_{j=k+1}^n \left(1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right)^{\omega_j}, \quad (1.15)$$

$$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} + \sum_{j=k+1}^m \omega_j \frac{x_{\min j}}{x_{ij}} + \sum_{j=m+1}^n \omega_j \left(1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right) + \prod_{j=1}^k \left(\frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right)^{\omega_j} \prod_{j=k+1}^m \left(\frac{x_{\min j}}{x_{ij}} \right)^{\omega_j} \prod_{j=m+1}^n \left(1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right)^{\omega_j}, \quad (1.16)$$

$$+ \prod_{j=1}^k \left(\frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right)^{\omega_j} \prod_{j=k+1}^m \left(\frac{x_{\min j}}{x_{ij}} \right)^{\omega_j} \prod_{j=m+1}^n \left(1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right)^{\omega_j} ;$$

ентропійна згортка

$$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \left(\frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right)^{\omega_j} + \sum_{j=k+1}^n \omega_j \left(1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right)^{\omega_j}, \quad (1.17)$$

$$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \left(\frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right)^{\omega_j} + \sum_{j=k+1}^m \omega_j \left(\frac{x_{\min j}}{x_{ij}} \right)^{\omega_j} + \sum_{j=m+1}^n \omega_j \left(1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right)^{\omega_j}. \quad (1.18)$$

Іншими способами формування функції корисності є підходи, характерні для задач розміщення [20] – оптимальною вважається альтернатива з векторним критерієм, найближчим до певного еталонного рішення в багатовимірному просторі часткових критеріїв. Всі модифікації функції корисності під час використання такого підходу ґрунтуються на використанні різних метрик, що задаються у критеріальному просторі R^n . Метрикою є числова функція $\rho = \rho(y, z)$, котра кожній парі векторів y, z критеріального простору R^n зіставляє невід'ємне число, яке називають відстанню між векторами y і z [20]. Метрика для всіх векторів y, z, w повинна задовольняти аксіоми:

$$\rho(y, z) \geq 0; \rho(y, z) = 0 \quad y \Leftrightarrow z;$$

$$\rho(y, z) = \rho(z, y);$$

$$\rho(w, z) \leq \rho(w, y) + \rho(y, z).$$

Найчастіше використовуються метрика Чебишева

$$\rho(y, z) = \max_i a_i^s |y_i - z_i|, \quad (1.19)$$

$$\text{де } s \geq 1 \text{ і } a^s \in \left\{ a^s = (a_1^s, \dots, a_n^s) \left| \sum_{i=1}^n a_i^s = 1, a_i^s > 0 \text{ для всіх } i = 1, 2, \dots, n \right. \right\},$$

метрика Мінковського

$$\rho(y, z) = \left(\sum_{i=1}^n a_i^s |y_i - z_i|^r \right)^{1/r}, \quad (1.20)$$

та евклідова метрика як окремий випадок метрики Мінковського

$$\rho(y, z) = \left(\sum_{i=1}^n a_i^s |y_i - z_i|^2 \right)^{1/2}. \quad (1.21)$$

Як еталонне рішення за обох варіантів нормування доцільно обрати ідеальний варіант, що характеризується максимальними значеннями стимуляторів та мінімальними значеннями дестимуляторів (1.3).

Коефіцієнт a_i^s у виразах (1.19)–(1.21) найчастіше використовується при $s = 1$ і ϵ за своїм змістом вагою j -го критерію.

Тоді, враховуючи нормування зведенням до інтервалу $[0,1]$ (1.1), (1.2) та зведенням до еталону (1.4)–(4.6), функції корисності, сформовані як відстань між ідеальним вектором f_0 та вектором f_i i -ї альтернативи на основі метрик (1.19)–(1.21), з урахуванням маскимізації функції корисності набудуть вигляду, відповідно:

метрика Чебишева

$$F(x_i) = 1 - \max_j \left(\max_{j=1}^k \omega_j \left| 1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right| \cup \max_{j=k+1}^n \omega_j \left| \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right| \right), \quad (1.22)$$

$$F(x_i) = 1 - \max_j \left(\max_{j=1}^k \omega_j \left| 1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right| \cup \max_{j=k+1}^m \omega_j \left| 1 - \frac{x_{\min j}}{x_{ij}} \right| \cup \max_{j=m+1}^n \omega_j \left| \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right| \right); \quad (1.23)$$

метрика Евкліда

$$F(x_i) = 1 - \sqrt{\sum_{j=1}^k \omega_j \left| 1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right|^2 + \sum_{j=k+1}^n \omega_j \left| \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right|^2}. \quad (1.24)$$

$$F(x_i) = 1 - \sqrt{\sum_{j=1}^k \omega_j \left| 1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right|^2 + \sum_{j=k+1}^m \omega_j \left| 1 - \frac{x_{\min j}}{x_{ij}} \right|^2 + \sum_{j=m+1}^n \omega_j \left| \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right|^2}; \quad (1.25)$$

метрика Мінковського

$$F(x_i) = 1 - \sqrt[n]{\sum_{j=1}^k \omega_j \left| 1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right|^n + \sum_{j=k+1}^n \omega_j \left| \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right|^n}, \quad (1.26)$$

$$F(x_i) = 1 - \sqrt[n]{\sum_{j=1}^k \omega_j \left| 1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right|^n + \sum_{j=k+1}^m \omega_j \left| 1 - \frac{x_{\min j}}{x_{ij}} \right|^n + \sum_{j=m+1}^n \omega_j \left| \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right|^n} . \quad (1.27)$$

Функції корисності на основі метрики Мінковського (1.26), (1.27) отримані з урахуванням виразу (1.20) за припущення, що для критеріального простору R^n показник ступеню $r = n$.

Ще один з підходів до формування функції корисності полягає у використанні для цього узагальненого відхилення від зразка δx_i як алгебраїчної суми зважених відносних відхилень з урахуванням різних типів критеріїв (обмеження типу "знизу", "зверху", "інтервал", "дорівнює") [3]:

$$\delta x_i = \sum_{j=1}^n \omega_j \delta x_{ij} . \quad (1.28)$$

Очевидно, що формування функції корисності таким чином є окремим випадком формування її на основі метрики Мінковського (1.20). Тоді, з урахуванням нормування зведенням до інтервалу $[0,1]$ (1.1), (1.2) та зведенням до еталону (1.4)–(1.6) маємо вирази для функції корисності на основі відхилення від зразка:

$$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \left| 1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right| + \sum_{j=k+1}^n \omega_j \left| \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right| , \quad (1.29)$$

$$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \left| 1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right| + \sum_{j=k+1}^m \omega_j \left| 1 - \frac{x_{\min j}}{x_{ij}} \right| + \sum_{j=m+1}^n \omega_j \left| \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right| . \quad (1.30)$$

Таким чином, отримано вирази для функцій корисності альтернатив для нормування зведенням до інтервалу $[0,1]$ (1.11), (1.13), (1.15), (1.17), (1.22), (1.24), (1.26), (1.29) та зведенням до еталону (1.12), (1.14), (1.16), (1.18), (1.23), (1.25), (1.27), (1.30), за якими можливо провести ранжування альтернатив. Для зручності функції корисності для різних нормувань наведено в табл. 1.1 [10].

1.5. Алгоритм побудови функцій корисності

Проведення ранжування альтернатив можливе за алгоритмом (рис. 1.3), котрий враховує обмеження та ситуації застосування розроблених нормувань зведенням до еталону та зведенням до інтервалу $[0,1]$:

- формування матриці значень часткових критеріїв альтернатив $X \equiv [x_{ij}]$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$;
- поділ критеріїв на стимулятори $f_j(x) \rightarrow \max$, $j = \overline{1, k}$, $x \in S$ та дестимулятори $f_j(x) \rightarrow \min$, $j = \overline{k+1, n}$, $x \in D$, де S та D – множина критеріїв- стимуляторів та -дестимуляторів, відповідно;
- вибір виду нормування часткових критеріїв альтернатив з урахуванням наявних обмежень;
- нормування матриці значень часткових критеріїв альтернатив з урахуванням поділу на стимулятори та дестимулятори;
- визначення ступеню переваги альтернатив з використанням одного з варіантів виразів для функції корисності (табл. 1.1) відповідно до обраного виду нормування часткових критеріїв альтернатив.

У разі нормування зведенням часткових критеріїв до еталону нормування матриці значень часткових критеріїв альтернатив відбувається за таким алгоритмом:

- визначення базових значень часткових критеріїв як максимального значення для стимуляторів $x_{\max j} = \max_i x_{ij}$, $j = \overline{1, k}$, $x \in S$ та мінімального значення для дестимуляторів $x_{\min j} = \min_i x_{ij}$, $j = \overline{k+1, n}$, $x \in D$ (якщо базові значення не було задано);
- нормування матриці значень часткових критеріїв альтернатив з урахуванням поділу на стимулятори та дестимулятори та наявності дестимуляторів, для яких $x_{\min j} = 0$:

$$x'_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{x_{\max j}}, j = \overline{1, k}, x \in S \\ \frac{x_{\min j}}{x_{ij}}, j = \overline{k+1, m}, x \in D' \\ 1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}}, j = \overline{m+1, n}, x \in D^0 \end{cases}.$$

Для нормування зведенням часткових критеріїв до інтервалу $[0,1]$ нормування матриці значень часткових критеріїв альтернатив відбувається за таким алгоритмом:

- визначення максимальних $x_{\max j} = \max_i x_{ij}$ та мінімальних значень часткових критеріїв $x_{\min j} = \min_i x_{ij}$ для всіх $j = \overline{1, n}$ (якщо їх не було задано);
- нормування матриці значень часткових критеріїв альтернатив з урахуванням поділу на стимулятори та дестимулятори:

$$x'_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}}, j = \overline{1, k}, x \in S \\ 1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}}, j = \overline{k+1, n}, x \in D \end{cases}.$$

Розроблена схема формування комплексного показника якості продукції, що базується на алгоритмі визначення функції корисності альтернатив, дозволяє оцінити рівень якості будь-якої продукції, зокрема поліграфічної [10, 23–26].

Таблиця 1.1

Функції корисності для різних видів нормування часткових критеріїв

Вид нормування		Зведення до інтервалу [0,1]	Зведення до еталону
Згортка	Адитивна	$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} + \sum_{j=k+1}^n \omega_j \left(1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right)$	$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} + \sum_{j=k+1}^m \omega_j \frac{x_{\min j}}{x_{ij}} + \sum_{j=m+1}^n \omega_j \left(1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right)$
	Мультиплікативна	$F(x_i) = \prod_{j=1}^k \left(\frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right)^{\omega_j} \prod_{j=k+1}^n \left(1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right)^{\omega_j}$	$F(x_i) = \prod_{j=1}^k \left(\frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right)^{\omega_j} \prod_{j=k+1}^m \left(\frac{x_{\min j}}{x_{ij}} \right)^{\omega_j} \prod_{j=m+1}^n \left(1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right)^{\omega_j}$
	Адитивно-мультиплікативна	$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} + \sum_{j=k+1}^n \omega_j \left(1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right) +$ $+ \prod_{j=1}^k \left(\frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right)^{\omega_j} \prod_{j=k+1}^n \left(1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right)^{\omega_j}$	$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} + \sum_{j=k+1}^m \omega_j \frac{x_{\min j}}{x_{ij}} + \sum_{j=m+1}^n \omega_j \left(1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right) +$ $+ \prod_{j=1}^k \left(\frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right)^{\omega_j} \prod_{j=k+1}^m \left(\frac{x_{\min j}}{x_{ij}} \right)^{\omega_j} \prod_{j=m+1}^n \left(1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right)^{\omega_j}$
	Ентропійна	$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \left(\frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right)^{\omega_j} + \sum_{j=k+1}^n \omega_j \left(1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right)^{\omega_j}$	$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \left(\frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right)^{\omega_j} + \sum_{j=k+1}^m \omega_j \left(\frac{x_{\min j}}{x_{ij}} \right)^{\omega_j} + \sum_{j=m+1}^n \omega_j \left(1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right)^{\omega_j}$
	Метрика Чебишева	$F(x_i) = 1 - \max_j \left(\max_{j=1}^k \omega_j \left 1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right \cup \max_{j=k+1}^n \omega_j \left \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right \right)$	$F(x_i) = 1 - \max_j \left(\max_{j=1}^k \omega_j \left 1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right \cup \max_{j=k+1}^m \omega_j \left 1 - \frac{x_{\min j}}{x_{ij}} \right \cup \max_{j=m+1}^n \omega_j \left \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right \right)$
	Метрика Евкліда	$F(x_i) = 1 - \sqrt{\sum_{j=1}^k \omega_j \left 1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right ^2 + \sum_{j=k+1}^n \omega_j \left \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right ^2}$	$F(x_i) = 1 - \sqrt{\sum_{j=1}^k \omega_j \left 1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right ^2 + \sum_{j=k+1}^m \omega_j \left 1 - \frac{x_{\min j}}{x_{ij}} \right ^2 + \sum_{j=m+1}^n \omega_j \left \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right ^2}$
	Метрика Мінковського	$F(x_i) = 1 - \sqrt[n]{\sum_{j=1}^k \omega_j \left 1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right ^n + \sum_{j=k+1}^n \omega_j \left \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right ^n}$	$F(x_i) = 1 - \sqrt[n]{\sum_{j=1}^k \omega_j \left 1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right ^n + \sum_{j=k+1}^m \omega_j \left 1 - \frac{x_{\min j}}{x_{ij}} \right ^n + \sum_{j=m+1}^n \omega_j \left \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right ^n}$
	Відхилення від зразка	$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \left 1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right + \sum_{j=k+1}^n \omega_j \left \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \right $	$F(x_i) = \sum_{j=1}^k \omega_j \left 1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right + \sum_{j=k+1}^m \omega_j \left 1 - \frac{x_{\min j}}{x_{ij}} \right + \sum_{j=m+1}^n \omega_j \left \frac{x_{ij}}{x_{\max j}} \right $

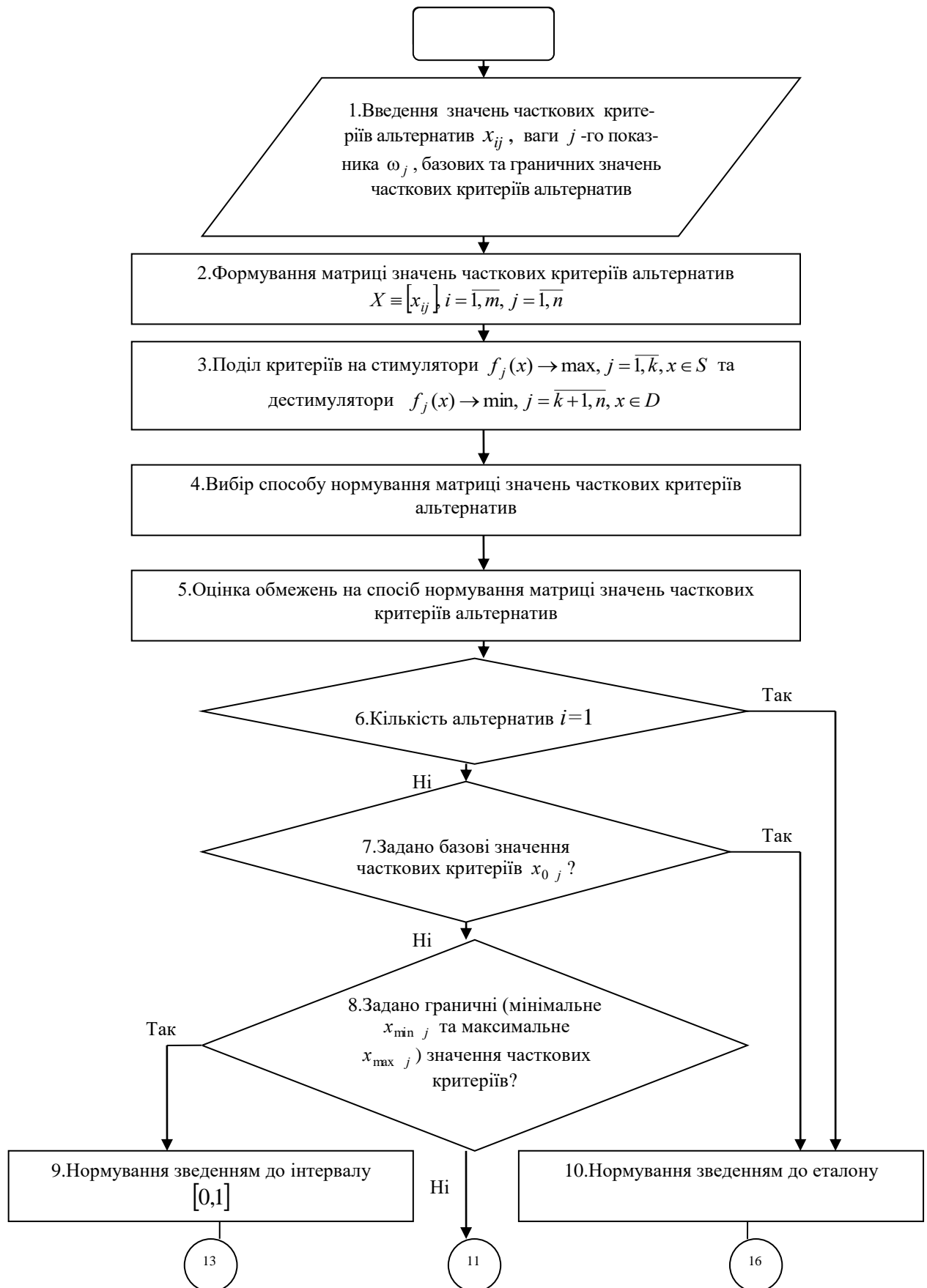


Рис.1.3. Алгоритм визначення функції корисності альтернатив

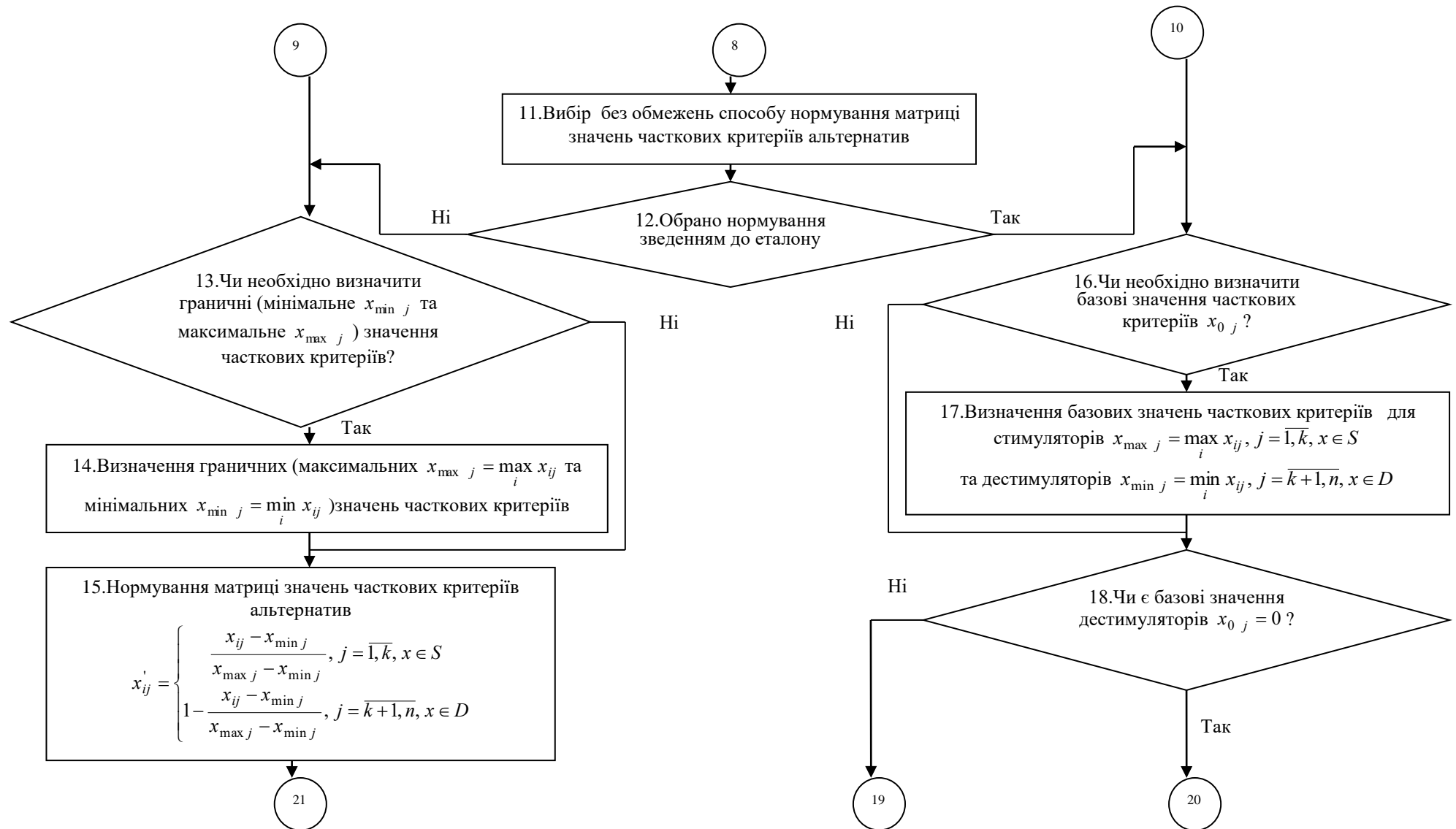


Рис. 1.3 (продовження). Алгоритм визначення функції корисності альтернатив

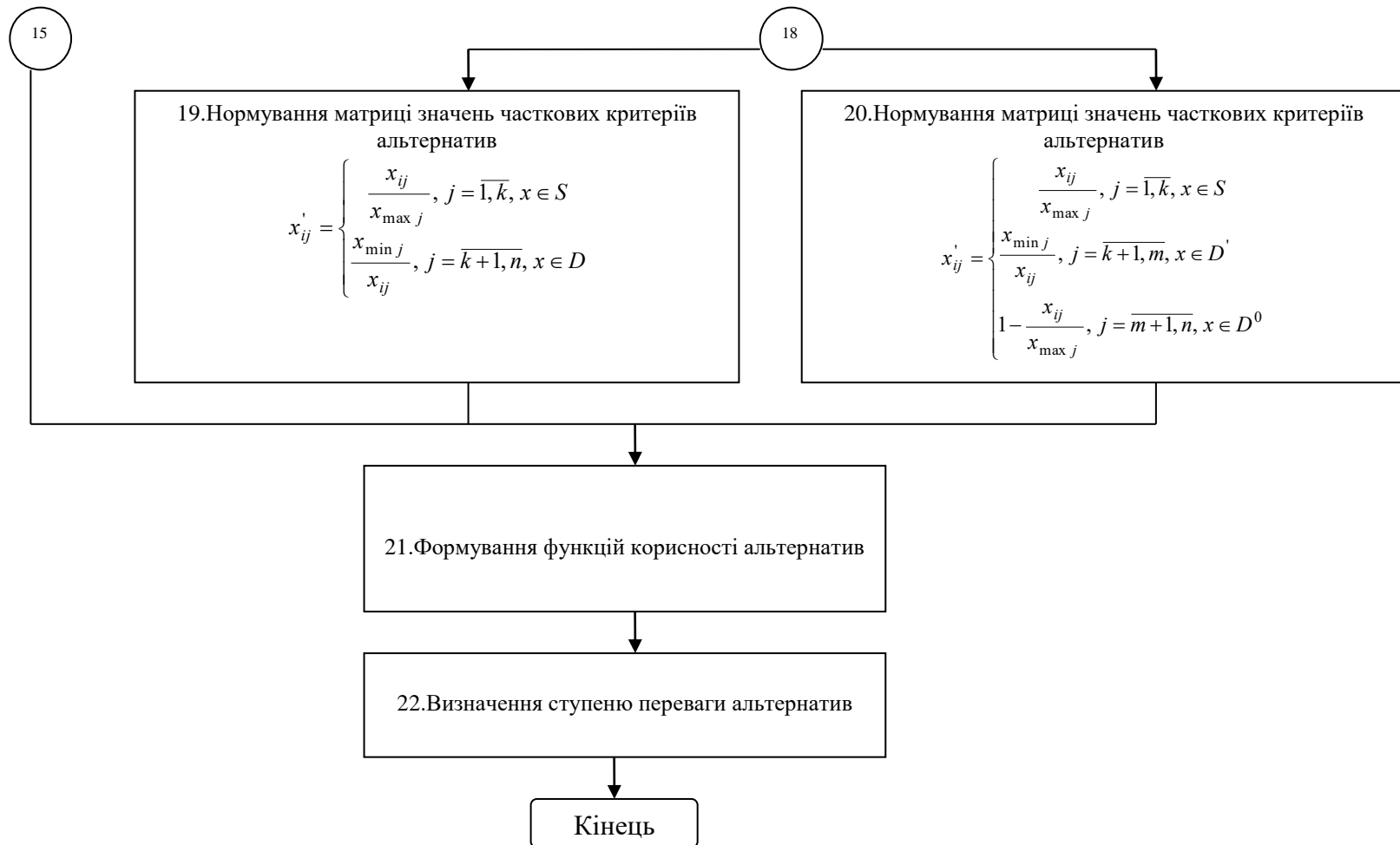


Рис. 1.3 (закінчення). Алгоритм визначення функції корисності альтернатив

Висновки по розділу 1

В розділі на прикладі оцінювання зношеності обґрунтовано необхідність застосовувати для оцінювання якості комплексних показників якості на основі функції корисності. Так, наведено розроблену концептуальну модель визначення комплексного показника зносостійкості за великою кількістю показників зношеності (оптичних, розмірних, структурних, міцністних, локальних пошкоджень, магнітних, електрофізичних, пошкоджень фарбового шару), що встановлюються під час досліджень. Такий підхід комплексної оцінки зносостійкості банкотної продукції шляхом формування комплексного показника зносостійкості дозволяє здійснювати багатофакторне оцінювання засобів забезпечення зносостійкості, а також найбільш оптимальних технологічних процесів виготовлення банкнот із підвищеними експлуатаційними властивостями.

Для формування функції корисності як методу визначення ступеню переваг альтернатив наведено розроблений комплекс математичних залежностей отримання згорток різного виду (адитивної, мультиплікативної, ентропійної, евклідової відстані, відстані Мінковського тощо). Математичні залежності для згорток створено з урахуванням необхідності нормувати часткові критерії альтернатив та їх поділу на стимулятори та дестимулятори. Розроблено алгоритм визначення комплексного показника якості процесів та виробів через розрахунок функції корисності альтернативних варіантів на основі різних видів нормування показників та їх поділу на стимулятори і дестимулятори.

Контрольні запитання до розділу 1.

1. Що таке якість продукції?
2. В чому відмінність диференційного та інтегрального методів оцінювання якості ?
3. Які є методи кількісної оцінки якості продукції?
4. Що таке функція корисності?
5. Яка з альтернатив є найкращою з погляду функції корисності?
6. З якою метою нормують часткові критерії?
7. Що таке стимулятор?
8. Що таке дестимулятор?
9. Як здійснюється нормування зведенням до еталону?
10. Як здійснюється нормування зведенням до інтервалу?
11. Як під час нормування вирішується проблема наявності дестимуляторів, базове значення котрих дорівнює нулю?
12. Які методи отримання згорток для визначення функції корисності альтернатив?
13. За яким алгоритмом визначаємо ступінь переваги альтернатив?
14. Опишіть складники структурно-логічної схеми визначення комплексного показника якості продукції.

РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОФАКТОРНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ У ПОЛІГРАФІЇ ФОРМУВАННЯМ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ

2.1. Задача визначення найбільш точного показника зношеності за допомогою функції корисності

Зношеність банкнот характеризується низкою ознак і параметрів, котрі характеризують зношеність банкнот з різною точністю. На основі обробки отриманих нами статистичних даних [3], наведених у зведеній табл. 2.1, можна зробити висновок, що жоден з наведених показників зношування не є оптимальним з погляду всіх наведених критеріїв точності, а може вважатися оптимальним тільки за Парето. Тому процес прийняття рішень щодо застосування показників зношування банкнот повинен розглядатися як задача багатокритеріального вибору.

Постановка задачі. Задано множину допустимих альтернатив, із яких з погляду точності показників зношеності робиться вибір – X_i , ($i = \overline{1, m}$, $m = 13$): X_1 – зміна яскравості банкнот; X_2 – повітропроникність; X_3 – шорсткість; X_4 – кількість подвійних перегинів; X_5 – руйнівне зусилля; X_6 – відносне подовження; X_7 – стійкість крайки до надриву; X_8 – стійкість крайки до надриву роздиранням; X_9 – нульова розривна довжина; X_{10} – жорсткість за Табером; X_{11} – жорсткість (за методом резонансу); X_{12} – жорсткість (за методом кільця); X_{13} – маса банкноти.

Такі параметри є критеріями точності вимірювання, тобто задано критерії, за якими здійснюється вибір серед альтернатив f_j , $j = \overline{1, n}$, $n = 3$):

- 1) f_1 – зміна показника в результаті зношування ΔX ;
- 2) f_2 – відносна похибка для нових банкнот δ_{new} ;
- 3) f_3 – відносна похибка для зношених банкнот δ_{det} .

Таблиця 2.1

Характеристики точності показників зношеності банкнот – матриця значень часткових критеріїв альтернатив

Матриця x_{ij}			Критерії		
			Стимулятор	Дестимулятори	
			Середня зміна показника в результаті зношування, %	Середня відносна похибка для нових банкнот, %	Середня відносна похибка для зношених банкнот, %
			x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}
Альтернативи	Яскравість	x_{1j}	24,828	0,110	1,275
	Повітропроникність	x_{2j}	78,832	0,864	4,878
	Шорсткість	x_{3j}	633,178	0,446	1,834
	Кількість подвійних перегинів	x_{4j}	74,084	2,373	1,275
	Руйнівне зусилля	x_{5j}	36,693	0,558	1,718
	Відносне подовження	x_{6j}	17,826	1,048	1,481
	Стійкість крайки до надриву	x_{7j}	28,736	0,695	1,667
	Стійкість крайки до надриву роздиранням	x_{8j}	28,736	1,002	1,073
	Нульова розривна довжина	x_{9j}	11,531	0,688	0,716
	Жорсткість за Табером	x_{10j}	70,284	2,341	2,774
	Жорсткість за методом резонансу	x_{11j}	23,009	0,349	0,550
	Жорсткість за методом кільця	x_{12j}	59,095	1,811	1,784
	Маса	x_{13j}	3,157	0,259	0,401

Необхідно знайти найкращу альтернативу відносно сукупності критеріїв.

На основі статистичних даних сформовано матрицю значень часткових критеріїв альтернатив $X = [x_{ij}]$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$ [3, 8, 9] (табл. 2.1).

Стимулятором є f_1 – зміна показника в результаті зношування Δx , дестимуляторами – f_2 – відносна похибка для нових банкнот δ_{new} та f_3 – відносна похибка для зношених банкнот δ_{det} .

Еталонними значеннями часткових критеріїв є $x_{\max 1} = x_{31} = 633,178$, $x_{\min 2} = x_{12} = 0,110$, $x_{\min 3} = x_{13} = 0,401$. Після нормування з урахуванням цих еталонних значень маємо нормовану матрицю значень часткових критеріїв альтернатив (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Нормована матриця значень часткових критеріїв альтернатив

x'_{ij}	x'_{i1}	x'_{i2}	x'_{i3}
x'_{1j}	0,039	1,000	0,315
x'_{2j}	0,125	0,127	0,082
x'_{3j}	1,000	0,247	0,219
x'_{4j}	0,117	0,046	0,315
x'_{5j}	0,058	0,197	0,233
x'_{6j}	0,028	0,105	0,271
x'_{7j}	0,045	0,158	0,241
x'_{8j}	0,045	0,110	0,374
x'_{9j}	0,018	0,160	0,560
x'_{10j}	0,111	0,047	0,145
x'_{11j}	0,036	0,315	0,729
x'_{12j}	0,093	0,061	0,225
x'_{13j}	0,005	0,425	1,000

Для визначення ω_j – ваги j -го показника точності на основі експертних опитувань сформовано матрицю парних порівнянь (табл. 2.3) з використанням підходів МАІ [14]. Під час формування матриць парних порівнянь використано шкалу відношень з оцінками від 1 до 9, котрим відповідають певні судження про значимість факторів чи дій: 1 – однакова значимість, 3 – слабка значимість (певне переважання значимості одного фактора над іншим), 5 – суттєва чи сильна значимість, 7 – дуже сильна або очевидна значимість, 9 – абсолютна значимість, 2, 4, 6, 8 – проміжні значення між сусідніми значеннями шкали.

Встановлено вагу показників точності вимірювань: для середньої зміни показника в результаті зношування $\omega_1 = 0,105$; для середньої відносної

похибки для нових банкнот $\omega_2 = 0,258$; для середньої відносної похибки для зношених банкнот $\omega_3 = 0,637$; $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$.

Таблиця 2.3

Матриця парних порівнянь показників точності вимірювань зношеності банкнот

	Зміна показника в результаті зношування	Відносна похибка для нових банкнот	Відносна похибка для зношених банкнот
Зміна показника в результаті зношування	1	1/3	1/5
Відносна похибка для нових банкнот	3	1	1/3
Відносна похибка для зношених банкнот	5	3	1

Вектор пріоритетів (0,105;0,258; 0,637). Власне значення матриці $\lambda_{max} = 3,039$, індекс узгодженості $IU = 0,019$, відношення узгодженості $VU = 0,033$

У табл. 2.4 наведено значення функцій корисності досліджуваних альтернатив, обраховані за різними методами формування, в абсолютному вимірі (A) та відносні (%).

Значення функцій корисності у відносному вимірі $F_{віднq}(x_i)$ наведено для порівняння методів формування та обчислено за формулою:

$$F_{віднq}(x_i) = \frac{F_q(x_i)}{\sum_{i=1}^m F(x_i)} \cdot 100\%,$$

де $F_q(x_i)$ – значення функції корисності для i -ї альтернативи, отримане відповідним методом.

Середнє значення функції корисності для i -ї альтернативи –

$$\bar{F}(x_i) = \frac{1}{N} \sum_{q=1}^N F_q(x_i),$$

де N – кількість методів формування функції корисності (в нашому дослідженні $N = 6$).

Середнє відносне значення функції корисності для i -ї альтернативи (табл. 2.4)

$$\bar{F}_{віднq}(x_i) = \frac{1}{N} \sum_{q=1}^N F_{віднq}(x_i).$$

Функції корисності альтернатив – показників зношування банкнот

Показник		Адитивна		Мультипліка- тивна		Адитивно- мультиплікативна		Ентропійна		Евклідова метрика		Метрика Мінковського		Середнє
		<i>A</i> *	%**	<i>A</i>	%	<i>A</i>	%	<i>A</i>	%	<i>A</i>	%	<i>A</i>	%	
Зміна яскравості банкнот		0,462	11,70	0,341	11,14	0,402	11,46	0,638	8,75	0,371	10,59	0,332	10,32	10,66
Повітропроникність		0,098	2,49	0,096	3,14	0,097	2,77	0,366	5,02	0,098	2,80	0,098	3,04	3,21
Шорсткість		0,308	7,79	0,265	8,66	0,286	8,17	0,527	7,23	0,268	7,67	0,255	7,92	7,90
Кількість подвійних перегинів		0,225	5,68	0,173	5,66	0,199	5,67	0,506	6,94	0,215	6,15	0,206	6,40	6,08
Руйнівне зусилля		0,206	5,20	0,193	6,32	0,199	5,69	0,500	6,86	0,204	5,82	0,202	6,28	6,03
Відносне подовження		0,203	5,12	0,167	5,47	0,185	5,27	0,494	6,78	0,197	5,63	0,192	5,96	5,71
Стійкість крайки до надриву		0,199	5,03	0,181	5,93	0,190	5,42	0,493	6,77	0,196	5,61	0,194	6,02	5,80
Стійкість крайки до надриву роздиранням		0,271	6,86	0,218	7,14	0,245	6,98	0,562	7,72	0,258	7,38	0,245	7,63	7,29
Нульова розривна довжина		0,400	10,12	0,283	9,25	0,341	9,74	0,670	9,20	0,362	10,35	0,326	10,13	9,80
Жорсткість	за Табером	0,116	2,93	0,105	3,44	0,111	3,15	0,386	5,30	0,115	3,28	0,114	3,54	3,61
	за методом резонансу	0,550	13,90	0,429	14,02	0,489	13,96	0,787	10,80	0,485	13,86	0,426	13,24	13,30
	за методом кільця	0,169	4,27	0,146	4,78	0,157	4,49	0,453	6,22	0,165	4,72	0,162	5,03	4,92
Маса банкноти		0,747	18,90	0,460	15,03	0,603	17,22	0,904	12,41	0,565	16,14	0,466	14,48	15,70
Середнє квадратичне відхилення методу згортки		1,08		0,44		0,61		1,59		0,31		0,41		-

Тут *A* * - абсолютне значення, % ** - відносне значення функції корисності.

Середнє квадратичне відхилення q -го методу формування функції корисності обчислено за формулою:

$$\sigma_q = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (F_{\text{відн } q}(x_i) - \bar{F}_{\text{відн}}(x_i))^2}.$$

Дані табл. 2.4 дозволяють зробити висновок, що всі запропоновані методи формування функції корисності мають достатньо високу точність визначення переваги альтернатив в межах значень часткових критеріїв та ваг критеріїв, характерних для поліграфічного виробництва. Найменші середні квадратичні відхилення мають функції корисності, побудовані на основі евклідової метрики та метрики Мінковського, а також мультиплікативна та адитивно-мультиплікативна згортки критеріїв.

За всіма методами формування функції корисності найбільші значення функції корисності має такий показник зношеності банкнот як маса банкноти. Крім того, високі значення функції корисності мають визначення жорсткості за методом резонансу та зміна яскравості банкноти. Тому вбачається доцільним з точки зору точності вимірювань для досліджень зношування банкнот використовувати такі показники як маса та яскравість банкнот, а також визначення жорсткості за методом резонансу. Крім того, необхідно враховувати ці дані під час встановлення вагомості показників для формування комплексного показника зносостійкості.

Вирішена задача визначення найбільш точного показника зношеності за допомогою функції корисності. Критеріями точності були зміна показника в результаті зношування ΔX , відносна похибка для нових δ_{new} та відносна похибка для зношених банкнот δ_{det} . За всіма методами формування функції корисності найбільші значення функції корисності має такий показник зношеності як маса банкноти. Крім того, високі значення функції корисності має зміна яскравості банкноти. Тому саме ці показники доцільно застосовувати з точки зору точності вимірювань для досліджень зношування банкнот, а також враховувати ці дані під час встановлення вагомості показників для формування комплексного показника зносостійкості.

2.2. Визначення зносостійкості банкотної продукції шляхом формування комплексного показника зносостійкості за допомогою функції корисності

2.2.1. Дослідження змін часткових показників зношування експериментальних зразків банкнот під час імітації зношування

Протягом тривалого часу нами спільно з фахівцями Банкотно-монетного двору НБУ досліджувалися засоби підвищення зносостійкості банкнот [3]. Аналіз отриманих даних показує, що зробити коректний висновок щодо найбільш стійкої до зношування основи банкнот та впливу технологічних режимів інтаглюдруку, спираючись тільки на один показник, неможливо. Для того, щоб у цьому переконатися, розглянемо отримані нами експериментальні дані щодо часткових показників якості дев'ятнадцяти видів зразків.

Технологічні особливості експериментальних зразків досліджуваних банкнот. Для виконання комплексу досліджень щодо можливих напрямків підвищення зносостійкості банкнот української гривні уповноваженим підприємством в межах виконання науково-дослідних договорів було виготовлено експериментальні зразки банкнот української гривні на різних видах банкнотного паперу, а також з відмінностями в режимах технологічного процесу (табл. 2.5) [3].

Зразки різняться за наступними параметрами:

1. Тип основи (табл. 2.6):
 - тиражний банкнотний папір із захисною стрічкою, зануреною в масу паперу (далі – папір Т);
 - експериментальний папір із протизабруднювальною обробкою із захисною стрічкою, зануреною в масу паперу (далі – папір Д);
 - експериментальний папір із протизабруднювальною обробкою з додатковою антибактеріальною обробкою із пірнаючою захисною стрічкою (далі – папір Дб).

Таблиця 2.5

Експериментальні зразки для дослідження зносостійкості основи і технологічних режимів інтагліодруку

Група зразків	Особливості технологічного процесу			Тип основи банкнот	Позначення зразків
	Офсетний друк	Інтагліо друк	Тиск в ДК інтагліодруку		
1	-	-	-	Т	Т
	+	-	-	Т	Т офсет
	-	+	Середній	Т	Т інтагліо БФ*
2	+	+	Мінімальний	Т	Т офсет+інтагліо (мін.)
	+	+	Середній	Т	Т офсет+інтагліо (сер.)
	+	+	Максимальний	Т	Т офсет+інтагліо (макс.)
	+	+	Середній	Т	Т офсет+інтагліо 2 **
3	-	-	-	Д	Д
	-	-	-	Дб	Дб
	+	-	-	Д	Д офсет
	+	-	-	Дб	Дб офсет
4	+	+	Мінімальний	Д	Д офсет+інтагліо (мін.)
	+	+	Середній	Д	Д офсет+інтагліо (сер.)
	+	+	Максимальний	Д	Д офсет+інтагліо (макс.)
	+	+	Середній	Дб	Дб офсет+інтагліо (сер.)
5	-	+	Мінімальний	Д	Д інтагліо (мін.)
	-	+	Середній	Д	Д інтагліо (сер.)
	-	+	Максимальний	Д	Д інтагліо (макс.)
	-	+	Середній	Дб	Дб інтагліо (сер.)

Примітка 1. Т інтагліо БФ * – безфарбовий інтагліодрук, папір Т.

Примітка 2. Т офсет+інтагліо 2** – двосторонній інтагліодрук, папір Т, середній тиск.

2. За наявністю видів друку:

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

3. За технологічними особливостями інтагліодруку:

- односторонній;
- двосторонній;
- з мінімальним тиском в друкарському контакті;
- з середнім тиском в друкарському контакті;

- з максимальним тиском в друкарському контакті.

Експериментальні зразки піддавалися вологому (3 цикли по 10 хв.) або сухому (1 цикл 120 хв.) штучному зношуванню за допомогою імітатора [3].

Таблиця 2.6

**Характеристики паперу, що використовувався в дослідженнях зносостійкості
основи банкнот і технологічних режимів інтагліодруку**

Показники якості	Види паперу		
	Т	Д	Дб
Товщина мкм	108±6	110±2	114±2
Маса, г/м ²	87,0	90,3	91,5
Вологість, %	6,8	6,1	6,2
Лінійна деформація, %, у поперечному напрямі	2	2	2,2
Поверхнева вбирність води, г/м ² (Кобб ₆₀)			
– верхній бік паперу	31,5±2,0	12,4±0,8	11,4±1
– сітковий бік паперу	30,5±3,0	19,5±3,0	18,5±3,6
рН водяної витяжки	6,6	6,9	6,5
Шорсткість, мл/хв. верхній бік /сітковий бік	377/384	377/360	428 / 379
Непрозорість, %	85	91,0	91,0
Абсолютний опір роздиранню, мН	Маш.=870	Маш.=840; Попер.=980	Маш.=875; Попер.=960
Подвійні згини	Маш.=4900; Попер.=2700	Маш.=7647; Попер.=4338	Маш.=7168; Попер.=4342
Руйнівне зусилля, Н	Маш.=113; Попер.= 61	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, %	46,7	50,4	50,4
Зольність, %	2,4	3	3

Досліджувалися показники зразків до зношування, а також зразків, що піддавалися вологому або сухому зношуванню. За показники зношування обрано, зокрема, зміни оптичних (яскравість, колірний зсув), розмірних (маса, товщина) та структурних характеристик (шорсткість, повітропроникність, гладкість), зміни показників міцності (руйнівне зусилля, відносне видовження, жорсткість за Табером). Визначення цих характеристик проводилося 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 локальні пошкодження зразків – надриви по полімерній металізованій стрічці, надриви по крайці банкнот, загинання кутів.

В результаті зношування відбуваються зміни оптичних характеристик зразків: відбувається зсув координат кольору, зменшуються значення світлоти та яскравість банкнот. На рис. 2.1 представлено графічні залежності яскравості лиця та звороту банкнот від циклу та методу зношування для всіх груп зразків.

Визначення колірних характеристик в кольоровому просторі CIELab дозволяє за допомогою величини кольорового зсуву ΔE чисельно виразити відмінність між кольором зразків після кожного етапу зношування. Графічне представлення отриманих результатів подано на рис. 2.2.

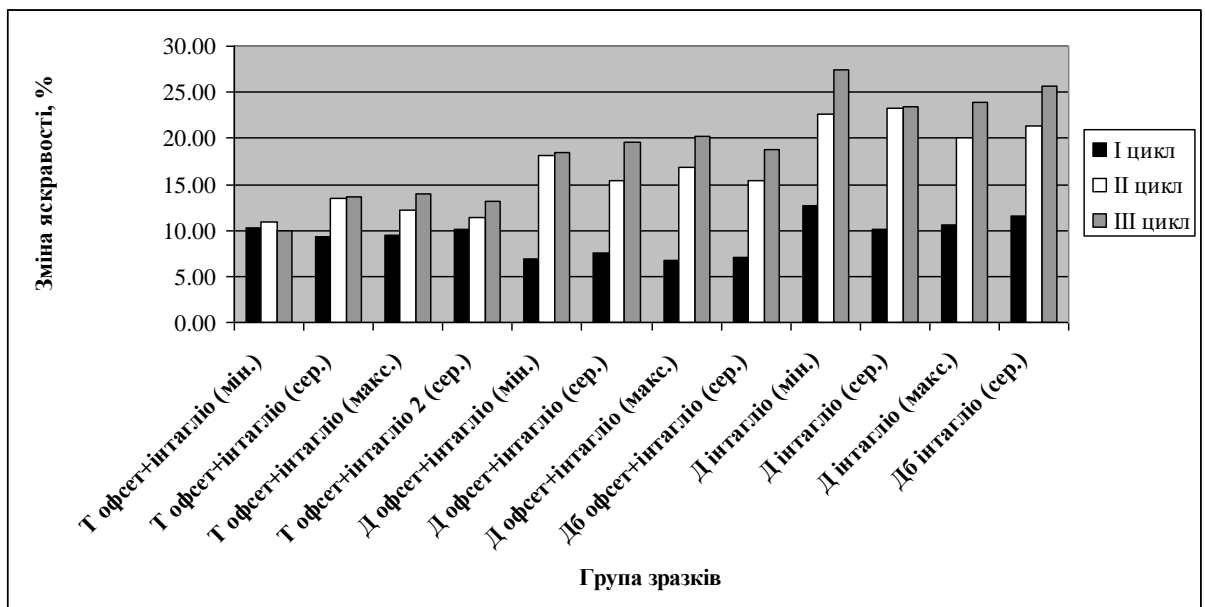


Рис. 2.1. Зміна яскравості зразків банкнот різних груп після різних циклів зношування

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 металогр. др., офсет 1). Найбільше зростання колірного зсуву спостерігається на зразках четвертої та п'ятої груп (колірний зсув після третього зношування у порівнянні з першим зростає у

середньому на 6–7 одиниць). Таким чином, зразки, виготовлені на експериментальних видах паперу з використанням інтагліодруку, у процесі штучного зношування зазнали найбільших змін оптичних характеристик. Це можна пояснити відшаруванням фарби інтагліодруку в процесі штучного зношування та включенням залишків фарби до складу забруднювальної суміші, встановлене під час візуального оцінювання зразків. Таким чином, фарба інтагліодруку внаслідок її недостатньої адгезії до експериментальних видів паперу стала додатковим забруднювальним чинником.

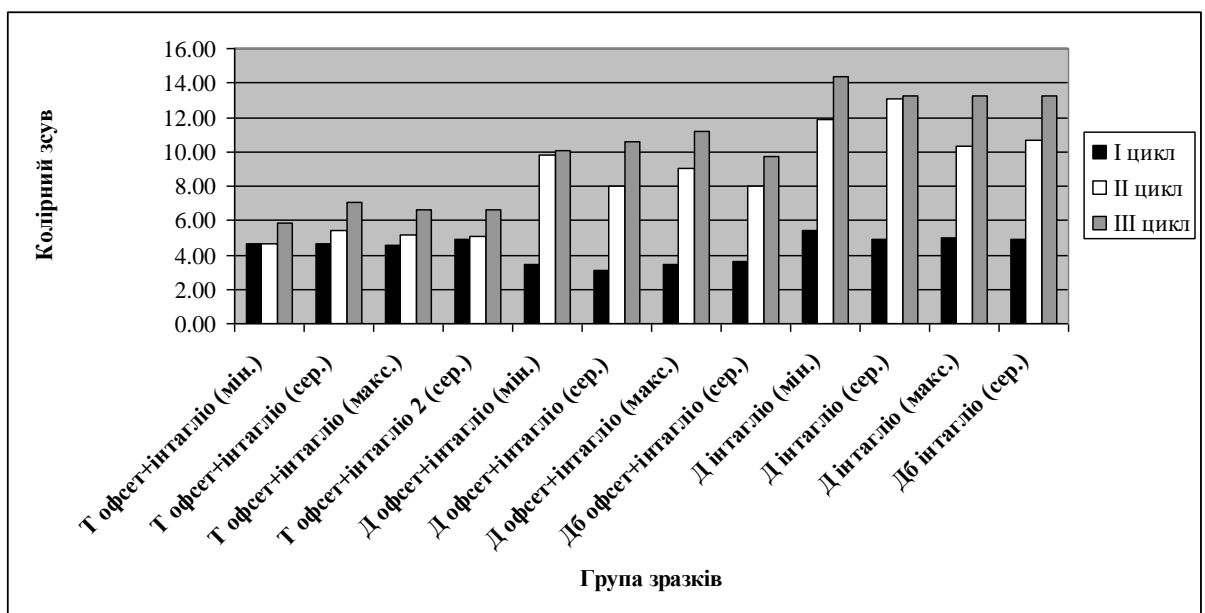


Рис. 2.2. Зміна колірного зсуву зразків банкнот різних груп після різних циклів зношування

Результати дослідження зміни розмірно-структурних характеристик (маси, товщини, повітропроникності) зразків банкнот внаслідок штучного зношування (рис. 2.3–2.5) показують збільшення цих показників.

Товщина банкнот у процесі їх зношування також має тенденцію до зростання незалежно від методу зношування. Її найсуттєвіше збільшення відбувається за рахунок розпушення структури паперової основи після першого циклу зношування (в середньому на 5,5 %) для всіх груп зразків.

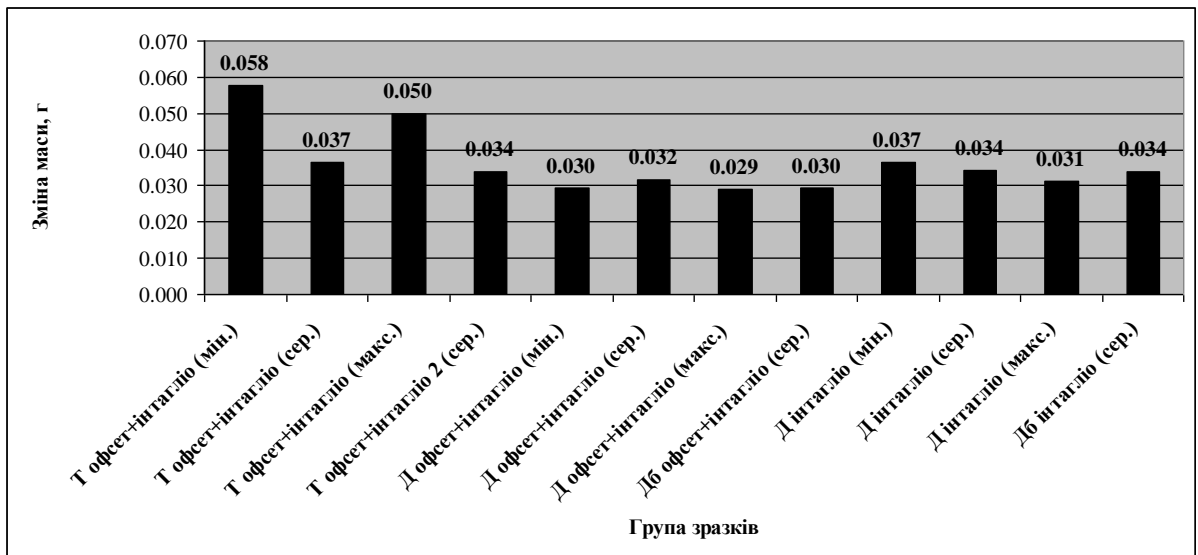


Рис. 2.3. Збільшення маси зразків банкнот різних груп після вологого зношування

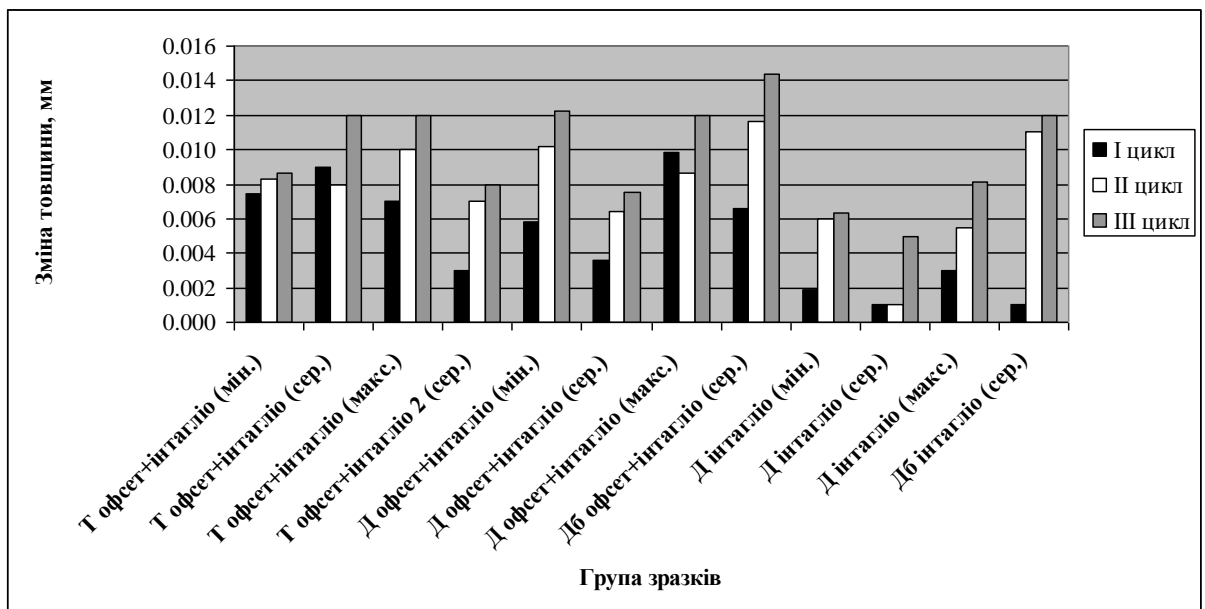


Рис. 2.4. Збільшення товщини зразків банкнот різних груп після різних циклів зношування

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.

Спостерігається набагато помітніше збільшення повітропроникності зразків, зношених сухим способом, що підтверджує вже висловлене припущення про розпушення структури паперу під час сухого зношування (рис. 2.5). Експериментальні види паперу демонструють значно менше збільшення повітропроникності за умов обох видів зношування.

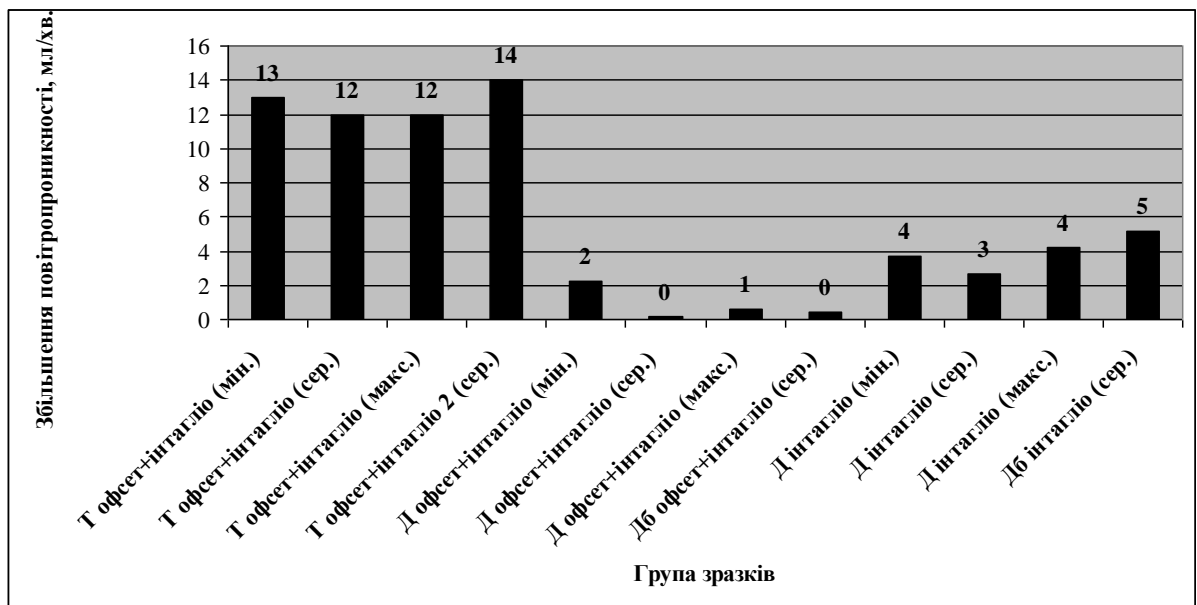


Рис. 2.5. Збільшення повітропроникності зразків банкнот різних груп після вологого зношування

Найменша зміна повітропроникності під час штучного сухого та вологого зношення – у зразків четвертої групи, що виготовлені на експериментальному папері Д із застосуванням одностороннього інтагліодруку із максимальним тиском, та у зразків, які виготовлені на експериментальному папері Дб.

У результаті зношування на експериментальних зразках відбулося утворення множинних надривів крайки, а також надривів по полімерній стрічці. Урахування даних про надриви дає змогу оцінити міцнісні характеристики досліджуваних зразків. Для графічного представлення отриманих результатів щодо надривів було обраховано середню величину сумарного розриву для банкнот кожного виду (рис. 2.6). Величина надривів, що утворились в місцях

розташування полімерної металізованої стрічки, дозволяє оцінити ступінь закріплення стрічки в масі, а отже і ступінь міцності паперової основи (рис. 2.7).

Аналіз отриманих даних (рис. 2.5, 2.6) дозволяє зробити висновок, що найменших деформаційних змін у процесі штучного зношення зазнали зразки, що виготовлені на експериментальному папері Дб (з полімерною металізованою стрічкою віконного типу). Отже, застосування полімерної металізованої стрічки віконного типу дозволяє підвищити зносостійкість банкнот.

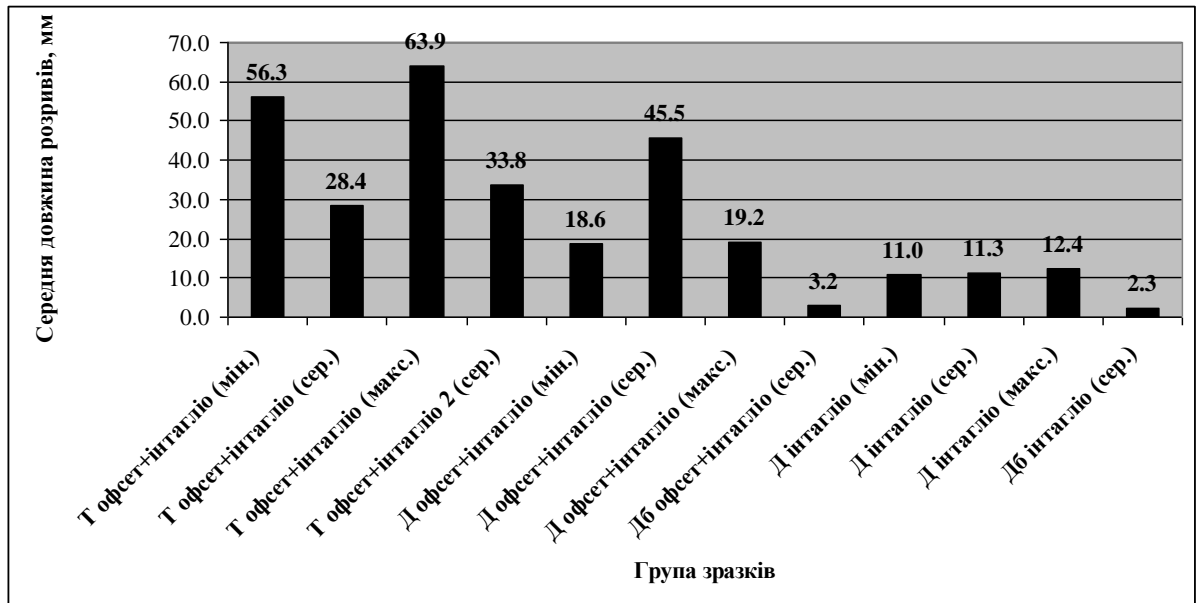


Рис. 2.6. Середня довжина розривів на одну банкноту для зразків банкнот різних груп після сухого зношування

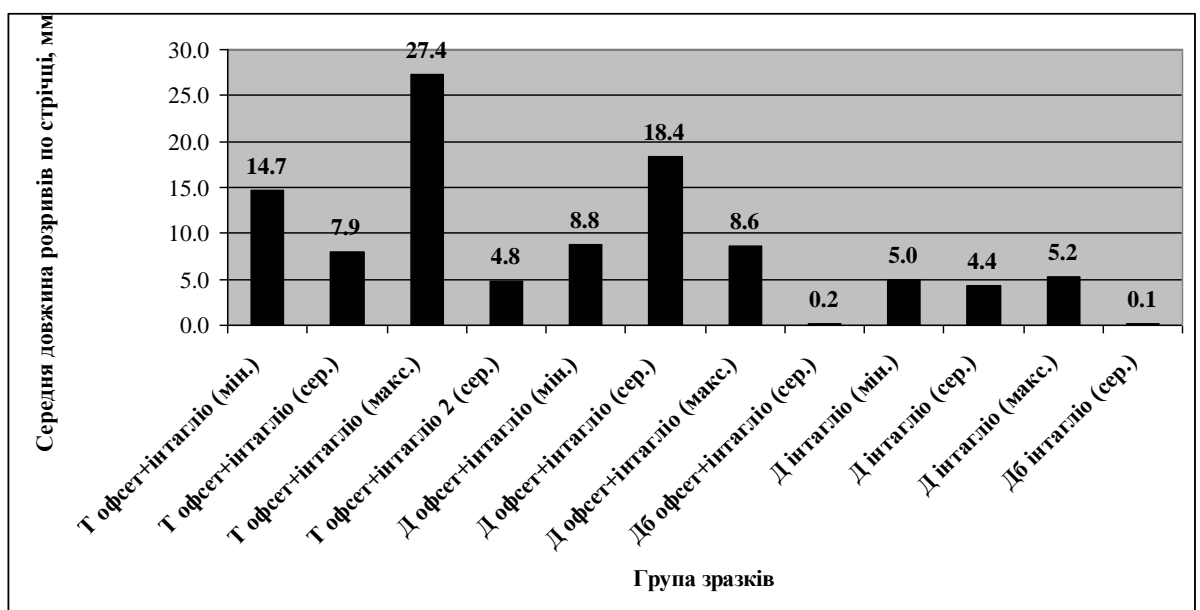


Рис. 2.7. Середня довжина розривів по полімерній стрічці для зразків банкнот різних груп після сухого зношування

Важливим показником зносостійкості банкнот є кількість загнутих та втрачених кутів, оскільки наявність таких пошкоджень перешкоджає використанню банкнот у банкоматах. За цим показником експериментальні види паперу, і особливо папір з стрічкою віконного типу, значно переважають тиражний папір (рис. 2.8).

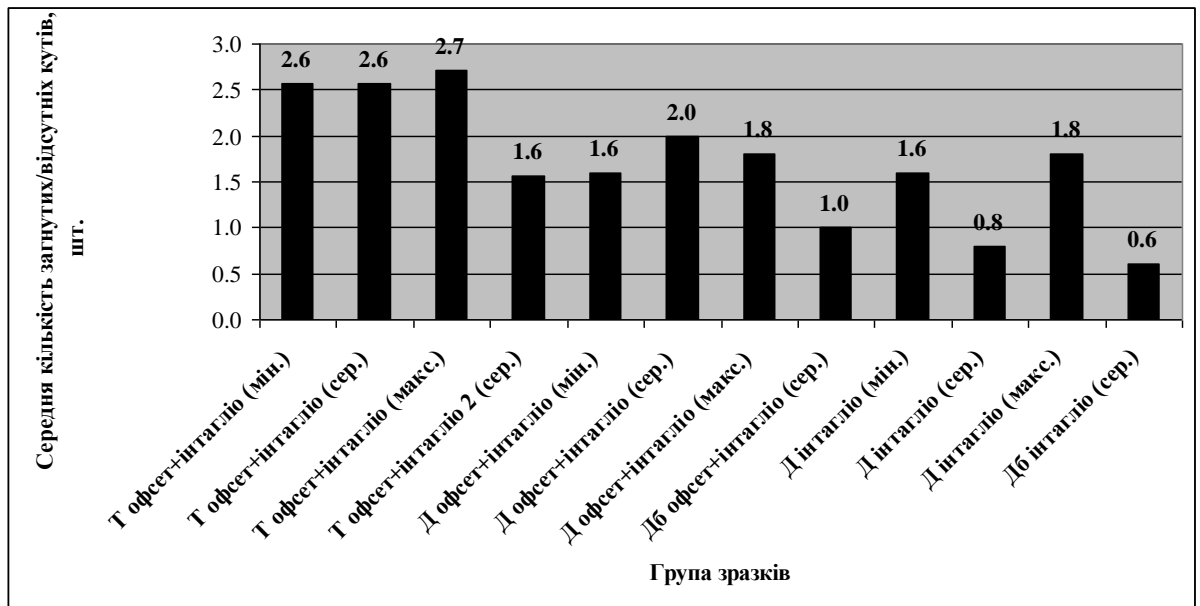


Рис. 2.8. Середня довжина загнутих/відсутніх кутів для зразків банкнот різних груп після вологого зношування

Таким чином, бачимо, що за умови великої кількості технологічних варіантів зробити обґрунтований висновок щодо найраціональнішого варіанту не є можливим. Тому постало завдання урахування великої кількості показників (понад 30 встановлених) з метою визначення комплексного показника зносостійкості [3, 23, 24]. Крім того, варто виокремлювати для порівняння альтернативи, які є

Для визначення комплексного показника зносостійкості різних варіантів виконання банкнот застосуємо адитивну згортку. Необхідно зазначити, що в наших дослідженнях стимулятором є руйнівне зусилля, відносно подовження та жорсткості за Табером. Всі інші критерії є дестимуляторами [3, 10, 23, 24]. Як вже наголошувалося вище, проблемою досліджень зносостійкості банкотної продукції є відсутність єдиного показника, котрий би достовірно

характеризував зношеність банкноти. Оцінка зносостійкості певного варіанту виготовлення зразка банкноти має розглядатися як задача багатокритеріального вибору, тобто ситуація прийняття рішення на заданій множині допустимих альтернатив $X = \{x_i | i = \overline{1, m}\}$ (видів банкнотного паперу, технологічних режимів інтагліодруку тощо) за потреби врахування сукупності властивостей (показників зношеності) альтернатив, котрі характеризуються вектором цільових функцій $\bar{f}_i = \{f_j(x_i) | j = \overline{1, n}; x \in X\}$, де $f_j(x_i)$ відповідає j -й властивості (в подальшому для зручності позначимо часткову цільову функцію $f_j(x_i) = x_{ij}$), за якою оцінюється альтернатива $x_i \in X$. Пропонується процес прийняття рішення на множині альтернатив, котрі характеризуються певною кількістю часткових критеріїв, здійснити в результаті зведення цих критеріїв до одного узагальненого критерію, який буде побудовано шляхом згортки багатьох критеріїв побудовою функції корисності із формуванням комплексного показника зносостійкості, визначення котрого з урахуванням максимально можливої кількості показників (див. рис. 1.1), виміряних чи встановлених на різних етапах зношування, дозволить здійснювати об'єктивний прогноз щодо очікуваного часу перебування банкнот в обігу.

Тому для урахування великої кількості показників під час вирішення задач вибору оптимального технологічного процесу виготовлення банкнот підвищеної зносостійкості розроблено структурно-логічну схему визначення комплексного показника зносостійкості банкнотної продукції (рис. 2.9). Схема включає експертний, випробовувальний, вимірювальний та обчислювальний блоки та ґрунтується на розробленому алгоритмі (див. розд. 1, рис. 1.3) та математичних залежностях визначення функції корисності (див. розд. 1, табл. 1.1). Застосування цієї структурно-логічної схеми дозволяє оцінити рівень зносостійкості банкнотної продукції, яка визначається за великою кількістю показників зношеності.



Рис. 2.9. Структурно-логічна схема визначення комплексного показника зносостійкості банкнотної продукції

2.2.2. Багатофакторне дослідження зносостійкості банкнотного паперу

Отже, в попередньому підрозділі показано, що навіть накопичення великого обсягу експериментальних даних не є запорукою обрання найкращого технологічного варіанту виготовлення продукції.

Банкноти повинні не тільки мати високий ступінь захисту, але й зберігати в обігу сукупність оптичних, міцнісних, розмірних та інших показників на певному рівні. Ці якості значною мірою визначають характеристики основи, що задруковується. Характеристики банкнотного паперу повинні забезпечити стабільність відтворення друкованого зображення. Крім того, властивості банкнотного паперу є надзвичайно важливим чинником забезпечення зносостійкості банкнотної продукції. Якщо з точки зору зносостійкості бажаним був би максимально високий ступінь проклеювання, що забезпечило б непористу поверхню основи з низькими сорбційними властивостями, то необхідність проникнення фарби в папір для її закріплення на відбитку вимагає прямо протилежного. Тому ступінь та спосіб проклеювання обирають оптимальним за двома протилежними факторами – адгезією фарби та стійкістю до забруднення [3, 23].

Аналіз характеристик паперу, що використовувався в дослідженнях (див. розд. 2.2.1, табл. 2.6), показує, що експериментальні види паперу Д і Дб мають значно нижчу поверхневу вбирність, вищий опір роздиранню, вологоміцність, кількість подвійних перегинів, що має сприяти їх більшій стійкості до зношування.

Зміни показників зношеності банкнотного паперу. Метою дослідження було визначити максимально стійку до чинників штучного зношування основу банкнот на основі даних, отриманих для зразків, виготовлених на різних видах паперу.

Проведено порівняльний аналіз стійкості до чинників штучного зношування незадрукованого паперу – зразків Т, група 1, зразків Д і Дб, група 3 (розд. 2.2.1, табл. 2.6).

В результаті імітації зношування відбуваються зміни оптичних характеристик зразків: відбувається зсув координат кольору, зменшуються значення світлоти та яскравість банкнотного паперу (табл. 2.7, 2.8).

Таблиця 2.7

Зміна оптичних показників якості банкнотного паперу в результаті імітації зношування. Колірний зсув

Показник	Група	Оптичні					
	Назва	Колірний зсув ΔE (лице)			Колірний зсув ΔE (зворот)		
Зношування	Вид	Вологе					
	Кількість циклів	1	2	3	1	2	3
Вид паперу	Т	4.54	5.18	5.51	3.97	4.56	5.05
	Д	1.93	2.39	2.96	2.09	3.03	3.61
	Дб	2.16	2.53	3	1.74	2.8	3.81

Таблиця 2.8

Зміна оптичних показників зношеності банкнотного паперу в результаті імітації зношування. Яскравість

Показники	Група	Оптичні					
	Назва	Зміна яскравості за ТАРРІ (лице), %			Зміна яскравості за ТАРРІ (зворот), %		
Зношування	Вид	Вологе					
	Кількість циклів	1	2	3	1	2	3
Вид паперу	Т	9.41	17.17	24.24	8.34	16.12	23.57
	Д	3.36	5.40	6.91	4.66	6.77	8.14
	Дб	3.66	6.13	7.07	4.18	6.49	8.69

В результаті зношування відбувається збільшення товщини та маси паперу, особливо помітне на першому циклі зношування. Відбувається збільшення повітропроникності та шорсткості, зменшується гладкість, жорсткість, руйнівне зусилля, відносне подовження (табл. 2.9–2.11). Виникають пошкодження крайки паперу – надриви, розриви, загнуті кути (табл. 2.12).

Таблиця 2.9

Зміна розмірних показників зношеності банкнотного паперу в результаті імітації зношування

Показники	Група	Розмірні			
	Назва	Збільшення товщини, мм	Збільшення товщини, мм	Збільшення товщини, мм	Збільшення маси, г
	Вид	Дестимулятор			
Зношування	Вид	Вологе			
	Кількість циклів	1	2	3	3
Вид паперу	Т	0.022	0.021	0.021	0.044
	Д	0.017	0.024	0.023	0.040
	Дб	0.016	0.025	0.020	0.041

Таблиця 2.10

Зміна структурних показників зношеності банкнотного паперу в результаті імітації зношування

Показники	Група	Структурні					
	Назва	Шорсткість, мл/хв		Повітропроникність, мл/хв		Гладкість, с	
	Вид (стимулятор (С))/ дестимулятор (Д))	Д	Д	Д	Д	С	С
Зношування	Вид	Вологе	Сухе	Вологе	Сухе	Вологе	Сухе
	Кількість циклів	3	1	3	1	3	1
Вид паперу	Т	2895	4213	22	342	8	11
	Д	3013	3867	56	116	8	12
	Дб	2957	4011	51	106	7	10

Таблиця 2.11

Зміна показників міцності банкнотного паперу в результаті імітації зношування

Показники	Група	Міцністні					
	Назва	Руйнівне зусилля, Н		Відносне видовження, %		Жорсткість за Табером, г·см	
	Вид	Стимулятор					
Зношування	Вид	Вологе	Сухе	Вологе	Сухе	Вологе	Сухе
	Кількість циклів	3	1	3	1	3	1
Вид паперу	Т	62.28	57.5	10.3	13.6	0.45	0.75
	Д	57.63	56.9	11.8	11.1	0.45	0.55
	Дб	57.97	57.1	10.4	10.1	0.75	0.5

Таблиця 2.12

Кількість локальних пошкоджень банкнотного паперу в результаті імітації зношування

Показники	Група	Локальні пошкодження			
	Назва	Загальна довжина розривів на банкноту, мм	Середня довжина одного розриву, мм	Загальна довжина розривів на банкноту по полімерній стрічці, мм	Середня кількість загнутих / відсутніх кутів на одну банкноту, шт
	Вид	Дестимулятор			
Зношування	Вид	Сухе	Сухе	Сухе	Вологе
	Кількість циклів	1	1	1	3
Вид паперу	Т	38.3	7.1	12.2	0.7
	Д	6.9	2.0	0.7	1.0
	Дб	2.2	0.9	0.3	1.4

Зміни всіх оптичних показників якості менші для експериментальних видів паперу, що свідчить про їх кращу зносостійкість порівняно з тиражним папером. Особливо суттєвими (майже втричі порівняно з експериментальним папером) є погіршення в результаті зношування яскравості тиражного паперу.

Однак, за іншими показниками (розмірними, структурними, міцністними) експериментальні види паперу не мають такої помітної переваги над тиражним, а за певними показниками (збільшення товщини, шорсткість, повітропроникність після вологого зношування, жорсткість за Табером після сухого зношування) тиражний папір навіть переважає експериментальні види паперу. Незаперечною є перевага експериментальних видів паперу за наявністю локальних пошкоджень.

Для коректної оцінки зносостійкості різних основ шляхом урахування великої кількості показників якості видів банкнотного паперу визначено комплексні показники їх зносостійкості [10] (табл. 2.13).

Визначення комплексного показника зносостійкості банкнотного паперу. Множиною допустимих альтернатив $X = \{x_i | i = \overline{1, m}\}$ є три види банкнотного паперу.

В табл. 2.13 наведено значення функцій корисності альтернатив – видів банкнотного паперу для різних груп показників за припущення рівноважності показників – критеріїв.

Таблиця 2.13

Комплексні показники зносостійкості альтернатив – видів банкнотного паперу

Критерії	Група показників	Оптичні	Розмірні	Структурні	Міцністні	Локальні пошкодження	Всі
	Кількість критеріїв	12	4	6	6	4	32
Згортка		За групами показників					Комплексна
Вид паперу	Т	0.45	0.90	0.85	0.91	0.30	0.65
	Д	0.97	0.92	0.88	0.84	0.47	0.86
	Дб	0.96	0.95	0.85	0.87	0.88	0.91

Сформовані функції корисності альтернатив – видів банкнотного паперу, підданих штучному зношуванню, – дозволяють зробити висновок, що за сукупністю всіх показників найбільшу зносостійкість має папір Дб – експериментальний папір із пірнаючою захисною стрічкою, протизабруднювальною обробкою та додатковою антибактеріальною

обробкою. Жодна група часткових показників зносостійкості не відповідає комплексній оцінці (рис. 2.10). Тому необхідно на етапі досліджень та ухвалення рішення про застосування певного технологічного варіанту враховувати максимально можливу кількість показників зношеності.

Оскільки сформовані функції корисності комплексно характеризують зносостійкість основ банкнот, то вони можуть бути використані для оцінки очікуваного підвищення зносостійкості банкнот ΔT :

$$\Delta T = \frac{F(x_i)}{F(x_0)}, \quad (2.1)$$

де $F(x_i)$ – функція корисності i -ї альтернативи, $F(x_0)$ – функція корисності альтернативи, яка є базою для порівняння. В даному випадку такою альтернативою є тиражний папір Т. Використання такого співвідношення показує, що зносостійкість банкнот, віддрукованих на основі Д, очікувано збільшиться в 1,32 разу, а на основі Дб – в 1,40 разу. Відповідно знизяться видатки на планову заміну банкнот через зношеність.

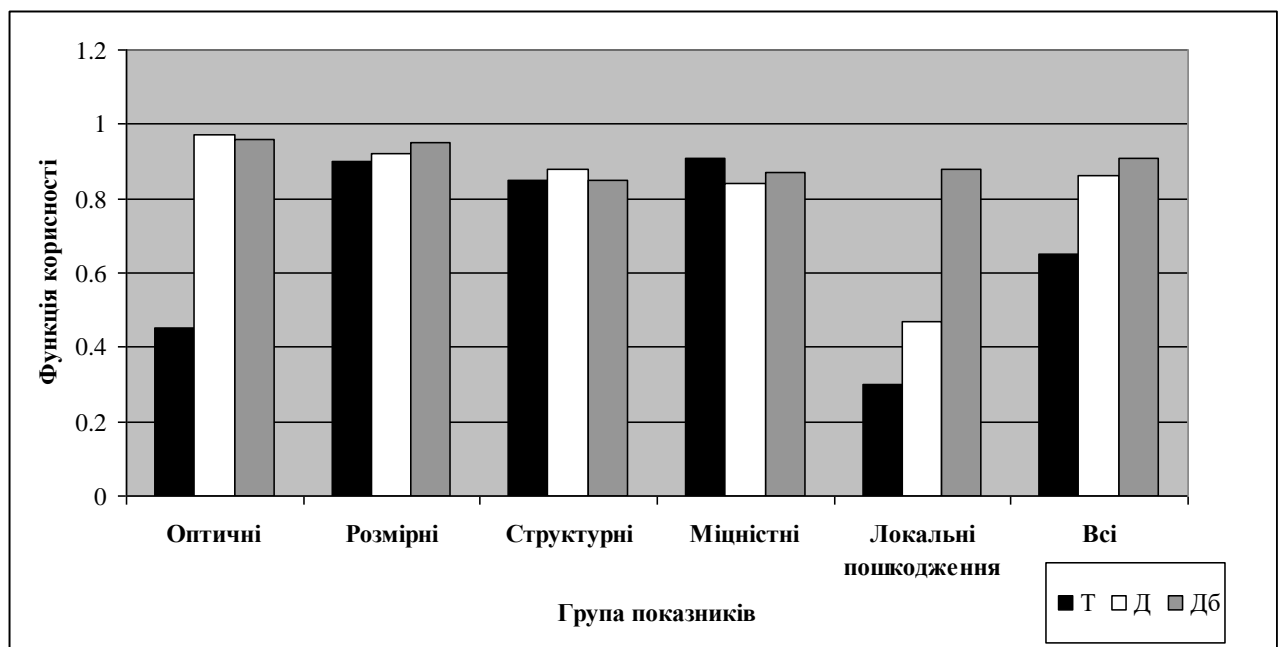


Рис. 2.10. Комплексна оцінка зносостійкості різних видів банкнотного паперу на основі функції корисності

2.2.3. Багатофакторне дослідження впливу технологічних параметрів інтагліодруку на зносостійкість банкнот

Для виконання досліджень щодо визначення зміни показників зношування банкнот Центром досліджень та розвитку технологій БМД НБУ було виготовлено експериментальні зразки банкнот української гривні номіналом 2 грн. Інтагліодрук здійснено на машині *Super-Orlof-Intaglio* [3, 24].

Досліджено зразки, технологічний процес виготовлення яких включав офсетний друк з наступним інтагліодруком, причому групи зразків відрізнялися параметрами інтагліодруку (див. розд. 2.2.1, табл. 2.5, 2.6, група зразків 2): з пониженим тиском в друкарському контакті; з нормальним тиском в друкарському контакті; з підвищеним тиском в друкарському контакті, а також з двостороннім інтагліодруком. Тиск в друкарському контакті під час інтагліодруку регулювався шляхом збільшення – зменшення відстані між друкарським та формним циліндром відносно оптимального значення, встановленого для друкування тиражної продукції [24].

Зміни показників зношеності зразків банкнот, виготовлених з різними технологічними параметрами інтагліодруку. В результаті імітації зношування відбуваються зміни оптичних характеристик зразків: відбувається зсув координат кольору, зменшуються значення світлоти та яскравість банкнот (табл. 2.14, 2.15).

В результаті зношування відбувається збільшення товщини та маси паперу, особливо помітне на першому циклі зношування. Відбувається збільшення повітропроникності та шорсткості, зменшуються жорсткість, руйнівне зусилля, відносне подовження (табл. 2.16–2.18). Виникають пошкодження крайки паперу – надриви, розриви, загнуті кути (табл. 2.19).

Таблиця 2.14

**Зміна оптичних показників зношеності банкнот в результаті імітації зношування.
Колірний зсув**

Показники	Група	Оптичні					
	Назва	Колірний зсув ΔE (лице)			Колірний зсув ΔE (зворот)		
Зношування	Вид	Вологе					
	Кількість циклів	1	2	3	1	2	3
Вид зразків	Односторонній, мінімальний	4.49	5.67	6.09	4.10	5.47	6.78
	Односторонній, середній	4.76	6.08	7.33	3.71	4.69	5.27
	Односторонній, максимальний	4.56	5.53	6.61	3.90	5.82	6.30
	Двосторонній, середній	4.73	6.01	7.12	3.98	4.65	5.35

Таблиця 2.15

**Зміна оптичних показників зношеності банкнот в результаті імітації зношування.
Яскравість**

Показники	Група	Оптичні					
	Назва	Зміна яскравості за ТАРРІ (лице), %			Зміна яскравості за ТАРРІ (зворот), %		
Зношування	Вид	Вологе					
	Кількість циклів	1	2	3	1	2	3
Вид зразків	Односторонній, мінімальний	9.98	11.77	14.10	7.39	9.85	11.25
	Односторонній, середній	9.19	12.48	14.77	6.07	7.49	8.49
	Односторонній, максимальний	9.65	12.86	14.25	8.04	10.21	11.77
	Двосторонній, середній	9.75	11.17	13.80	6.69	7.64	9.06

Таблиця 2.16

Зміна розмірних показників зношеності банкнот в результаті імітації зношування

Показники	Група	Розмірні			
	Назва	Збільшення товщини, мм	Збільшення товщини, мм	Збільшення товщини, мм	Збільшення маси, г
Зношування	Вид	Вологе			
	Кількість циклів	1	2	3	3
Вид зразків	Односторонній, мінімальний	0.007	0.008	0.009	0.049
	Односторонній, середній	0.009	0.008	0.012	0.038
	Односторонній, максимальний	0.007	0.010	0.012	0.044
	Двосторонній, середній	0.003	0.007	0.008	0.033

Таблиця 2.17

Зміна структурних показників зношеності банкнот в результаті імітації зношування

Показники	Група	Структурні					
	Назва	Шорсткість, мл/хв		Повітропроникність, мл/хв			
Зношування	Вид	Вологе	Сухе	Вологе			Сухе
	Кількість циклів	3	1	1	2	3	1
Вид зразків	Односторонній, мінімальний	3486	4036	0	5	17	201
	Односторонній, середній	3373	4217	0	5	14	243
	Односторонній, максимальний	3326	4239	0	5	22	165
	Двосторонній, середній	3990	4343	0	0	7	229

Зміни всіх оптичних показників якості менші для зразків, виготовлених при середніх значеннях тиску в друкарському контакті, як для одностороннього, так і двостороннього друку.

Таблиця 2.18

Зміна показників міцності банкнот в результаті імітації зношування

Показники	Група	Міцнісні					
	Назва	Руйнівне зусилля, Н		Відносне видовження, %		Жорсткість за Табером, г*см	
Зношування	Вид	Вологе	Сухе	Вологе	Сухе	Вологе	Сухе
	Кількість циклів	3	1	3	1	3	1
Вид зразків	Односторонній, мінімальний	47.50	32.60	9.00	5.70	0.40	0.40
	Односторонній, середній	58.15	48.40	11.40	9.00	0.40	0.45
	Односторонній, максимальний	47.80	45.30	9.10	8.70	0.40	0.40
	Двосторонній, середній	59.25	39.80	10.50	7.20	0.40	0.40

Таблиця 2.19

Кількість локальних пошкоджень банкнот в результаті імітації зношування

Показники	Група	Локальні пошкодження			
	Назва	Загальна довжина розривів на банкноту, мм	Середня довжина одного розриву, мм	Загальна довжина розривів на банкноту по полімерній стрічці, мм	Середня кількість загнутих/ відсутніх кутів на одну банкноту, шт
Зношування	Вид	Сухе	Сухе	Сухе	Вологе
	Кількість циклів	1	1	1	3
Вид зразків	Односторонній, мінімальний	56.3	10.7	14.7	2.6
	Односторонній, середній	28.4	3.8	7.9	2.6
	Односторонній, максимальний	63.9	16.9	27.4	2.7
	Двосторонній, середній	33.8	4.4	4.8	1.6

При застосуванні одностороннього друку найменше збільшилася в результаті зношування товщина зразків з пониженим тиском в друкарському контакті.

Також ця група зразків має високі показники зносостійкості після сухого зношування. Однак, за іншими показниками зразки, видрукувані з пониженим тиском є найгіршими. Підвищення тиску під час інтагліодруку дозволяє дещо сповільнити накопичення бруду на банкнотах, показником якого є збільшення товщини. Однак, на останніх стадіях забруднення (3 цикл зношування) цього вже не спостерігається (табл. 2.16).

Загалом, можна побачити, що у разі одностороннього інтагліодруку немає значення тиску, що дозволяє отримати найвищу зносостійкість зразків за всіма показниками. Двосторонній інтагліодрук забезпечує отримання зразків із найкращими оптичними, структурними, розмірними показниками та показниками локальних пошкоджень, однак за показниками міцності (табл. 2.18) поступається односторонньому друку. Отже, коректно оцінити вплив параметрів інтагліодруку на зносостійкість банкнот, спираючись тільки на окремі показники, неможливо. Таким чином, постає завдання урахування великої кількості показників зношеності з метою визначення комплексного показника зносостійкості [10].

Визначення комплексного показника зносостійкості зразків банкнот, виготовлених з різними технологічними параметрами інтагліодруку. Оскільки, як вже зазначалося, коректно оцінити вплив параметрів інтагліодруку на зносостійкість банкнот, спираючись тільки на окремі показники, неможливо, визначено комплексний показник якості – функцію корисності, котрий враховує велику кількість показників з метою визначення комплексного показника зносостійкості.

В табл. 2.20 наведено значення функцій корисності альтернатив – видів зразків, отриманих за різних технологічних режимів інтагліодруку для різних груп показників за припущення рівноважності показників – критеріїв.

Сформовані функції корисності показують, що за сукупністю всіх показників найбільшу зносостійкість мають зразки, отримані за середнього значення тиску в друкарському контакті при двосторонньому інтагліодруці (рис. 2.11). Тобто, застосування двостороннього інтагліодруку дозволить

суттєво підвищити зносостійкість банкнот. Очікуване підвищення зносостійкості банкнот ΔT , визначене за виразом (2.1), становить 1,1 разу.

Таблиця 2.20

Комплексні показники зносостійкості альтернатив – зразків, віддрукованих з різними технологічними режимами інтагліодруку

Критерії	Група показників	Оптичні	Розмірні	Структурні	Міцнісні	Локальні пошкодження	Всі
	Кількість критеріїв	12	4	7	6	4	33
Функція корисності		За групами показників					Комплексна
Вид зразків	Односторонній, мінімальний	0.90	0.72	0.74	0.80	0.45	0.77
	Односторонній, середній	0.97	0.69	0.74	1.00	0.81	0.87
	Односторонній, максимальний	0.89	0.64	0.75	0.90	0.36	0.77
	Двосторонній, середній	0.97	1.00	0.93	0.91	0.93	0.95

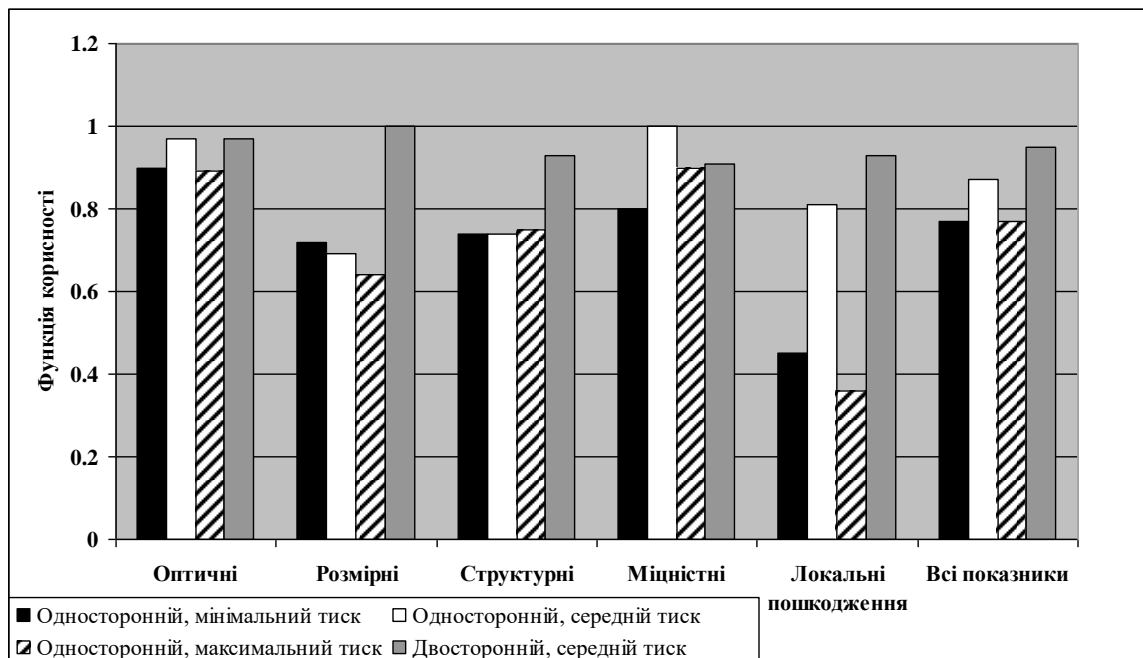


Рис. 2.11. Комплексна оцінка зносостійкості різних варіантів технологічних режимів інтагліодруку на основі функції корисності

2.3. Комплексне дослідження стійкості фарбового шару інтагліодруку до чинників штучного зношування

У зв'язку із потребою забезпечення достатньої зносостійкості фарбового шару інтагліодруку на експериментальних видах паперу, заплановано та здійснено комплекс досліджень різних видів паперу, задрукованих інтагліодруком фарбами різного композиційного складу [3, 25].

Основною метою дослідження було з'ясувати, використання якої фарби інтагліодруку дозволить отримувати зразки банкнот на паперовій основі підвищеної зносостійкості (папір Д) з найвищою стійкістю до відшаровування фарби під час штучного зношування.

2.3.1. Методичне забезпечення досліджень стійкості фарбового шару інтагліодруку до чинників штучного зношування.

Досліджувалися виготовлені експериментальні зразки банкнот номіналом 10 грн. на таких видах паперу:

- а) тиражний папір (одношаровий, меламін-формальдегідне проклеювання (МФ), стрічка занурена в масу паперу) – далі позначено Т;
- б) одношаровий папір з безформальдегідним проклеюванням (БФ), стрічка занурена в масу паперу (далі – серійний папір) – далі позначено С;
- в) експериментальний двошаровий папір підвищеної зносостійкості Д зі стрічкою віконного типу.

Важливим для технологічного процесу інтагліодруку є те, що папір Д має суттєво нижчу (практично в 2 рази), ніж у тиражного паперу Т, поверхневу вбирність, що може погіршувати процеси адгезії фарби інтагліодруку до поверхні паперу. За щільністю та шорсткістю тиражний та папір Д не мають суттєвих відмінностей. Характеристики паперу наведено в табл. 2.21.

В подальшому зразки паперу було задруковано інтагліодруком з попереднім офсетним друком та без офсетного друку. Було використано фарби інтагліодруку різного композиційного складу (табл. 2.22). Принциповою

відмінністю фарб було те, що основою рецептур № 1–4 були речовини серії ST, для рецептур № 5, 6 основою були речовини серії SL.

Досліджувані фарби мали відмінності в реологічних властивостях (табл. 2.23).

Таблиця 2.21

Характеристики паперу, що використовувався в дослідженнях стійкості фарбового шару інтагліодруку

Показники якості	Види паперу		
	Т	С	Д
Кількість шарів	Одношаровий	Одношаровий	Двошаровий
Проклеювання	МФ	БФ	БФ
Товщина мкм	106±2	109±2	111±1
Маса, г/м ²	85,8	82,8	91,8
Вологість, %	6,7	6,8	6,2
Лінійна деформація у поперечному напрямі, %	1,9	1,9	1,5
Поверхнева вбирність води, г/м ² (Кобб ₆₀)			
– верхній бік паперу	25,5±1,0	20,0–50,0	12,4±3
– сітковий бік паперу	31,5±4,0		14,2±2,5
рН водяної витяжки	6,4	7,7	6,4
Шорсткість, мл/хв. верхній бік /сітковий бік	337/368	316/327	368 / 330
Непрозорість, %	91,1	91,5	91,0
Абсолютний опір роздиранню, мН	Маш.=780	Маш.=710	Маш.=830; Попер.=935
Подвійні згини	Маш.=5397; Попер.=3750	Маш.=5402; Попер.=2881	Маш.=7500; Попер.=4334
Руйнівне зусилля, Н	Маш.=124; Попер.= 57	Маш.=112 Попер.=58	Маш.=124 Попер.=65
Відносне подовження, %	Маш.= 4,3 Попер.= 8,2	Маш.= 5,8 Попер.= 10,6	Маш.= - Попер.= 2,1
Вологоміцність, %	46,0	43,4	51,6
Зольність, %	2,5	2,7	3

Фарби на основі речовин серії ST (далі – фарби ST) мають меншу липкість та в'язкість, ніж фарби на основі речовин серії SL (далі – фарби SL), що, враховуючи низьку поверхневу вбирність паперу Д, зважаючи на механізми адгезії, описані в розд. 1, може спричинити погане закріплення фарби на відбитку та відшарування її під час зношування [3, 25].

Для запобігання відмарюванню зображення, щойно віддрукованого інтагліодруком, використовують різні заходи, як, наприклад, перекладання задрукованих аркушів смужками паперу для запобігання контакту звороту наступного з лицем попереднього аркуша [3]. Але переважна більшість противідмарювальних заходів пов'язана із прискоренням сушіння задрукованого аркуша, а також введенням у фарбу домішок різного типу. Такі домішки були присутні в частині рецептур, що досліджувалися (табл. 2.22)

Таблиця 2.22

**Рецептури фарб, що використовувалися під час виконання роботи.
Фарба 3-87.771 темно-фіолетова**

Речовина		Рецептура №					
Складова	Група	1	2	3	4	5	6
Сикатив, %	-	3,0					
Біла смола, %	ST	28,0				-	
	SL	-				28,0	
Прозора смола, %	ST	23,0	13,0	18,0	8,0	-	-
	SL	-	-	-	-	23,0	8,0
Пігментні концентрати, %	ST	4,0				-	
	ST	1,0				-	
	ST	25,0				-	
	ST	16,0				-	
	SL	-				4,0	
	SL	-				1,0	
	SL	-				25,0	
Смола для підвищення в'язкості, %	-	-	10,0	-	10,0	-	10,0
	-	-	-	5,0	5,0	-	5,0

Таблиця 2.23

Реологічні властивості фарб (за температури 40 °С)

Показники	№ рецептури фарби					
	1	2	3	4	5	6
Липкість, кДж	120	125	120	126	135	142
В'язкість, Па·с	6.5	6.9	6.8	7	7.5	7.8

Опис досліджуваних експериментальних зразків наведено в табл. 2.24.

Досліджувані зразки банкнот (позначення)

№ рецептури	Друк	Папір		
		Т	С	Д
№ 1	інтагліо	T1	-	Д1
	офсет+інтагліо	To1	-	-
№ 2	інтагліо	-	-	Д2
	офсет+інтагліо	-	-	-
№ 3	інтагліо	T3	С3	-
	офсет+інтагліо	To3	Со3	-
№ 4	інтагліо	T4	С4	Д4
	офсет+інтагліо	To4	Со4	-
№ 5	інтагліо	T5	С5	Д5
	офсет+інтагліо	-	Со5	До5
№ 6	інтагліо	T6	С6	Д6
	офсет+інтагліо	To6	Со6	До6

Експериментальні дослідження, спрямовані на забезпечення зносостійкості банкнот української гривні ґрунтувалися на комплексі стандартних, а також нових і вдосконалених методик визначення показників зношеності (рис 2.12).

В наших дослідженнях на основі застосування стандартних методик вимірювання встановлювалися зміни в результаті зношування таких показників:

- оптичні показники – яскравість, колірне відхилення. Зміна яскравості широко застосовується під час оцінки зношеності банкнот [3, 23–26], оскільки достатньо адекватно характеризує сприйняття людиною забрудненості банкнот. Колірне відхилення ΔE_{ab}^* визначалося в колірному просторі СІЕ 1976 (L^* , a^* , b^*) за формулою $\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_{new}^* - L_{det}^*)^2 + (a_{new}^* - a_{det}^*)^2 + (b_{new}^* - b_{det}^*)^2}$, де $L_{new}^*, a_{new}^*, b_{new}^*$ – колірні координати незношених банкнот, $L_{det}^*, a_{det}^*, b_{det}^*$ – колірні координати банкнот після зношування [26]. Колірне відхилення найбільш повно характеризує сприйняття людиною зміни кольору банкноти та його зсув в бік жовтуватого-коричневого в результаті зношування. Як відомо, людина здатна помічати колірні відмінності, якщо $\Delta E_{ab}^* \geq 5$ [3]. Вимірювання оптичних характеристик здійснено в незадрукованій зоні поблизу водяного знаку з лиця та звороту банкнот;

- розмірні показники – зміна маси, товщини банкнот – характеризують ступінь накопичення забруднень через зношування;

- структурні показники – повітропроникність, шорсткість (за Бендстеном), гладкість [3, 25]. Тести характеризують взаємне розташування волокон, пухкість та пористість основи банкноти, що збільшуються в результаті зношування, закритість поверхні та міцність волокон паперу і зв'язків між ними, котрі знижуються через зношування;

- міцнісні показники – опір зламу (кількість подвійних перегинів), руйнівне зусилля, показник відносного подовження, стійкість крайки до надриву, стійкість крайки до надриву роздиранням, нульова розривна довжина, жорсткість за Табером, жорсткість за методом резонансу, жорсткість за методом кільця [3, 25]. Це стандартні тести, котрі характеризують міцність волокон паперу та зв'язків між ними, опір вигинанню, котрі знижуються через зношування.

- локальні пошкодження банкнот (середня довжина одного розриву, загальна довжина розривів, загальна довжина розривів по полімерній стрічці, загальна кількість загнутих/відсутніх кутів на одну банкноту) встановлювалися відповідно до методик Центру досліджень та розвитку технологій БМД НБУ.

Крім того, під час досліджень стійкості фарбового шару інтагліодруку до чинників штучного зношування використовувалася низка додаткових тестів. Перелік досліджень, що їх традиційно здійснюють під час розробки нових видів фарб інтагліодруку та будь-яких змін їх рецептури для визначення стійкості фарби до відшаровування через зношування є достатньо широким [3, 25]. Це такі тести:

- на загальне забруднення в умовах штучного зношування (виконувалися відповідно до описаних вище методик, зокрема – дослідження змін оптичних характеристик);

- на хімічну стійкість до низки речовин;

- пральний тест;

- на зминання;
- адгезійний тест;
- зміна магнітних властивостей тощо.

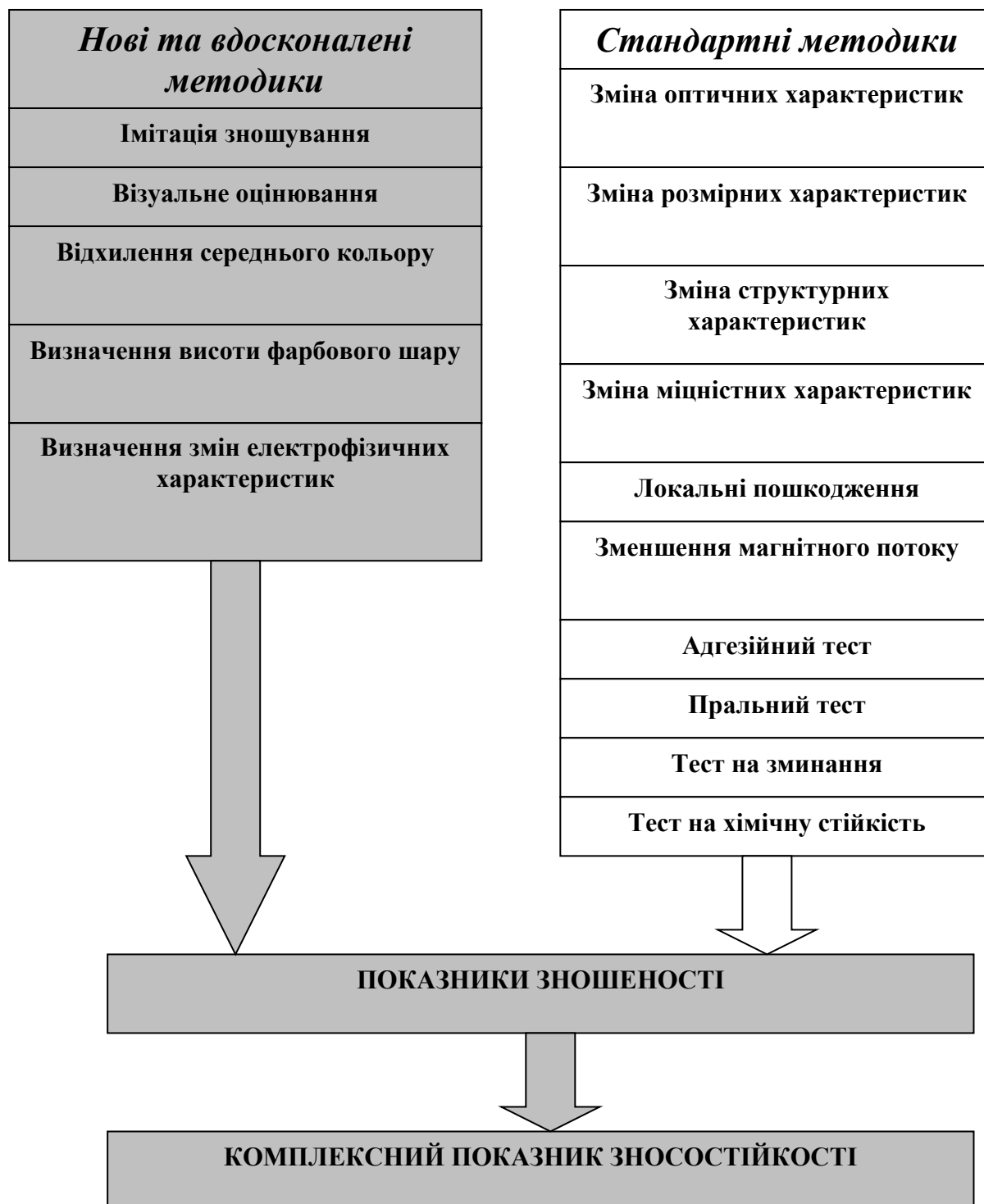


Рис. 2.12. Комплекс методик, що застосовувалися під час досліджень

Під час досліджень адгезії фарбового шару до різних паперових основ та його стійкості до зношування було використано ці тести, частину з них вдосконалено, а також розроблено нові методики оцінювання [3] (рис. 2.12).

Оскільки температура та відносна вологість повітря мають істотний вплив на поведінку волокнистих матеріалів, волога, що конденсується в порах і капілярах, може спричинити серйозні похибки експериментальних вимірювань, перед початком вимірювань проводили акліматизацію згідно стандартів [3] – витримування протягом 24 год. при температурі $22 \pm 0,1$ °C, відносній вологості $50,0 \pm 2,0$ %.

Застосування методології візуального оцінювання в стандартних тестах.

Адгезійний тест. Визначення стійкості фарбового шару до відривання липкої стрічки проведене для всіх зразків у зоні портрету шляхом наклеювання липкої стрічки до поверхні зразка, витримки зразків протягом 15 хв та подальшого відшаровування липкої стрічки з постійним зусиллям.

Бальне оцінювання поверхні зразка на предмет збереження фарбового шару за шкалою 1–5 та бальне оцінювання поверхні липкої стрічки на предмет переходу фарбового шару (шкала 1–5) здійснювалося за удосконаленою методикою візуального оцінювання. Використовувалися незношені зразки.

Пральний тест. Пральний тест є одним з обов'язкових для оцінки стійкості фарби інтаглідруку [3, 25].

Пральний тест виконували для зразків, віддрукованих тільки інтаглідруком, шляхом прання при температурі 90 град. протягом 120 хв. Використовувалися незношені зразки. Бальне оцінювання поверхні зразка на предмет збереження фарбового шару (шкала 1–5) здійснене за методикою візуального оцінювання, описаною вище.

Тест на хімічну стійкість відбитків. Проведення випробувань здійснювалося наступним чином. Відбиток фарби занурювали в реактив чи розчин на 30 хв (ацетон 5 хв) при температурі 25 °C, 0,5 %-вий розчин прального порошку – 90 °C.

Після витримування в реактиві/розчині протягом заданого часу одержаний мокрий відбиток було викладено на скло фарбою догори, накрито фільтрувальним папером та склом і витримано до повного висихання.

Стійкість до дії агресивних середовищ визначалася за зміною кольору відбитку на фільтрувальному папері, а також кольору фарбового відбитку. Візуальна оцінка здійснювалася за алгоритмом, описаним вище, при денному світлі та світлі Cool White. Фарба вважається стійкою до дії агресивного середовища, якщо після випробування відбиток не змінив кольору, та не забарвився фільтрувальний папір.

Використано фільтрувальний папір (ГОСТ 12026–76), скляні пластинки товщиною 2–5 мм, 120×90мм (ГОСТ11–78).

Тест на зминання. Визначення стійкості фарбового шару внаслідок багаторазового зминання (crumpling test) є стандартним тестом для дослідження стійкості фарбового шару інтагліодруку [3, 25]. Виконується шляхом багаторазових циклів зминання – розправлення зразків з певною кратністю. В наших дослідженнях здійснено 16 циклів зминання – розправлення. В подальшому здійснене бальне оцінювання поверхні зразків на предмет збереження фарбового шару (шкала 1–5) за методикою візуального оцінювання, описаною вище. Використовувалися незношені зразки, виконані на папері Д.

2.3.2. Результати дослідження впливу чинників штучного зношування на часткові показники зношеності зразків.

Оптичні та магнітні показники. Для визначення впливу фарб інтагліодруку, їх композиційного складу на експлуатаційні властивості банкнотних відбитків досліджено стійкість фарбового шару інтагліодруку із застосуванням імітації зношування вказаних експериментальних зразків в імітаторі зношування з використанням методу сухого зношування відповідно до методики [32].

До та після деградації зразків банкнот в імітаторі зношення було виміряно їх масу, яскравість, колірні характеристики, а також, враховуючи, що переважна більшість рецептур фарб включає пігмент з магнітними властивостями, за

допомогою флюксметра *ISS 200* виміряно магнітний потік (відповідно до внутрішніх регламентів виробника банкотної продукції).

Результати візуальної оцінки зразків, а також результати вимірювання яскравості та колірних характеристик зразків L^* , a^* , b^* , які проводились для лицьового боку банкнот, наведено в [3].

За підсумками проведеного сухого зношування можна зробити висновок про достатню зносостійкість всіх видів фарб на тиражному та серійному папері. З погляду оптичних характеристик тільки фарби SL (рецептура № 5 та № 6) дозволяють отримати на папері Д відбитки, зміна оптичних характеристик яких не перевищує відповідних змін для тиражного паперу. Після сухого зношування кращі показники оптичних характеристик мають зразки, віддруковані фарбою SL за рецептурою № 5 (рис. 2.13, 2.14).

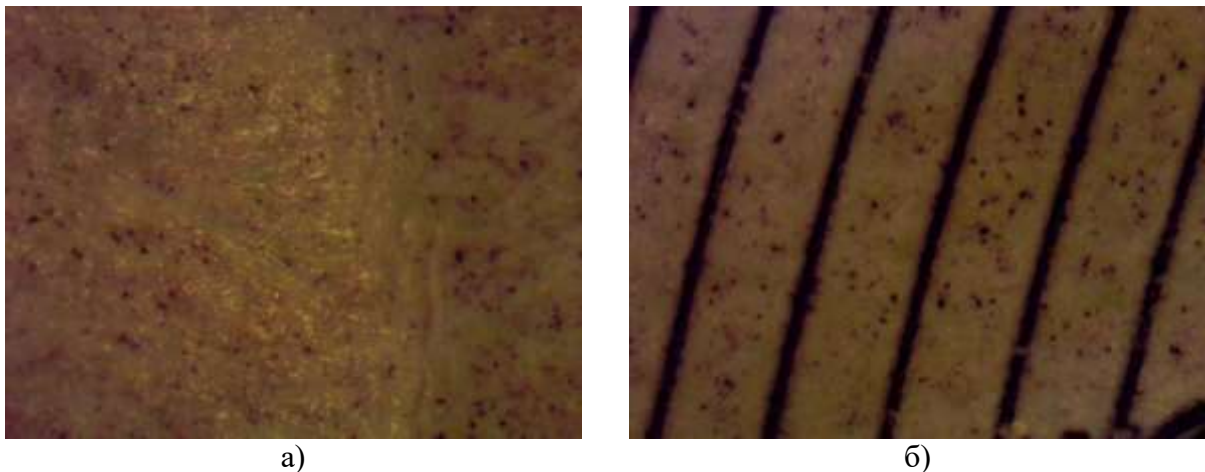


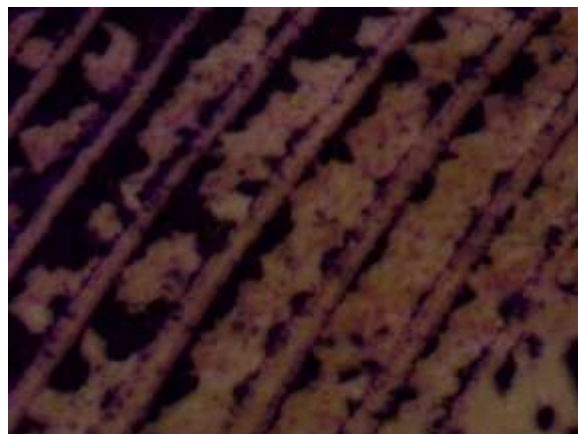
Рис. 2.13. Зміна кольору внаслідок покриття рештками відшарованої фарби інтагліодруку зони контролю зношування біля водяного знаку (а) та зони портрету (б). Збільшення 45×

З урахуванням висновків, отриманих за підсумками сухого зношування, про найбільшу стійкість фарбового шару зразків, віддрукованих рецептурами SL № 5 та № 6, було додатково проведено імітацію зношування вказаних експериментальних зразків в імітаторі зношування з використанням методу вологого зношування відповідно до методики [32]. Установлено, що після вологого зношування дещо кращі показники оптичних характеристик мають зразки, віддруковані фарбою SL за рецептурою № 6. Показники зразків і

рецептури № 5, і рецептури № 6 є негіршими за показники зразків відповідних рецептур на тиражному та серійному папері.



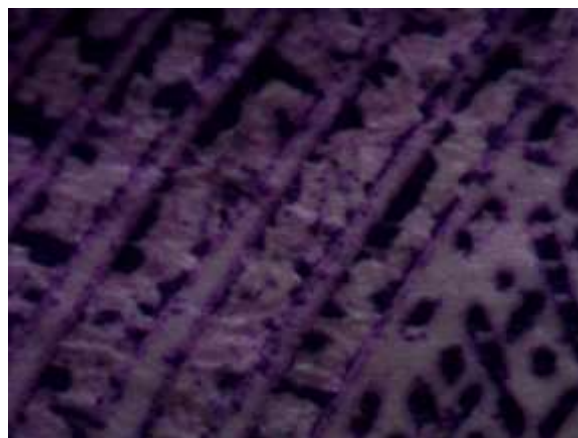
а)



б)



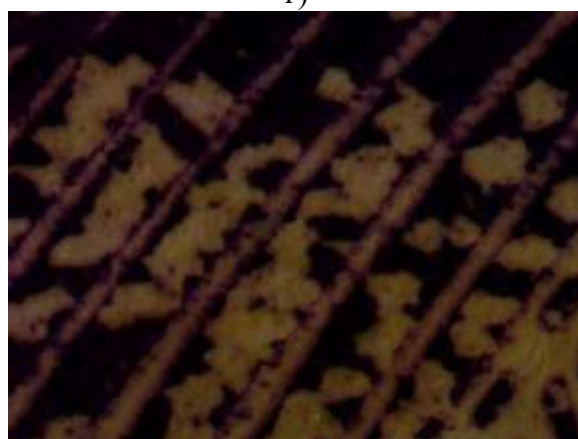
в)



г)



д)



е)

Рис. 2.14. Стан фарбового шару інтагліодруку фарбою № 1 (а, б), № 2 (в, г) та № 4 (д, е) на двохшаровому папері Д до зношування (а, в, д) та після зношування (б, г, е). Збільшення 45×

Необхідно зазначити, що, незважаючи на те, що оцінка зношеності за зміною оптичних властивостей зони контролю зношення біля водяного знаку є, як вже

зазначалося, одним з основних методів, в умовах сухого зношування та значного відшаровування фарби інтагліодруку з її наступним практично неконтрольованим розповсюдженням як по поверхні зразків (рис. 2.13), так і по поверхні зношувального агента та внутрішньої частини контейнера імітатора, використання оптичних показників має обмежену достовірність і обов'язково повинно розглядатися в комплексі з результатами інших тестів.

Так, зміни магнітного потоку після проведеного зношування дозволяють непрямым методом оцінити кількість фарби, що відшарувалася через зношування. Ці вимірювання також показують, що фарби SL на папері Д дозволяють отримати відбитки, зміни магнітних властивостей котрих перебувають в межах, характерних для тиражного паперу. При цьому, якщо після сухого зношування менші зміни у зразків за рецептурою № 5, то після вологого зношування – у зразків за рецептурою № 6 [3]

Адгезійний тест. Візуальна оцінка стійкості фарбового шару після адгезійного тесту (рис. 2.15), а також поверхні липкої стрічки показало значно більшу стійкість фарб SL, особливо рецептури № 5, як для зразків без офсетного друку, так і з офсетним друком. Результати адгезійного тесту наведено в [3].

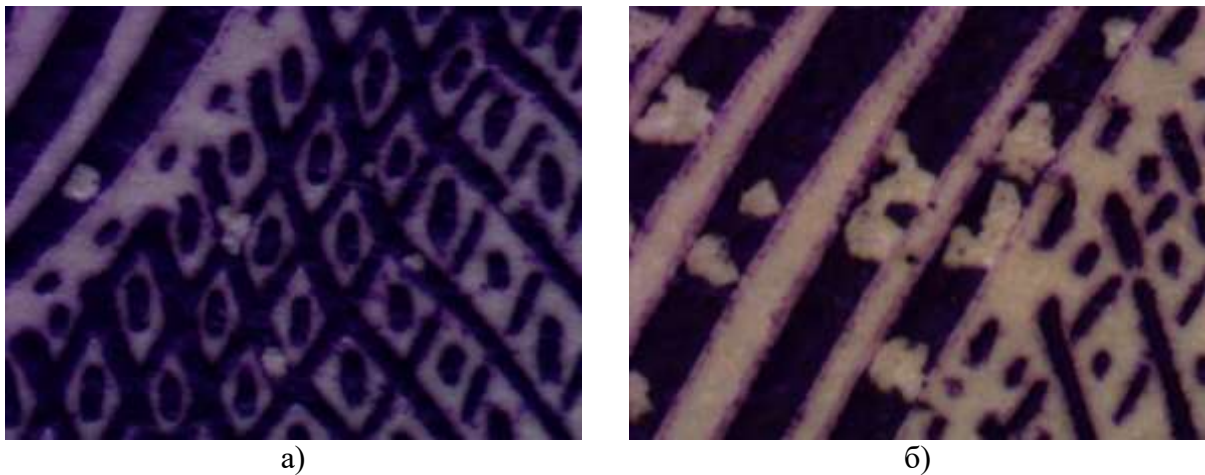


Рис. 2.15. Стан фарбового шару інтагліодруку фарбою № 2 (а) та № 4 (б) на двошаровому папері Д після адгезійного тесту. Збільшення 45×

Пральний тест. Пральний тест показав недостатню стійкість переважної більшості рецептур на папері Т і С (рис. 2.16).

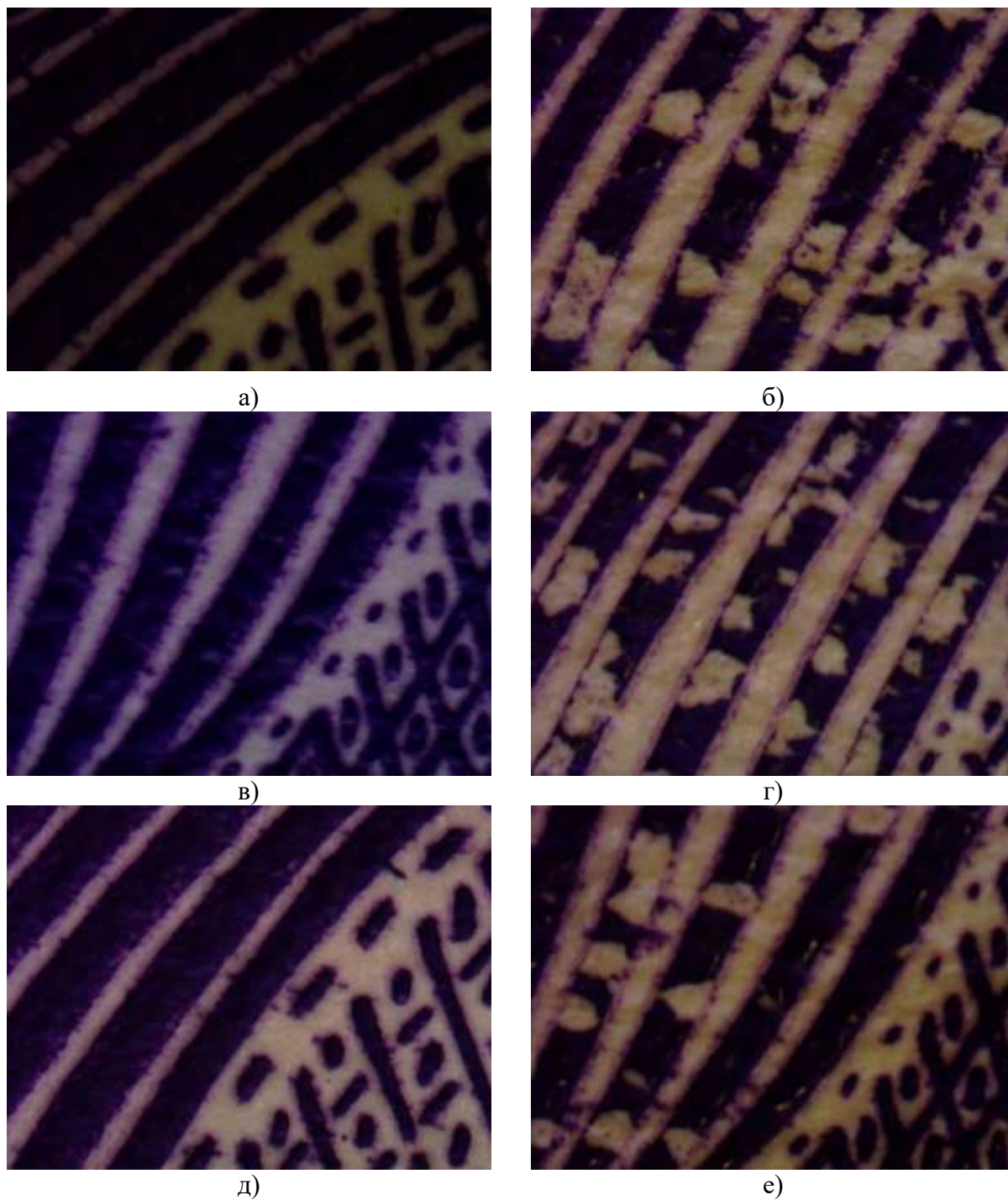


Рис. 2.16. Стан фарбового шару інтагліодруку фарбою № 1 (а, б), № 2 (в, г) та № 4 (д, е) на двошаровому папері Д до зношування (а, в, д) та після зношування прального тесту (б, г, е). Збільшення 45×

Це свідчить про те, що під час цього тесту відшаровування фарби відбувалося не тільки внаслідок механічного впливу, але й через збільшення-зменшення лінійних розмірів целюлозних волокон основи, спричинених поглинанням води та наступним висиханням, оскільки поглинання води є більшим саме для

паперу Т і С. Візуальна оцінка стійкості фарбового шару на папері Д після прального тесту показало значно більшу стійкість фарб SL, дещо кращу у рецептури № 5. Результати прального тесту наведено в [3].

Тест на хімічну стійкість відбитків. За підсумками тесту визначено, що жодна з рецептур фарб на будь-якому виді паперу не утворює відбитків на фільтрувальному папері. Також не відбувалося відшаровування фарбового шару відбитків. Однак, на частині відбитків мала місце певна зміна колірності порівняно зі зразками, що не зазнавали хімічного впливу. Результати візуальної оцінки зразків наведено в [3]. Оцінка експертів є однаковою для обох режимів освітлення (денне світло та Cool White).

Для паперу Д найкращі показники стійкості фарбового шару до хімічних впливів мають фарби SL обох рецептур (№ 5 дещо вищі показники).

Тест на зминання. Найкращі показники стійкості фарбового шару до зминання мають фарби SL обох рецептур (№ 5 має вищі показники) [3].

Узагальнені дані досліджень стійкості фарбового шару інтагліодруку наведено в таблицях 2.25, 2.26.

2.3.3. Комплексна оцінка зносостійкості фарбового шару.

Аналіз узагальнені даних щодо показників зношеності за результатами різних тестів досліджень стійкості фарбового шару інтагліодруку (табл. 2.25, 2.26) показує, що за різними показниками найкращу зносостійкість мають різні групи зразків. Так, наприклад, зразки, виконані інтагліодруком, групи Т1, котрі мають одні з найвищих візуальних оцінок та оптичних показників, значно втратили магнітні властивості фарби (30,15 %) та є нестійкими до прального тесту (оцінка 2.4). Такі ж зміни під час тестів мали й інші групи зразків (С4, С5). Також суттєво відрізняються зміни під час тестів зразків, задрукованих офсетним і інтагліодруком та виготовлених тільки інтагліодруком. Тому обрати найкращий варіант виготовлення за папером і фарбою можливо лише шляхом комплексного урахування всіх показників за всіма проведеними тестами.

Таблиця 2.25

Зведені результати тестів зразків, віддрукованих інтагліодруком

Зразок	Оптичні характеристики		Візуальна оцінка.		Зміна магнітного потоку, %	Адгезійний тест	Пральний тест	Тест на зминання	Тест на хімічну стійкість	Попіксельна обробка.		
	Зміна яскравості		ΔE	Сухе зношування						Вологе зношування	Зміна середнього кольору	Зміна домінант-ного кольору
	Сухе знош.	Вологе знош.										
Найкраща оцінка	0	0	0	5	5	0	5	5	5	5	0	0
T1	1.91	-	1.00	4.59	-	30.15	5	2.4	-	4.43	-	-
T3	1.49	-	1.14	4.27	-		5	2	-	5	-	-
T4	2.12	-	0.66	4.64	-	14.47	5	4.2	-	5	-	-
T5	1.18	-	0.79	4.54	-	3.9	5	3.8	-	4.86	-	-
T6	1.65	-	0.72	4.32	-	22.08	5	4.6	-	4.79	-	-
C3	1.4	-	0.77	4.24	-	-	5	2.6	-	5	-	-
C4	0.84	-	0.81	4.55	-	24.19	5	3.2	-	5	-	-
C5	0.84	-	0.66	4.41	-	5.41	5	3.4	-	5	-	-
C6	1.09	-	1.10	4.33	-	25.9	5	4.6	-	5	-	-
Д1	8.71	-	7.14	1.7	-	80.46	2.6	1.8	2.33	3.93	22.87	207.77
Д2	6.83	-	6.30	1.9	-	-	1.8	2.2	1.67	3.79	24.87	215
Д4	3.71	-	3.63	2.14	-	51.53	2.2	2.4	1.33	4.07	19.63	273.19
Д5	1.87	15.00	1.15	3.83	4.35	12.53	5	5	5	4.86	7.02	43.19
Д6	2.2	14.02	1.25	3.51	1.9	26.03	4.2	4.8	4	4.57	8.3	160.86

Таблиця 2.26

Зведені результати тестів зразків, віддрукованих офсетним та інтаглідруком

Зразок	Оптичні характеристики		Візуальна оцінка.		Зміна магнітного потоку, %		Адгезійний тест	
	Зміна яскравості		ΔE	Сухе зношування	Вологе зношування	Сухе знош.		Вологе знош.
	Сухе знош.	Вологе знош.						
Найкраща оцінка	0	0	0	5	5	0	0	5
To1	0.29	-	0.66	3.17	-	30.45	-	3.8
To3	0.50	-	0.82	2.81	-	-	-	2
To4	0.52	-	0.56	3.36	-	3.08	-	2.4
To6	0.13	13.56	0.46	4.13	4.32	22.61	19.15	5
Co3	0.40	-	0.78	2.77	-	-	-	2.8
Co4	0.15	-	0.32	2.92	-	25.37	-	2
Co5	0.43	-	0.3	3.92	-	28.81	-	5
Co6	1.38	14.41	0.56	4.18	4.42	21.93	31.28	5
До5	0.45	10.57	0.59	3.82	-	4.44	20.19	5
До6	1.93	13.96	0.76	2.02	2.47	34.19	5.54	3.4

Таку комплексну оцінку зносостійкості фарбового шару інтаглідруку зразків банкнот було проведено з використанням комплексного показника зносостійкості.

В табл. 2.27 наведено часткові (за технологічними процесами – інтагліо та офсет+інтагліо) та загальні функції корисності альтернатив – груп зразків (шість видів фарб на трьох видах паперу). Функції корисності на основі адитивної згортки з нормуванням шляхом зведення до еталону сформовано з урахуванням поділу показників на стимулятори (візуальна оцінка, оцінки в адгезійному та пральному тестах та тестах на хімічну стійкість та змінання) та дестимулятори (зміна яскравості, колірний зсув, зміни магнітного потоку, середнього та домінантного кольору).

Враховуючи, що не всі види тестів проводилися для окремих груп зразків (як, наприклад, вологе зношування), а також відсутність магнітних властивостей у фарб № 2 та № 3, функції корисності визначалися як за показниками, визначеними для всіх без винятку, зразків (*I* в табл. 2.27), так і за всіма можливими показниками, встановленими для певної альтернативи.

Необхідно зазначити, що таке формування можливе лише у випадку рівноважності всіх показників. З табл. 2.27 видно, що такий підхід до формування функції корисності з урахуванням різної кількості показників не призводить до зміни рангів альтернатив, але дозволяє уточнити оцінку.

Таблиця 2.27

**Комплексні показники зносостійкості альтернатив – груп зразків банкнот,
видрукованих на різних видах паперу різними фарбами**

Альтернативи (групи зразків)		Функція корисності					
		Часткова (інтагліо)		Часткова (офсет+інтагліо)		Загальна (всі технологічні процеси)	
Папір	Фарба	I	II	I	II	I	II
Т	1	0.70	0.62	0.61	0.50	0.66	0.57
	3	0.69	0.69	0.42	0.42	0.58	0.41
	4	0.87	0.79	0.52	0.61	0.73	0.71
	5	0.88	0.89	-	-		0.89
	6	0.87	0.77	0.91	0.73	0.89	0.75
С	3	0.82	0.82	0.48	0.48	0.68	0.49
	4	0.91	0.80	0.73	0.60	0.83	0.72
	5	0.94	0.91	0.81	0.67	0.89	0.81
	6	0.87	0.77	0.66	0.59	0.79	0.67
Д	1	0.37	0.32	-	-		0.32
	2	0.37	0.33	-	-		0.33
	4	0.43	0.34	-	-		0.34
	5	0.80	0.81	0.68	0.73	0.75	0.77
	6	0.73	0.64	0.41	0.60	0.60	0.62

Примітка: I – функція корисності, визначена за показниками, спільними для всіх альтернатив; II – функція корисності, визначена за всіма показниками, встановленими для певної альтернативи.

Найвищі функції корисності мають групи зразків Т6 та С5. Крім того, видно, що всі групи зразків, віддруковані фарбами № 5 і № 6, мають вищу оцінку, ніж виготовлені іншими фарбами.

Отримані функції корисності зразків Д5 та Д6 показують, що стійкість до відшаровування друкованих зображень, виконаних цими фарбами на папері низької вбирної здатності, є на рівні тиражних відбитків. Тобто, використання цих фарб (серії SL) на експериментальному папері високої зносостійкості Д дозволить отримати зносостійке друковане зображення.

Для всіх згорток – і часткових (за технологічними процесами), і загальної (за всіма можливими показниками) – для всіх видів паперової основи оптимальною є в'язкість фарби інтагліодруку 7,5 Па·с (фарба № 5) (рис. 2.17–2.19). Тобто, вибір цієї фарби для друку є оптимальним з точки зору її стійкості до відшаровування внаслідок дії чинників штучного зношування.

Результати, отримані під час усього комплексу проведених досліджень, підтвердили припущення, зроблене за результатами попередніх досліджень зносостійкості основи банкнот [23], що через недостатню адгезію фарби до експериментальних видів паперу, які мають високу зносостійкість, в тому числі за рахунок нижчої, ніж тиражний папір, поверхневої вбирності, рельєфне зображення інтагліодруку, піддається більшому зношуванню, ніж зображення на тиражному папері.

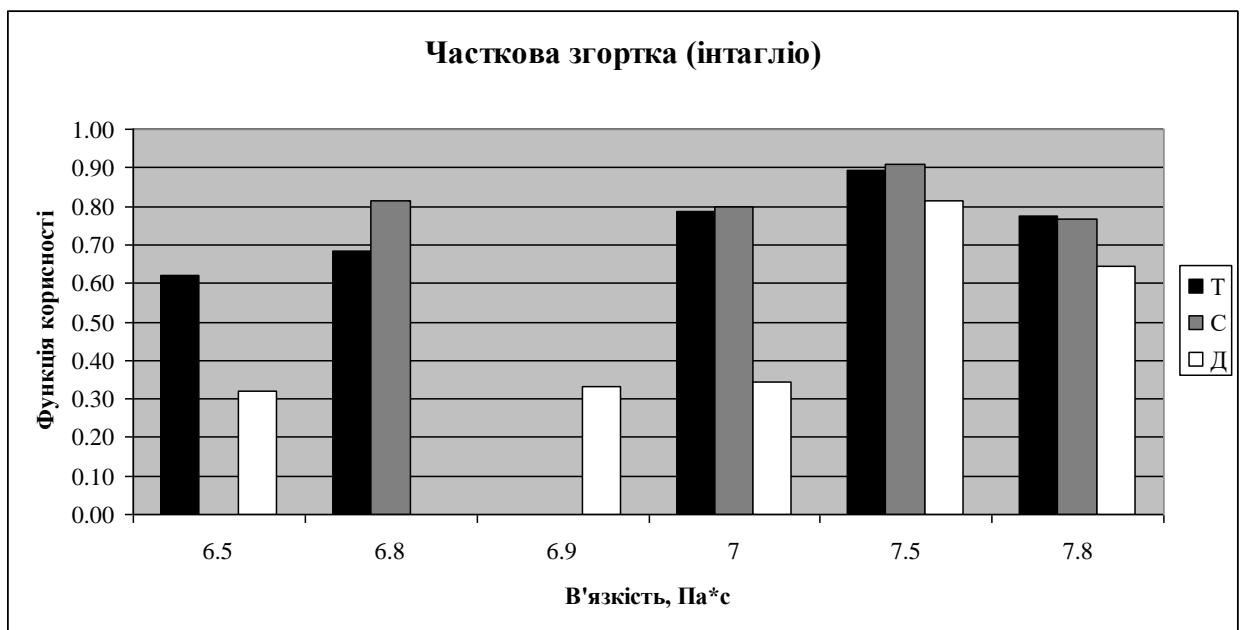


Рис. 2.17. Оцінка зразків, виготовлених інтагліодруком, за допомогою функції корисності для різних видів банкнотного паперу та реологічних властивостей фарби

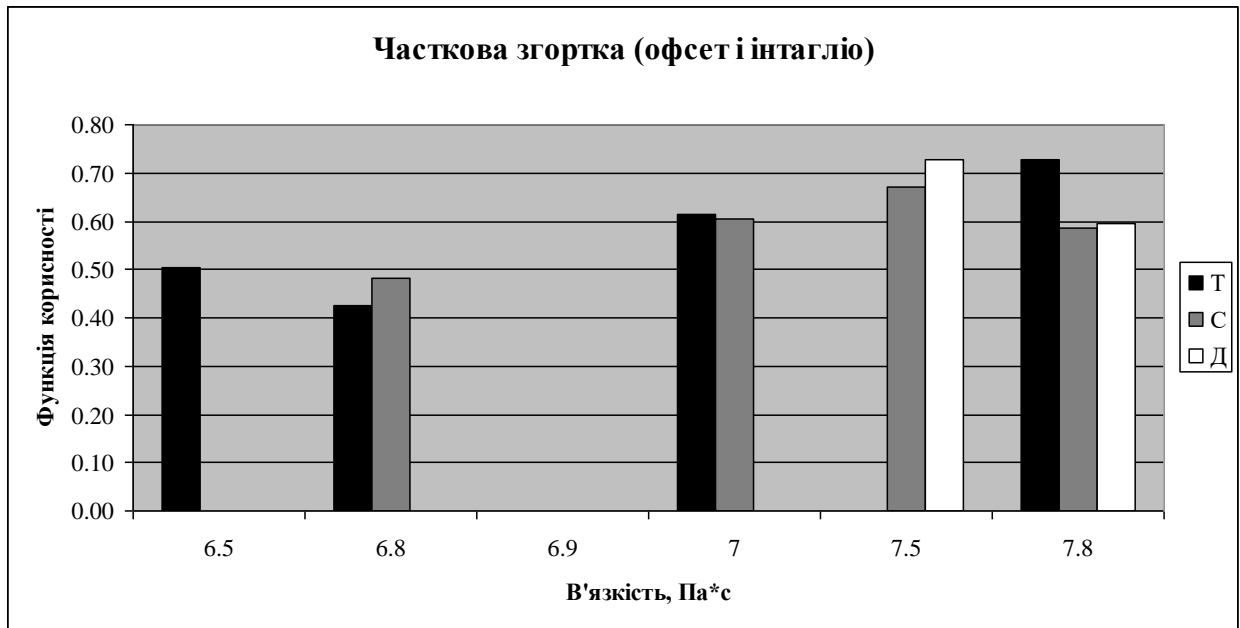


Рис. 2.18. Оцінка зразків, виготовлених офсетним та інтагліодруком, за допомогою функції корисності для різних видів банкнотного паперу та реологічних властивостей фарби

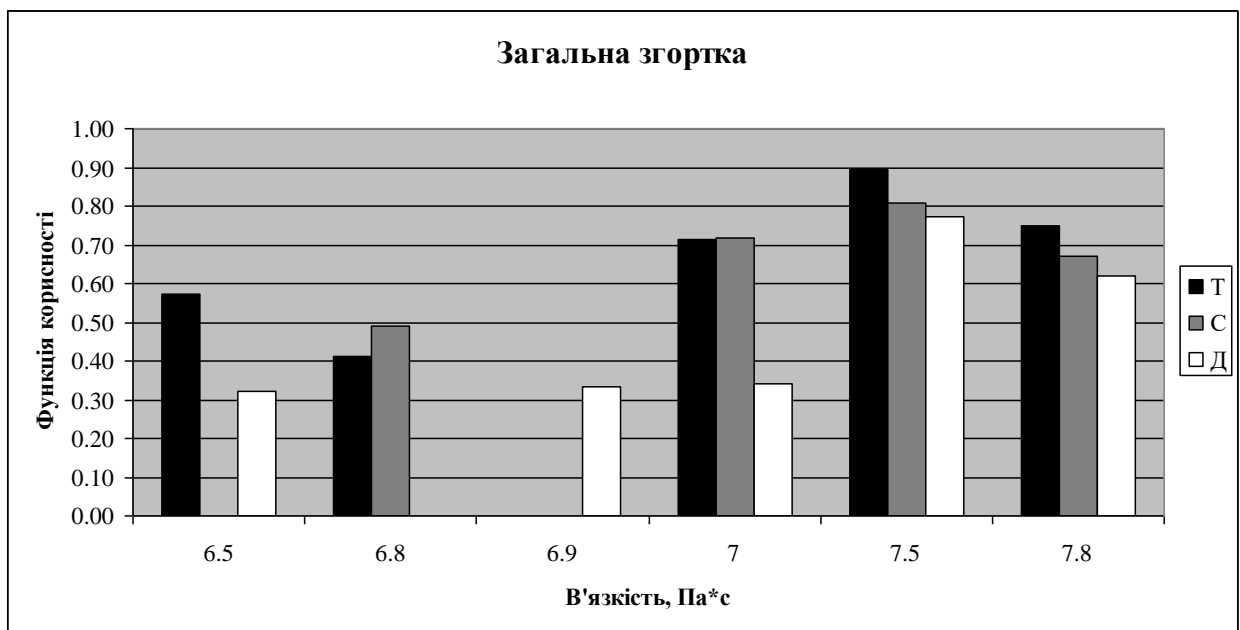


Рис. 2.19. Оцінка зразків за допомогою функції корисності за всіма показниками для різних видів банкнотного паперу та реологічних властивостей фарби

Крім того, фарба металографічного друку, в результаті її стирання через механічний вплив в ході штучного зношування виступає додатковим забруднювальним агентом, викликаючи зміну кольору нездрукованих ділянок паперу (рис. 2.12). Отже, необхідно з метою підвищення адгезії до основи банкноти корегувати реологічні властивості фарби, забезпечуючи її

меншу фільтрацію під час проникнення в папір. Засобом цього є використання більш в'язких фарб.

2.4. Комплексне оцінювання підвищення зносостійкості банкнот за рахунок лакування.

Метою даного дослідження було встановлення зносостійкості банкнот при застосуванні захисного покриття — УФ - лаків різних типів отвердіння, нанесених за допомогою анілоксових валів різної лініатури та фарбоємності, та визначення при якому варіанті лакування зносостійкість банкноти підвищиться більш суттєво.

Для визначення варіанту лакування, що покращить стійкість банкнот до забруднення та зношення, проводилось дослідження із зразками банкнотного паперу та банкнот, наданими фірмою KBA NotaSys [33] (табл. 2.28).

Таблиця 2.28

Технологічні параметри лакування

Зразок	Лак	Лініатура анілоксового валика, ліній/см	Фарбоємність анілоксового вала, $\text{см}^3/\text{м}^2$
№ 0	—	—	—
№ 1	Лак №1 (радикальний тип твердіння)	160	7,5
№ 2		120	9
№ 3	Лак №2 (катіонний тип твердіння)	120	9
№ 4		160	7,5

Дослідження проводилось у два етапи:

1 етап — проведення імітації обігу із зразками банкнотного паперу, наданими фірмою KBA NotaSys;

2 етап — проведення імітації обігу із презентаційними банкнотами KBA Specimen 2010 cash cycle.

Дослідні зразки було піддано штучному вологому зношуванню в імітаторі обігу відповідно до методики (4 цикли: I цикл – 5 хв, II цикл – 5 хв,

III цикл – 10 хв, IV цикл – 10 хв) [33]. До початку зношування та після кожного циклу проведення імітації обігу для досліджуваних зразків вимірювались маса, повітропроникність та яскравість лицьового та зворотного боку (рис. 2.20–2.25) [33].

На рис. 2.20 показано зміну ваги банкнотного паперу після кожного циклу зношування.

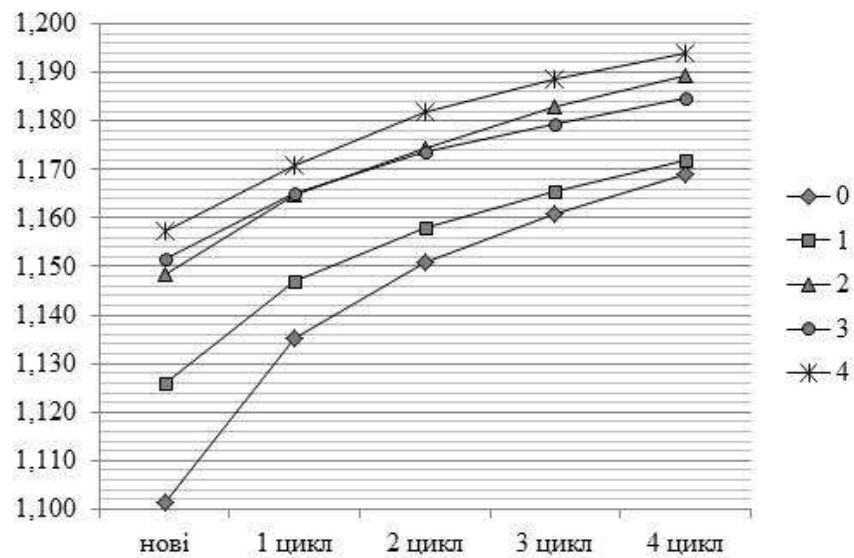


Рис. 2.20. Зміна ваги банкнотного паперу, г [33].

Найбільша зміна ваги, тобто найбільше накопичення забруднювальної суміші на поверхні паперу та її всотування в структуру паперу, спостерігалась для зразків варіанту № 0 (без лакування). Найменша зміна ваги — для зразків варіантів № 3 та 4, що свідчить про їх підвищену стійкість до забруднення.

На рис. 2.21 показано графіки зміни яскравості з лицьової та зворотної сторони банкнотного паперу після кожного циклу зношування.

З графіків зміни яскравості (враховуючи одночасно зміну для лицьової та зворотної сторони) встановлено, що найменш забруднені після 4 циклу імітації обігу зразки дослідного паперу варіанту № 4.

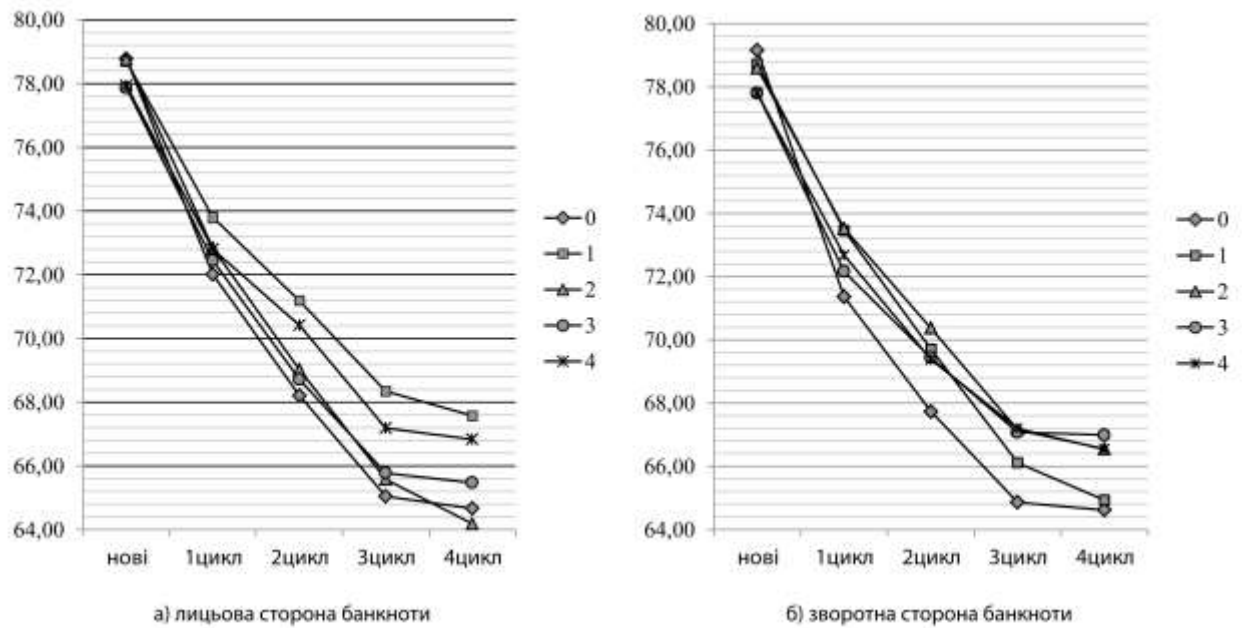


Рис. 2.21. Зміна яскравості банкнотного паперу, % [33]

На рис. 2.22 показано графік зміни повітропроникності банкнотного паперу після кожного циклу зношування.

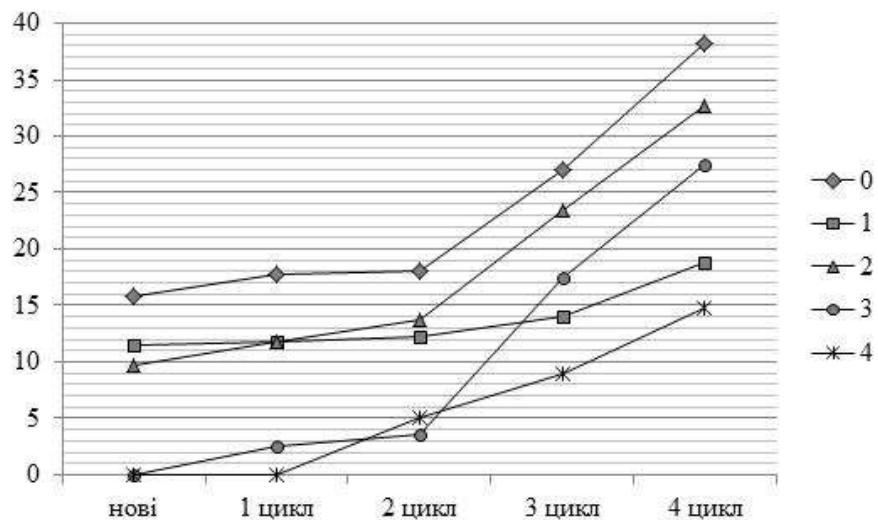


Рис. 2.22. Зміна повітропроникності банкнотного паперу, мл/хв [33].

Найменша повітропроникність після завершення 4 циклу імітації обігу спостерігалась для зразків № 4, що вказує на їх підвищену стійкість до руйнування структури паперу.

За результатами 1 етапу досліджень встановлено, що найкращі показники зносостійкості має банкнотний папір із захисним лакуванням УФ-лаком катіонного типу твердіння, нанесеним за допомогою анілоксового вала з лініатурою 160 ліній/см фарбоємністю $7,5 \text{ см}^3/\text{м}^2$.

На рис. 2.23 показано графік зміни ваги презентаційних банкнот після

кожного циклу зношування.

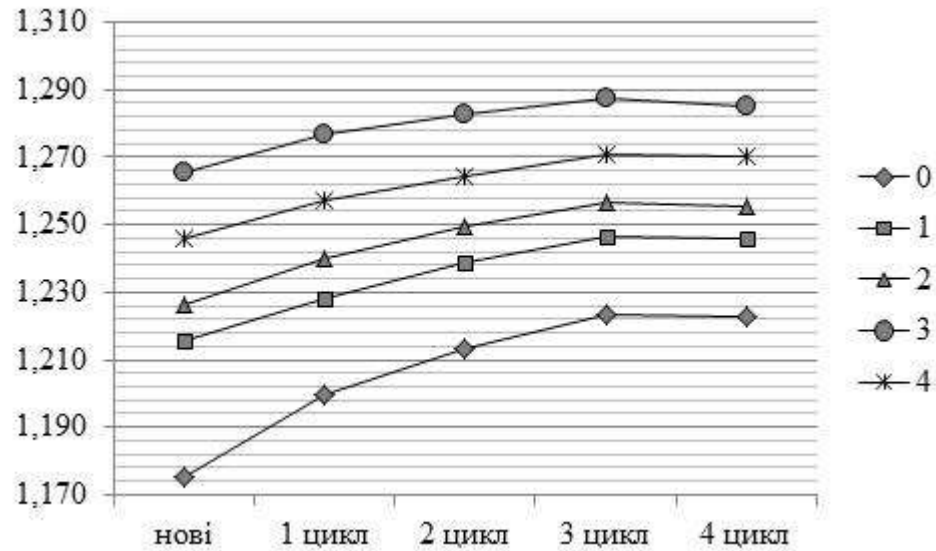


Рис. 2.23. Зміна ваги презентаційної банкноти, г [33].

Як і для банкнотного паперу, найбільша зміна ваги, тобто найбільше всотування забруднюючої суміші, спостерігалась для зразків варіанту № 0 (без лакування банкнот). Найменша зміна ваги — для зразків варіантів № 3 та 4, що свідчить про їх підвищену стійкість до забруднення.

На рис. 2.24 показано графіки зміни яскравості з лицевої та зворотної сторони презентаційної банкноти після кожного циклу зношування.

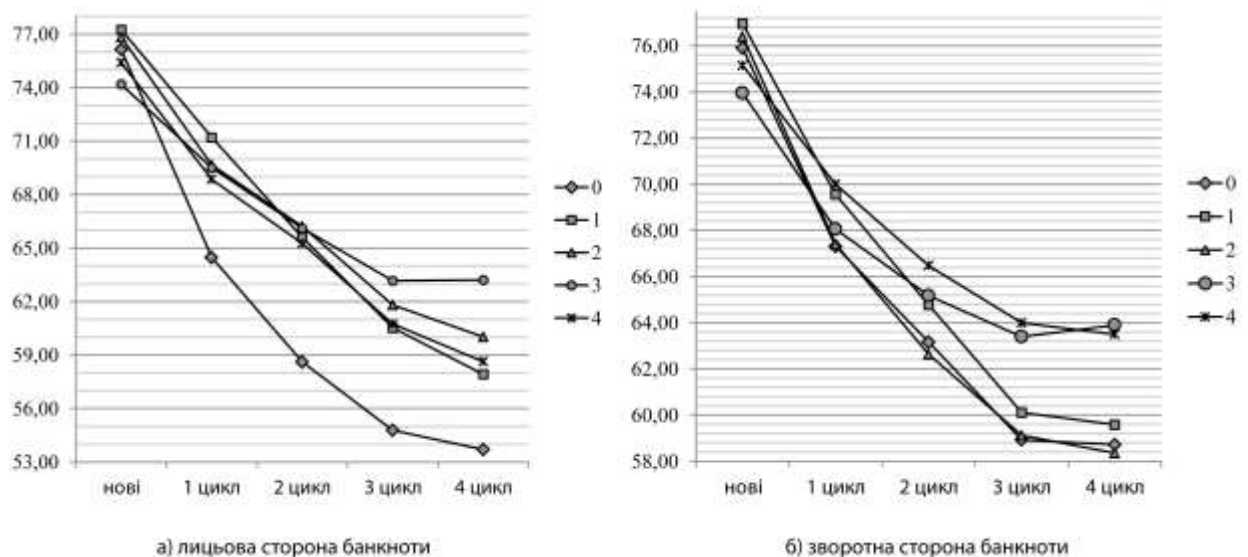


Рис. 2.24. Зміна яскравості презентаційних банкнот (лицьова та зворотна сторони), % [33].

З графіків зміни яскравості (враховуючи одночасно зміну для лицевої та зворотної сторони) визначено, що найменш забрудненими є зразки

презентаційних банкнот варіанту № 3.

На рис. 2.25 показано графік зміни повітропроникності презентаційних банкнот після кожного циклу зношування.

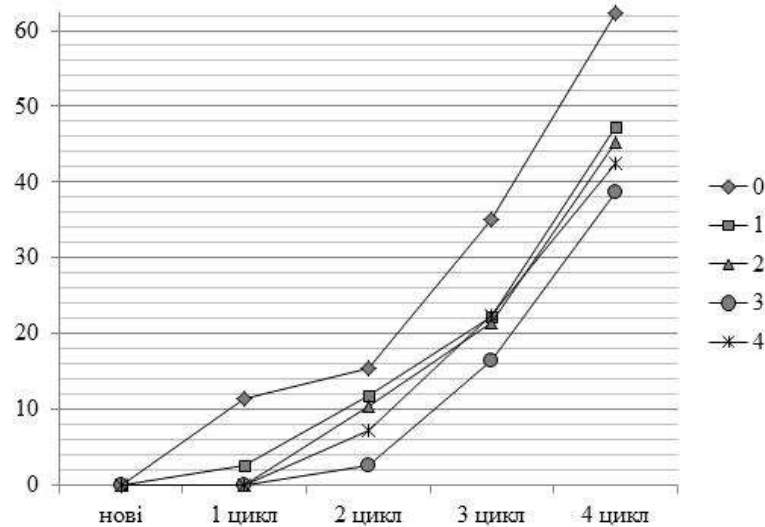


Рис. 2.25. Зміна повітропроникності презентаційних банкнот, мл/хв [33].

Найменша повітропроникність після завершення 4 циклу імітації обігу спостерігалась для зразків варіанту № 3, що свідчить про більшу стійкість до руйнування структури паперу.

За результатами 2 етапу дослідження встановлено, що найкращі показники зносостійкості мають презентаційні зразки із захисним лакуванням УФ-лаком катіонного типу твердіння, нанесеним за допомогою анілоксового вала з лініатурою 120 ліній/см фарбоємністю $9 \text{ см}^3/\text{м}^2$ [33].

На основі отриманих часткових показників зношеності, які, як бачимо, не дозволяють зробити однозначний висновок про найкращі параметри технологічного процесу захисного лакування, сформовано комплексний показник зносостійкості (табл. 2.29). Формування комплексної оцінки альтернатив – лакованих на нелакованих зразків – дозволяє з використанням виразу (2.1) оцінити очікуване підвищення зносостійкості банкнот (таблиця): зносостійкість банкнот, підданих захисному лакуванню за варіантом № 3, очікувано збільшиться в 1,74–2,19 разу та, відповідно, зменшаться витрати на їх планову заміну через зношеність [26].

Таблиця 2.29.

Комплексний показник зносостійкості альтернатив – варіантів лакування

Вид зразків		Цикл зношування				Очікуване підвищення зносостійкості
Група лакування	Об'єкт оцінювання	1	2	3	4	
0	Банкнотний папір	0.47	0.51	0.52	0.54	1.00
1		0.69	0.79	0.82	0.84	1.55
2		0.64	0.67	0.67	0.67	1.25
3		0.69	0.71	0.73	0.74	1.37
4		0.99	0.87	0.84	0.84	1.55
0	Банкноти КВА <i>Specimen 2010 cash cycle</i>	0.37	0.40	0.43	0.45	1.00
1		0.59	0.59	0.62	0.62	1.37
2		0.74	0.66	0.67	0.67	1.47
3		0.98	0.99	0.99	0.99	2.19
4		0.90	0.83	0.82	0.81	1.79
0	Банкнотний папір і банкноти	0.42	0.45	0.48	0.50	1.00
1		0.64	0.69	0.72	0.73	1.47
2		0.69	0.66	0.67	0.67	1.35
3		0.83	0.85	0.86	0.87	1.74
4		0.95	0.85	0.83	0.82	1.66

Отже, застосування УФ-лаку катіонного типу твердіння забезпечує вищі показники зносостійкості презентаційних банкнот порівняно з УФ-лаком радикального типу твердіння. Оптимальні технологічні режими (лініатура, фарбоємність валика) відрізняються для банкнотного паперу та банкнот (рис. 2.26–2.28), оскільки на властивості та зносостійкість банкноти впливає процес друку (офсетний, інтагліо, високий друк). Якщо для презентаційних банкнот це лак катіонного типу твердіння, нанесений за допомогою анілоксового валика з лініатурою 120 ліній/см, фарбоємністю $9 \text{ см}^3/\text{м}^2$, то для банкнотного паперу найкращими є лініатура 160 ліній/см, фарбоємність $7,5 \text{ см}^3/\text{м}^2$. Це свідчить про те, що в разі використання УФ-лаку катіонного типу твердіння для захисту від зношування банкнот української гривні, технологічні режими лакування потребують додаткового уточнення.

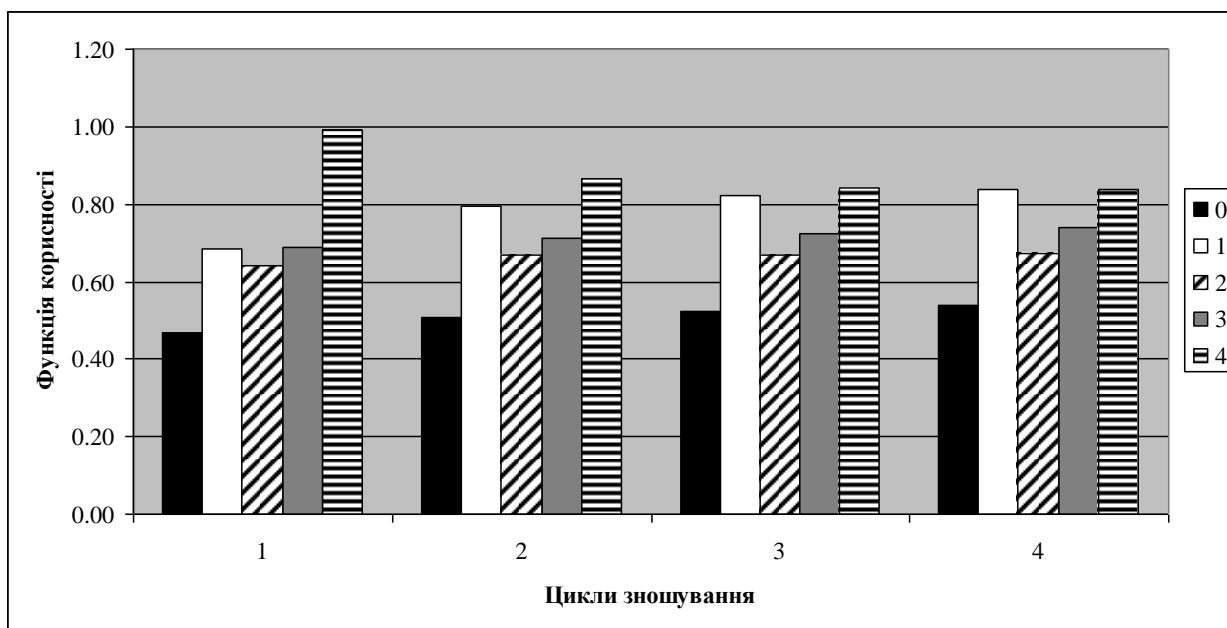


Рис. 2.26. Оцінка варіантів лакування банкнотного паперу на основі функції корисності на різних циклах зношування

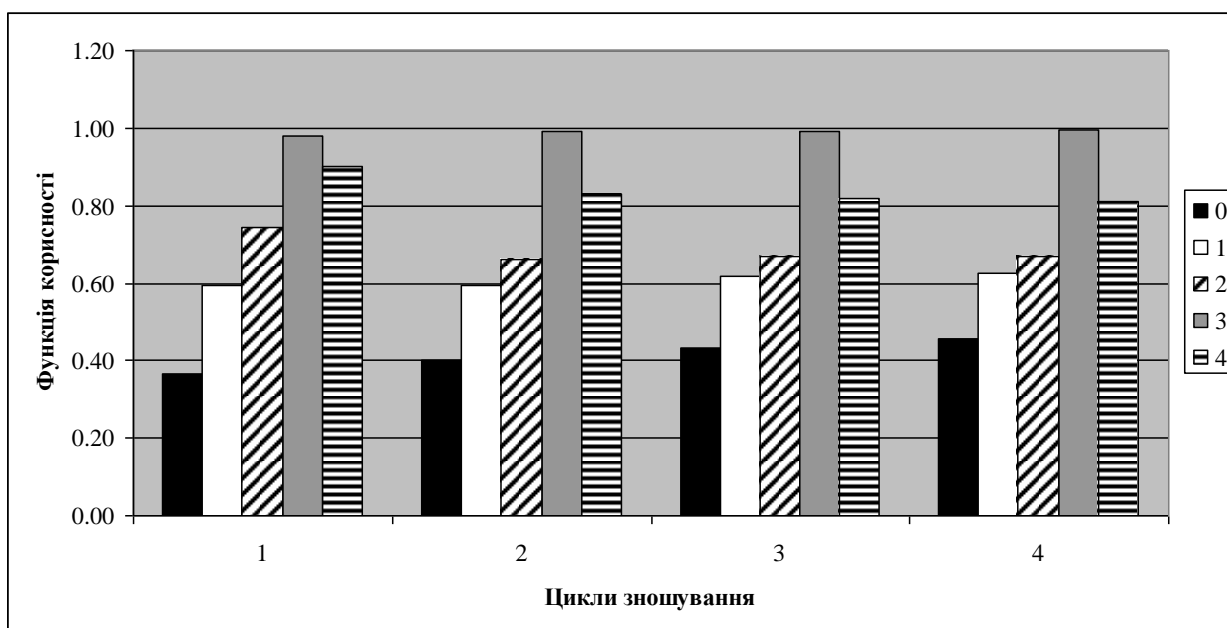


Рис. 2.27. Оцінка варіантів лакування презентаційних банкнот на основі функції корисності після різних циклів зношування

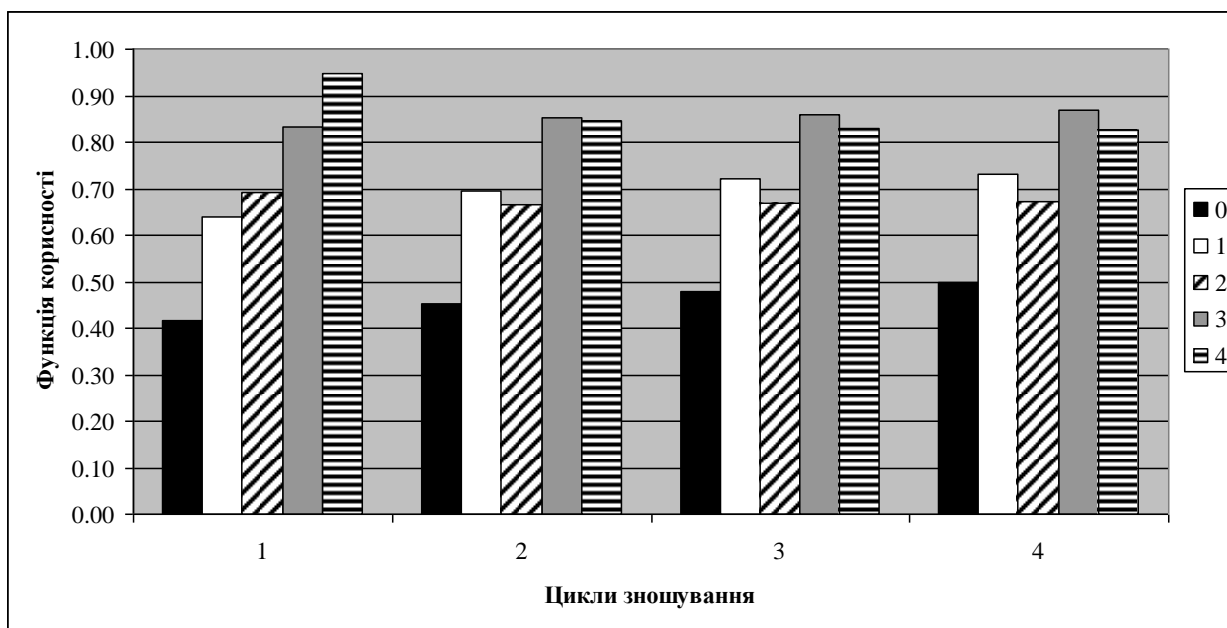


Рис. 2.28. Комплексна оцінка варіантів лакування банкнотного паперу та банкнот на основі функції корисності після різних циклів зношування

Висновки до розділу 2.

Практичні приклади застосування багатofакторного оцінювання якості у поліграфії формуванням комплексного показника якості, наведені в розділі, показують що визначення комплексного показника якості з урахуванням максимально можливої кількості показників, дозволяє здійснювати обґрунтований вибір найбільш достовірних показників, технологічних варіантів виготовлення, об'єктивний прогноз щодо експлуатаційних властивостей виробів.

Такі підходи можливо застосовувати для будь-яких технологічних процесів та виробів.

Контрольні запитання до розділу 2.

1. Які показники зношеності оцінювалися у задачі визначення найбільш точного показника зношеності за допомогою функції корисності?
2. Які критерії точності вимірювання застосовано у задачі визначення найбільш точного показника зношеності за допомогою функції корисності?
3. Чи вбачаєте ви доцільність застосування підходу, описаного в задачі визначення найбільш точного показника зношеності за допомогою функції корисності, для вашого дисертаційного дослідження? Що буде альтернативами? Які будуть критерії?
4. Яка причина неможливості зробити обґрунтовані висновки щодо зносостійкості банкотної продукції у задачі визначення зносостійкості банкотної продукції без формування комплексного показника зносостійкості за допомогою функції корисності? Чи наявна у вашому дисертаційному дослідженні така проблема? Що буде альтернативами? Які будуть критерії?
5. Яка причина неможливості зробити обґрунтовані висновки щодо зносостійкості банкотної банкнотного паперу у задачі багатофакторного дослідження зносостійкості банкнотного паперу? Чи наявна у вашому дисертаційному дослідженні така проблема? Що буде альтернативами? Які будуть критерії?
6. Яка причина неможливості зробити обґрунтовані висновки щодо параметрів технологічного процесу інтагліодруку у задачі багатофакторного дослідження впливу технологічних параметрів інтагліодруку на зносостійкість банкнот? Чи наявна у вашому дисертаційному дослідженні така проблема? Що буде альтернативами? Які будуть критерії?
7. Чому неможливо обґрунтовано обрати агезійно стійку пару папір-фарба інтагліодруку лише за колірністю продукції після штучного зношування і необхідно комплексно досліджувати стійкість фарбового шару інтагліодруку до чинників штучного зношування? Чи наявна у вашому

дисертаційному дослідженні така проблема? Що буде альтернативами? Які будуть критерії?

8. Чому потрібна комплексна оцінка варіантів лакування банкнотного паперу та банкнот для визначення очікуваного збільшення тривалості перебування банкнот в обігу? Чи наявна у вашому дисертаційному дослідженні така проблема? Що буде альтернативами? Які будуть критерії?

РОЗДІЛ 3. БАГАТОФАКТОРНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВИРОБУ / ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯМ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ (ЗА ВЛАСНИМ ДИСЕРТАЦІЙНИМ ДОСЛІДЖЕННЯМ). ПРАКТИКУМ.

Мета роботи: опанувати метод багатofакторного оцінювання якості виробу / технологічного процесу за допомогою формування комплексного показника якості на основі функції корисності та використати його у власному дисертаційному дослідженні.

Програмне забезпечення: Microsoft Excel.

Теоретичні відомості

Див. розділ 1, 2.

Хід роботи

1. Описати одну з проблем власного дисертаційного дослідження, де здійснюється вибір з кількох альтернатив (не менш, як трьох) за сукупністю кількох показників (не менш, як трьох). Опис проблеми здійснити за прикладами, наведеними в розділі 2.

2. Встановити, які з обраних показників є стимуляторами, які – дестимуляторами.

3. Обрати метод отримання згортки та метод нормування показників(розд.1).

4. Ранжувати альтернативи, визначивши функцію корисності відповідно до алгоритму (розд. 1.5), вважаючи всі показники рівноважними. Використовуємо Microsoft Excel.

5. За допомогою експертного оцінювання встановити вагомість показників якості, використовуючи підходи MAI (розд. 2.1). Ранжувати досліджувані альтернативи, визначивши функцію корисності з використанням обраного раніше методу отримання згортки відповідно до

алгоритму (розд. 1.5), ураховуючи вагомість показників. Використовуємо Microsoft Excel.

6. Порівняти отримані на 2-му та 3-му етапах переваги альтернатив.
7. Розробити структурно-логічну схему визначення комплексного показника якості продукції для вашого дисертаційного дослідження.
8. Зробити висновки по роботі.

Контрольні запитання до розділу 3.

1. Що таке якість продукції в розрізі вашого дисертаційного дослідження?
2. Чи достатньо застосувати диференційний метод оцінювання якості для вашого дисертаційного дослідження?
3. Який метод нормування часткових критеріїв обрано і чому?
4. Як встановлено вагомість часткових критеріїв?
5. Які показники вашого дисертаційного дослідження є стимуляторами?
6. Які показники вашого дисертаційного дослідження є дестимуляторами?
7. Як здійснюється нормування зведенням до еталону?
8. Як здійснюється нормування зведенням до інтервалу?
9. Як під час нормування вирішено проблему наявності дестимуляторів, базове значення котрих дорівнює нулю?
10. Який метод отримання згорток для визначення функції корисності альтернатив обрано і чому?
11. За яким алгоритмом визначаємо ступінь переваги альтернатив?
12. Опишіть складники структурно-логічної схеми визначення комплексного показника якості продукції для вашого дисертаційного дослідження.

РЕКОМЕНДОВАНИЙ ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 ДСТУ 2925-94. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення: – [Чинний від 1996-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1995. – 27 с. – (Державний стандарт України).
2. ДСТУ ISO 9000:2007. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів: – [Чинний від 2008–01–01]. – К. : Держспоживстандарт, 2008. – 29 с. – (Державний стандарт України).
3. Киричок Т. Ю. Зносостійкість банкотної продукції : монографія / Т. Ю. Киричок. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 308 с..
4. Ціделко В. Д., Яремчук Н. А. Невизначеність вимірювання. Обробка даних і подання результату вимірювання: монографія. – К. : ІВЦ «Вид-во «Політехніка», 2002. – 176 с.
5. Пашуля П. Л. Основи метрології, стандартизації і сертифікації. Якість у поліграфії : навч. посіб. / П. Л. Пашуля – К. : ІЗМН, 1997. – 288 с.
6. Гавенко С. Ф. Оцінка якості поліграфічної продукції: навч. посіб. / С. Ф. Гавенко, О. В. Мельников. – Львів : Афіша, 2000. – 120 с.
7. Гавенко, С. Ф. Системний аналіз і методи керування якістю книжкової продукції [Текст] : навч. посібник для студ. поліграф. спец. вузів / С. Ф. Гавенко [та ін]. - Ужгород : Карпати, 1996. - 76 с.
8. Киричок Т. Ю. Алгоритм розв’язання багатокритеріальної задачі вибору показника зношування банкнот за допомогою функції корисності / Т. Ю. Киричок // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2013. – № 1 (87). – С. 68–75.
9. Kyrychok T. Yu. An Analysis of the Precision of Indicators of the General Deterioration of Banknotes / T. Yu. Kyrychok // Measurement Techniques – 2014. – Vol. 57 (2). – P. 166–171.
10. Киричок Т. Ю. Методологія комплексного оцінювання рівня якості продукції / Т. Ю. Киричок // Зб. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2013. – № 1 (39). – С. 4–16.
11. Соболева Е. В. Модификации критериев обобщенной полезности в задачах идентификации многокритериального выбора / Е. В. Соболева //

Системні дослідження та інформаційні технології. – 2012. – №3. – С. 58 – 65.

12. Згуровський М.З. Основи системного аналізу / М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова. – К. : Видавнича група BHV, 2007. – 544 с.

13. Панкратова Н. Д. Моделі і методи аналізу ієрархій. Теорія. Застосування / Н. Д. Панкратова, Н. І. Недашківська. – К.: НТУУ "КПІ", 2010. – 372 с.

14. Thomas L. Saaty. How to make and justify a decision: the analytic hierarchy process. Part 1. Examples and Applications // Системні дослідження та інформаційні технології, 2002, 1, С. 95-108.

15. Thomas L. Saaty. Theory of the Analytic Hierarchy Process. Part 2.1 // Системні дослідження та інформаційні технології, 2003, № 1, С. 48-71.

16. Thomas L. Saaty. Theory of the analytic hierarchy and analytic network processes – examples. Part 2.2 // Системні дослідження та інформаційні технології, 2003, № 2, С. 7-33.

17. Thomas L. Saaty. The Analytic Network Process. Examples. Part 2.3// Системні дослідження та інформаційні технології, 2003, № 4, С. 7-23.

18. Киричок Т. Ю. Аналіз за методом «вартість–ефективність» застосування технології орловського офсетного друку для виготовлення української гривні / Т. Ю. Киричок, В. М. Нестеренко // Зб. наук. праць «Наукові записки УАД». – Львів, 2012. – № 4 (41). – С. 148–156.

19. Киричок Т. Ю. Розв’язання багатокритеріальної задачі вибору раціонального напрямку підвищення зносостійкості банкнот української гривні / Т. Ю. Киричок // Зб. наук. праць: Наукові записки УАД. Сер. «Технічні науки» – Львів, 2015. – №2(51). – С. 80–94.

20. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій: підручник / Ю. П. Зайченко. – К. : Видавничий дім «Слово», 2006. – 816с.

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. Багатофакторне дослідження технологічного процесу тиснення фольгою на пластику / Т. Ю. Киричок, А. М. Мережинська // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2011. – № 3 (58). – С. 48–55.

23. 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 // Przegląd papierniczy. – 2013. – N 12. – P. 653–656.

24. Kyrychok T. The influence of pressure during intaglio printing on banknotes durability / T. Kyrychok, P. Kyrychok, S. Havenko, E. Kibirkstis, V. Miliunas // Mechanika. – 2014. – Vol. 20 (3). – P. 327–331.

25. Киричок Т. Ю. Комплексне дослідження проблеми стійкості фарбового шару інтагліодруку до чинників штучного зношування / Зб. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2015. – № 3 (49). – С. 4–15.

26. Киричок Т. Ю. Комплексне оцінювання зносостійкості банкотної продукції із захисним лакуванням / Зб. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2015. – № 2 (48). – С. 131–137.

27. Дубовой В. М. Моделі прийняття рішень в управлінні розподіленими динамічними системами: монографія / В. М. Дубовой, О. О. Ковалюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 185 с.

28. Радецький В. Г. Методологічні засади обґрунтування раціональних форм та способів застосування угруповань військ (сил): воєнно-теоретична праця / В. Г. Радецький, І. С. Руснак, О. М. Загорка та ін.; За заг. ред. С. О. Кириченка – К. : НАОУ, 2007. – 288 с.

29. 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.

30. Лопашов Є. М. Оцінювання якості продукції за допомогою кваліметричних вимірювань / Є. М. Лопашов, І. М. Лаппо // Актуальні проблеми економічного і соціального розвитку регіону: матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф. – Красноармійськ: КП ДонНТУ, 2011. – С. 332–336.

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. Шевчук А. В. Підвищення зносостійкості банкнот за рахунок лакування / А. В. Шевчук, Т. Ю. Киричок, В. М. Нестеренко, З. О. Маслюк // 36. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2013. – № 2 (40). – С. 4–16.