

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ІНСТИТУТ ПОЛІГРАФІЇ ТА МЕДІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ДОВГАНІЧ АННА ВАСИЛІВНА

УДК 655:676.264:655.3.062

ДИСЕРТАЦІЯ
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЗДОБЛЕННЯ ДРУКАРСЬКИХ
ВІДБИТКІВ МЕТОДОМ ЛАМІНУВАННЯ

Спеціальність 186 «Видавництво та поліграфія»

Галузь знань 18 «Виробництво та технології»

подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Довганич Анна Василівна

Науковий керівник: Гавенко Світлана Федорівна, доктор технічних наук, професор.

Львів – 2025

АНОТАЦІЯ

Довганич А. В. Удосконалення технології оздоблення друкарських відбитків методом ламінування. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 186 «Видавництво та поліграфія». – Національний університет «Львівська політехніка», Інститут поліграфії та медійних технологій, Львів, 2025.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-прикладного завдання удосконалення технології оздоблення друкарських відбитків методом гарячого ламінування шляхом виявлення взаємовпливу технологічних параметрів і режимних факторів, топографії поверхні субстратів, дії зовнішніх впливів на денситометричні, колориметричні, термогравіметричні та експлуатаційні показники зображень, утворених цифровим струменевим та лазерним друком на папері, фотопапері та картоні, що уможливорює оптимізацію технологічного процесу ламінування за вагомістю факторів впливу на якість продукції.

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і завдання, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, наукову новизну, практичну цінність отриманих результатів, взаємозв'язок роботи з науковими програмами, дані про апробацію роботи, особистий внесок здобувача та публікації, структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** роботи здійснено аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку технології оздоблення поліграфічної продукції з паперу, фотопаперу і картону методом ламінування в Україні та світі. Наведено характеристики матеріалів, устаткування та технологій для ламінування друкарських відбитків, окреслено їх переваги та недоліки; розроблено класифікацію дефектів при ламінуванні продукції, причини їх появи та методи усунення.

У **другому розділі** обґрунтовано вибір об'єктів дослідження, а саме відбитків струменевого та лазерного способів друку на папері, фотопапері та

картоні до і після ламінування. Теоретичні та практичні дослідження технологічного процесу гарячого ламінування відбитків цифрового друку здійснено на основі денситометричного, колориметричного, електронно-мікроскопічного і термогравіметричного аналізу; визначено вплив зовнішніх факторів (денного світла та механічних навантажень) на експлуатаційні характеристики ламінатів.

За допомогою імітаційного та математичного моделювання здійснено оптимізацію процесу ламінування відбитків лазерного і струменевого друку. Для обчислення параметрів побудованих поліноміальних моделей використано пакету Maple і чебишовське наближення функцій багатьох змінних. Для опрацювання експериментальних даних та перевірки їх достовірності використано методи математичної статистики, програмний пакет Microsoft Office Excel 2021.

Третій розділ роботи присвячений дослідженню оптичних і колориметричних показників друкарських відбитків до і після ламінування. Денситометричні дослідження показали зміну оптичних густин ламінованих відбитків залежно від способу задруковування субстрату та його топографії поверхні. Так, для ламінованих відбитків лазерного друку характерне збільшення оптичної густини: на фотопапері Fujicolor – від 1.56 до 1.64, на папері UPM Digi Color – з 1.76 до 2.04 (на 100% полі тональності). На відбитках струменевого друку спостерігається зменшення оптичної густини (з 1.9 до 1.69 для відбитка на папері UPM Digi Color). Ламінування змінює насиченість надрукованого зображення для кожного кольору СМΥК по різному, що очевидно пов'язано з чутливістю барвників до температурних режимів припресування плівки до відбитка.

Дослідження світлостійкості цифрових відбитків до і після ламінування показали, що різниця кольорів змінюється з часом дії денного світла. Для неламінованого паперу UPM Digi Color показник зміни кольору ΔE^*ab після 9-го тижня тестування був вдвічі нижчим, ніж на фотопапері Fujicolor. Виявлено,

що ламінування відбитків струменевого друку, утворених основними кольорами забезпечує більш високу якість, ніж відбитків ink-jet з неосновних кольорів.

На показник різниці кольорів ламінованих зображень на відбитках мала вплив товщина плівки: чим товстіша плівка, тим менші значення ΔE^*ab .

Максимальне значення блиску (99,6 GU) зафіксовано на ламінованих відбитках лазерного друку на папері при використанні глянцевої плівки товщиною 50 мкм. Для ламінованого відбитка на фотопапері спостерігався незначний спад блиску (на 0,5 – 1.0 одиниць при використанні плівки товщиною 50 мкм), що пояснюється змішаним механізмом відбиття променів через нерівномірну топографію його поверхні.

У четвертому наведені дослідження топографії поверхні відбитків до і після ламінування; виявлено, що ламінування дещо зменшує мікронерівності їх поверхні. Найбільша різниця у величині профілів спостерігається на ламінованому відбитку на фотопапері Fujicolor (від 7,0 до 12,4 μm), а найменша – на картоні Arktika (від 9,9 до 10,4 μm).

У результаті проведених досліджень мікроструктури плівки Lamiroll Glossy зі сторони клейового шару на основі етил вінілацетату (EVA) виявлено дефекти в клейовому шарі, зокрема його неоднорідність, що ймовірно може перешкоджати утворенню міцного адгезійного з'єднання при гарячому ламінуванні відбитків.

На основі аналізу оптичної та електронної мікроскопії поверхневої структури ламінованих відбитків та їх поперечних розрізів побудована імітаційна модель, яка пояснює механізм утворення ламінатів. Можна припустити, що взаємозв'язок відбитка з плівкою відбувається за рахунок механічної адгезії, під дією тиску розігрітих каландрувальних валів ламінатора, а також адгезійної взаємодії клею з плівкою і паперовою основою з утворенням міжмолекулярних ковалентних або водневих взаємозв'язків між ними.

Результати термічного аналізу показали втрату маси (5,2%) в області температур 20 – 210 °C для ламінованого відбитка на фотопапері Fujicolor, що відповідає виділенню вологи, адсорбованої зразком, а також втрату маси

поліпропіленової плівки в області температур 302 – 375 °С і 375 – 550 °С, яка складає 24,8% і 58,4%, відповідно.

П'ятий розділ роботи присвячений дослідженню експлуатаційних показників ламінованих відбитків. Запропоновано методику визначення міцності ламінованих відбитків лазерного та струменевого друку на основі порівняння величини сили й енергії, затраченої на руйнування системи «відбиток-плівка».

Виявлено, що зі збільшенням товщини плівки зростає стійкість ламінованого зразка до розшарування, а саме: при збільшенні її товщини з 34 мкм до 50 мкм, зусилля відшарування зростає від 1,25 Н до 2,00 Н, опір розшаруванню – від 45,33 Дж/м² до 64 Дж/м² відповідно. Розшарування ламінованих відбитків відбувається за змішаним механізмом адгезійного з'єднання. Найменші зусилля продавлювання спостерігаються у ламінованих відбитках на папері UPM Digi Color, а найбільші – на фотопапері Fujicolor.

Дослідження ламінатів підтвердили поетапне їх руйнування при продавлюванні, де спочатку відбувається розривання паперової основи, а потім деформування припресованої плівки до настання її розриву.

Виявлено, що зі збільшенням температури підвищується схильність ламінатів до деформації. Найбільше скручування характерне для ламінатів на фотопапері Fujicolor (8,2 см); найменше на картоні Arktika (2,5 мм) при використанні плівки товщиною 34 мкм.

За результатами експертного опитування фахівців поліграфічної галузі визначено пріоритетність факторів впливу на якість ламінування. Найбільший вплив мають: режими (температура, швидкість, тиск і час контакту плівки з відбитком) і спосіб ламінування, структура поверхні відбитка, характеристики плівки та ламінатора, навколишнє середовище, яке може призвести до зміни механічних характеристик плівки та відбитку та готових ламінатів.

Підтверджено наявність взаємозв'язку між режимними параметрами ламінування та структурними, технологічними та експлуатаційними показниками ламінованих відбитків цифрового друку. Побудована модель

залежності між масою відбитка, швидкістю і температурою ламінування, яка підтвердила їх суттєвий вплив на міцність ламінатів.

Здійснено оптимізацію процесу ламінування відбитків струменевого і лазерного друку на папері UPM Digi Color, фотопапері Fujicolor та картоні Arktika й отримано математичні поліноміальні моделі, які описують залежність зусиль розриву і продавлювання ламінатів від температури й швидкості ламінування, параметри яких обчислено з використанням чебишовського наближення функцій багатьох змінних.

У висновках подані основні результати дисертаційного дослідження.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень в рамках виконання дисертаційної роботи отримано такі найбільш суттєві результати:

Вперше:

- розроблено методику визначення міцності ламінованих відбитків лазерного та струменевого друку на основі порівняння величини сили й енергії, затраченої на руйнування системи «відбиток-плівка», що дозволяє спрогнозувати тривалість використання ламінатів та забезпечити покращення якості їх експлуатаційних показників;

- виявлено за допомогою термогравіметричного аналізу межі температур, в яких відбувається інтенсивна втрата маси в друкарських відбитках струменевого друку на фотопапері під час оздоблення методом гарячого ламінування, що дозволило підібрати оптимальні температурні режими для забезпечення адгезійної міцності та покращення якісних показників продукції;

- описано математичними поліноміальними моделями взаємозв'язок між температурою і швидкістю ламінування та експлуатаційними показниками ламінатів, параметри яких обчислено з використанням чебишовського наближення функцій багатьох змінних, що дозволило оптимізувати технологічний процес оздоблення відбитків струменевого і лазерного друку методом гарячого ламінування.

Удосконалено:

— методику визначення світлостійкості відбитків цифрового друку до і після ламінування, що дозволило встановити вплив часу дії денного світла і товщини плівки на зміну кольорових характеристик надрукованих зображень;

— імітаційну модель процесу гарячого ламінування відбитків цифрового друку, яка описує механізм взаємодії елементів системи «плівка – клей – відбиток» на основі механічної та молекулярної адгезії, що дозволить забезпечити якісні оптичні та експлуатаційні характеристики ламінатів.

Отримали подальший розвиток:

— теоретичні засади системного підходу до формування якісних ламінованих відбитків цифрового друку на основі взаємозв'язку між основними компонентами процесу гарячого ламінування з врахуванням структурних, технологічних, експлуатаційних показників, що дозволить забезпечення прогнозованої якості ламінованої продукції.

Апробація виробничих випробувань процесу ламінування друкарських відбитків на фотопапері та картоні здійснена в цифровій друкарні Еталон Прінт (м. Львів) та фірми ФОП ГАН М. М. (м. Львів).

Результати досліджень впроваджено у навчальний процес Інституту поліграфії та медійних технологій при проведенні лекційних та лабораторних занять з дисциплін «Проектування поліграфічної та пакувальної продукції», «Інженерія якості пакувальної продукції», які забезпечує кафедра поліграфічних технологій та пакувань для студентів спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія». Дані про впровадження підтверджено відповідними документами.

Ключові слова: ламінування, оздоблення, якість відбитків, фактори впливу, якісні показники, аналітичні дослідження, цифровий друк, фотопапір, моделювання, міцність, оптимізація, модель, оптична щільність, характеристики, аналіз.

ANNOTATION

Dovhanych A. V. Improvement of the imprints finishing technology by the lamination method. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation thesis for the Doctor of Philosophy degree in specialty 186 «Publishing and printing». – Lviv Polytechnic National University, Institute of Printing Art and Media Technologies, Lviv, 2025.

The dissertation work is dedicated to solving the current scientific and applied problem of improving the technology of finishing imprints by hot lamination method through identifying the interrelationship of technological parameters and operational factors, substrate surface topography, and the effects of external influences on densitometric, colorimetric, thermogravimetric, and performance characteristics of images produced by digital inkjet and laser printing on paper, photographic paper, and cardboard, which enables optimisation of the lamination technological process according to the significance of factors affecting product quality.

The **introduction** substantiates the relevance of the work, formulates the aim and objectives, defines the object, subject, research methods, scientific novelty and practical value of the obtained results, connects the work with scientific programmes, provides information about the work's approbation, describes the applicant's personal contribution and publications, and defines the structure and scope of the work.

The first chapter of the work provides an analysis of the current state and development trends in finishing technology for printed products made from paper, photographic paper, and cardboard using lamination methods in Ukraine and worldwide. The characteristics of materials, equipment, and technologies for imprint lamination are presented, their advantages and disadvantages are outlined; a classification of defects in product lamination, the causes of their occurrence, and methods of elimination is developed.

The second chapter justifies the selection of research objects, namely imprints produced by inkjet and laser printing methods on paper, photographic paper, and cardboard before and after lamination. Theoretical and practical studies of the hot lamination technological process of digital imprints were carried out on the basis of

densitometric, colorimetric, electron microscopic and thermogravimetric analysis; the influence of external factors (daylight and mechanical loads) on the operational characteristics of laminates was determined.

Using simulation and mathematical modelling, the lamination process for laser and inkjet imprints was optimised. The Maple package and Chebyshev approximation of functions of several variables were used to calculate the parameters of the constructed polynomial models. Methods of mathematical statistics and the Microsoft Office Excel 2021 software package were employed to process the experimental data and verify their reliability.

The **third chapter** of the work is devoted to investigating the optical and colorimetric characteristics of imprints before and after lamination. Densitometric studies have shown change in the optical densities of laminated imprints depending on the substrate printing method and its surface topography. Thus, laminated laser imprints are characterised by increased optical density: on Fujicolor photographic paper from 1.56 to 1.64, on UPM Digi Color paper from 1.76 to 2.04 (at 100% tonal coverage). In inkjet imprints, a decrease in optical density is observed (from 1.9 to 1.69 for imprint on UPM Digi Color paper). Lamination alters the saturation of the printed image differently for each CMYK colour, which is evidently related to the sensitivity of dyes to the temperature conditions during film application to the imprint.

Studies of light fastness of digital imprints before and after lamination showed that colour difference changes over time under daylight exposure. For un laminated UPM Digi Color paper, the colour change indicator ΔE^*_{ab} after the 9th week of testing was twice lower than on Fujicolor photographic paper. It was found that lamination of inkjet imprints produced with primary colours provides higher quality than inkjet imprints made with non-primary colours.

The colour difference indicator of laminated images on imprints was influenced by film thickness: the thicker the film, the lower the ΔE^*_{ab} values.

The maximum gloss value (99,6 GU) was recorded on laminated laser imprints on paper when using glossy film with a thickness of 50 μm . For laminated imprint on photographic paper, a slight decrease in gloss was observed (by 0,5–1,0 units when

using film with a thickness of 50 μm), which is explained by the mixed mechanism of ray reflection due to the uneven topography of its surface.

The fourth chapter presents studies of imprint surface topography before and after lamination; it has been found that lamination somewhat reduces the micro-irregularities of their surface. The greatest difference in the size of the profiles is observed on laminated Fujicolor photographic paper (from 7,0 to 12,4 μm), whilst the smallest is on Arktika cardboard (from 9,9 to 10,4 μm).

As a result of the studies of the microstructure of the Lamiroll Glossy film from the adhesive layer side based on ethyl vinyl acetate (EVA) adhesive layer, was examined and found to have defects and non-uniformity of the adhesive layer, which could potentially hinder the formation of a strong adhesive bond during hot lamination of imprints.

Based on the analysis of optical and electron microscopy of the surface structure of laminated imprints and their cross-sections, a simulation model was constructed that explains the mechanism of laminate formation. It can be assumed that the bond between the imprint and film occurs through mechanical adhesion under the pressure of heated calendering rollers of the laminator, as well as adhesive interaction of the glue with the film and paper substrate, forming intermolecular covalent or hydrogen bonds between them.

The results of thermal analysis showed mass loss (5,2%) in the temperature range of 20–210 $^{\circ}\text{C}$ for the laminated imprint on Fujicolor photographic paper, which corresponds to the release of moisture adsorbed by the sample, as well as mass loss of the polypropylene film in the temperature ranges of 302–375 $^{\circ}\text{C}$ and 375–550 $^{\circ}\text{C}$, amounting to 24,8% and 58,4%, respectively.

The fifth chapter of the work is dedicated to investigating the operational characteristics of laminated imprints. A methodology for determining the strength of laminated laser and inkjet imprints has been proposed based on comparing the magnitude of force and energy expended on destroying the "imprint-film" system.

It was found that with increasing film thickness, the resistance of the laminated sample to delamination increases, namely: when its thickness increases from 34 μm to

50 μm , the peeling force increases from 1.25 N to 2.00 N, and delamination resistance increases from 45.33 J/m² to 64 J/m², respectively. The delamination of laminated imprints occurs through a mixed mechanism of adhesive bonding. The lowest delamination forces are observed in laminated imprints on UPM Digi Color paper, whilst the highest are on Fujicolor photographic paper.

Studies of laminates have confirmed their staged destruction during puncturing, where the paper substrate first ruptures, followed by deformation of the pressed film until its failure occurs.

It was found that the tendency of laminates to deform increases with increasing temperature. The greatest curling is characteristic of laminates on Fujicolor photographic paper (8.2 cm); the least on Arktika cardboard (2.5 mm) when using 34 μm thick film.

Based on the results of an expert survey of printing industry specialists, the priority of factors influencing lamination quality was determined. The greatest impact is exerted by: operating conditions (temperature, speed, pressure, and contact time of film with imprint) and lamination method, imprint surface structure, film and laminator characteristics, and environmental conditions, which can lead to changes in the mechanical properties of the film, imprint, and finished laminates.

The interrelationship between lamination operating parameters and structural, technological, and operational characteristics and laminated digital imprints has been confirmed. A model of the dependency between imprint weight, lamination speed, and temperature has been constructed, which confirmed their significant influence on laminate strength.

Optimisation of the lamination process for inkjet and laser imprints on UPM Digi Color paper, Fujicolor photographic paper, and Arktika cardboard has been carried out, and mathematical polynomial models have been obtained that describe the dependency of laminate tearing and puncturing forces on lamination temperature and speed, the parameters of which have been calculated using Chebyshev approximation of functions of several variables.

In the **conclusions**, the main results of the dissertation research are presented. Based on the theoretical and experimental studies conducted within the framework of the dissertation work, the following most significant results were obtained:

For the first time:

- a methodology for determining the strength of laminated laser and inkjet imprints has been developed based on comparing the magnitude of force and energy expended on destroying the "imprint-film" system, which enables prediction of laminate service life and ensures improvement of their operational performance characteristics;

- through thermogravimetric analysis, the temperature ranges in which intensive mass loss occurs in inkjet imprints on photographic paper during hot lamination finishing have been identified, which has enabled the selection of optimal temperature conditions to ensure adhesive strength and improve product quality indicators;

- the relationship between lamination temperature and speed and the operational characteristics of laminates has been described using mathematical polynomial models, the parameters of which have been calculated using Chebyshev approximation of functions of several variables, which has enabled optimisation of the technological process for finishing inkjet and laser imprints by hot lamination.

Improved:

- the methodology for determining light fastness of digital imprints before and after lamination, which has enabled establishing the influence of daylight exposure time and film thickness on the change in colour characteristics of printed images;

- a simulation model of the hot lamination process for digital imprints, which describes the interaction mechanism of the "film-adhesive-imprint" system elements based on mechanical and molecular adhesion, enabling the provision of quality optical and operational characteristics of laminates.

Received further development:

- theoretical foundations of a systematic approach to forming quality laminated digital imprints based on the interrelationship between the main components

of the hot lamination process, taking into account structural, technological, and operational characteristics, which will enable ensuring predictable quality of laminated products.

Approbation of production tests of the imprint lamination process on photographic paper and cardboard has been carried out at Etalon Print (Lviv) digital printing house and IE GAN M. M. Company (Lviv).

The research results have been implemented in the educational process of the Institute of Printing Art and Media Technologies during lectures and laboratory courses for the disciplines "Design of Printing and Packaging Products" and "Quality Engineering of Packaging Products", which are provided by the Department of Printing Technologies and Packaging for students of specialty 186 "Publishing and Printing". The implementation data are confirmed by relevant documents.

Keywords: lamination, finishing, imprint quality, influencing factors, quality indicators, analytical studies, digital printing, photographic paper, modelling, strength, optimisation, model, optical density, characteristics, analysis.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Публікації у наукових виданнях, включених до наукометричної бази Scopus:

1. Havenko S. & Dovhanych A. 2023. Optimizing the technological modes of lamination of digital prints. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5, 1(125), p. 81–91. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288518>.

Публікації у зарубіжних наукових виданнях:

2. Havenko, S. & Dovhanych, A., 2021. Research of factors influencing the quality of imprints lamination. *Przegląd papierniczy*, 77 (11), p. 614-617 DOI: 10.15199/54.2021.11.4.

Публікації у фахових наукових виданнях України:

3. Довганич А. В., 2022. Вплив процесу ламінування на оптичну щільність зображення надрукованого цифровим друком на картоні. *Квалілогія книги*, 2 (42), с. 41-47. doi: 10.32403/2411-3611-2022-2-42-41-47.

4. Havenko, S. F., Bernatsek, V.V., labetska, M. T., & Dovhanych, A.V., 2022. Study of the influence of lamination on the quality of digital imprints. *Технологія і техніка друкарства*, 1 (75), с. 15–23. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(75\).2022.255484](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(75).2022.255484).

5. Довганич А. В. 2022. Вплив ламінування на якість струменевих відбитків на фотопапері. *Квалілогія книги*, 1(41), с. 62–67. URL: <https://doi.org/10.32403/2411-3611-2022-1-41-62-67>.

6. Довганич А. В., & Кочубей В. В., 2024. Термогравіметричні дослідження ламінованих відбитків. *Квалілогія книги*, 2 (46), с. 23-30. doi: 10.32403/2411-3611-2024-2-46-23-30.

7. Гавенко, С. Ф., & Довганич, А. В., 2024. Модель параметрів, які впливають на якість ламінування відбитків. *Технологія і техніка друкарства*, 3(85), с. 30–37. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(85\).2024.322528](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(85).2024.322528).

Публікації у збірниках матеріалів конференцій:

8. Довганич А. В. Дослідження оптичної щільності ламінованого відбитка отриманого цифровим друком. *Поліграфічні, мультимедійні та web-*

технології: тези доповідей VII Міжнар. наук.-техн. конф., 17-21 травня 2022 р. – Харків : ХНУРЕ, 2022. – Т. 1. – с. 22–23.

9. Довганич А. В., Довганич В. В. Аналіз досліджень тенденції розвитку та виготовлення паперової пакувальної продукції // *Current trends in the development of modern scientific thought. Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference*. Haifa, Israel. 2022. Pp. 472–474. URL: <https://isg-konf.com/uk/current-trends-in-the-development-of-modern-scientific-thought/>.

10. Довганич В. В., Довганич А. В. Аналіз тенденцій розвитку паперових санітарно-гігієнічних виробів. *Тези доп. I Міжнародна науково-практична конференція «Current trends in the development of modern scientific thought»*, 27-30 вересня 2022 р., Хайфа, Ізраїль. – с.475-477.

11. Довганич А. В. Удосконалення якості ламінування відбитків на фотопапері. I Міжнародна науково-практична конференція // *Current issues of science and integrated technologies. Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference*. Milan, Italy. 2023. Pp. 691–695. URL: <https://isg-konf.com/uk/current-issues-of-science-and-integrated-technologies/>.

12. Довганич А. В. Дослідження оптичної щільності ламінованих відбитків отриманих струминним друком // *Modern education using the latest technologies. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference*. Lisbon, Portugal. 2023. Pp. 442–444. URL: <https://isg-konf.com/uk/modern-education-using-the-latest-technologies/>.

13. Бернацек В. В., Лабєцька М. Т., Довганич А. В. Дослідження якості відбитків цифрового друку на фотопапері / *Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. працівн. і аспір.* Львів: УАД, 2023. с. 53.

14. Мартинюк М. С., Бернацек В. В., Лабєцька М. Т., Довганич А. В. Дослідження експлуатаційних показників відбитків цифрового друку на фотопапері / *Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. працівн. і аспір.* Львів: УАД, 2023. с. 55.

15. Довганич А. В. Аналіз якості відтворення зображень на відбитках цифрового друку. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології*: тези

доповідей VIII Міжнар. наук.-техн. конф., 16-20 травня 2023 р. - Харків: ХНУРЕ, 2023 - с. 23–24.

16. Dovhanych, A., & Dovhanych, V. (2023). Study of the influence of the surface structure of the substrates on the imprints quality // *International scientific-practical conference. Innovations in Publishing, Printing and Multimedia Technologies*, Kaunas, Lithuania, April 26-27, 2023. Pp. 26–33. URL: <https://doi.org/10.59476/ilpmt2023.26-33>.

17. Гавенко С. Ф., Довганич А. В., Савка А. Л. Вплив технологічних режимів ламінування картонних відбитків цифрового друку на їх експлуатаційні показники // *Modern problems of science, education and society. Proceedings of the 9th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua"*. Kyiv, Ukraine. 2023. Pp. 320-322.

18. Довганич А. В. Гавенко С. Ф. Дослідження стійкості ламінованих друкарських відбитків до продавлювання : *V Міжнародній науково-практичній конференції студентів, магістрантів та аспірантів Квалілогія книги*. Львів: УАД, 2023. с. 53-55.

19. Довганич А. В. Гавенко С. Ф., Котмальова О. Г. Захист поліграфічної і пакувальної продукції методом ламінування. / *Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. працівн. і аспір.* Львів: УАД, 2024. с.53.

20. Довганич А. В. Дослідження процесу висікання картонних заготовок паковань / А. В. Довганич // *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології : тези доп. IX Міжнар. наук.-техн. конф., 14–18 травня 2024 р. – Т. 1. – Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2024. – с. 26–27.*

21. Довганич А. В., Гавенко С. Ф., Кочубей В. В. (2024). Термогравіметричні дослідження ламінованих друкарських відбитків. *VII International Scientific and Theoretical Conference «Advanced discoveries of modern science: experience, approaches and innovations»*. Amsterdam, The Netherlands. – pp. 65 – 66. DOI:<https://doi.org/10.36074/scientia-29.11.2024>.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ВСТУП	20
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН, ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ОЗДОБЛЕННЯ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ МЕТОДОМ ЛАМІНУВАННЯ	28
1.1. Аналіз споживчого ринку ламінованої продукції з паперу і картону в Україні та світі	28
1.2. Устаткування та технології ламінування друкарських відбитків	35
1.3. Характеристики матеріалів для ламінування та їх властивостей	45
1.4. Аналіз причин появи дефектів ламінування і методи їх усунення.....	59
Висновки до розділу 1	64
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	65
2.1. Об'єкти дослідження	65
2.2. Методики досліджень	71
2.2.1. Методика дослідження денситометричних, колориметричних та експлуатаційних показників якості друкарських відбитків	71
2.2.2. Методика дослідження топографії поверхні відбитків	78
2.2.3. Методика визначення зміни кольору зображень на відбитку під дією сонячних променів	80
2.2.4. Методика термогравіметричного дослідження	81
2.2.5. Методика визначення оптимальних режимів ламінування відбитків та оптимізації технологічного процесу	81
Висновки до розділу 2	83
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕНСИТОМЕТРИЧНИХ ТА КОЛОРИМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЛАМІНОВАНИХ ВІДБИТКІВ ЦИФРОВОГО ДРУКУ	84
3.1. Дослідження оптичних показників друкарських відбитків до і після ламінування	84

3.2. Дослідження впливу денного світла на світлостійкість відбитків цифрового друку і ламінатів	90
3.3. Дослідження характеристик кольору і блиску зображень на ламінованих відбитках під впливом денного світла	103
Висновки до розділу 3	110
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВЗАЄМОДІЇ СИСТЕМИ «ВІДБИТОК ЦИФРОВОГО ДРУКУ – ПЛІВКА» В ПРОЦЕСІ ГАРЯЧОГО ЛАМІНУВАННЯ	112
4.1. Аналіз топографії поверхні друкарських відбитків та ламінатів	112
4.2. Мікроскопічні дослідження взаємодії друкарських відбитків та плівок під час ламінування	119
4.3. Дослідження механізму взаємодії складових системи «плівка – клей – відбиток» при утворенні ламінату.....	123
4.4. Термогравіметричний аналіз ламінованих відбитків цифрового друку.....	126
Висновки до розділу 4	133
РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛАМІНОВАНИХ ВІДБИТКІВ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЛАМІНУВАННЯ	134
5.1. Дослідження механічної стійкості ламінованих відбитків до розшарування та продавлювання	134
5.2. Дослідження впливу технологічних режимів ламінування на якість ламінатів.....	147
5.3. Оптимізація технологічного процесу ламінування відбитків цифрового друку.....	150
Висновки до розділу 5	169
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	171
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	174
ДОДАТКИ	192
ДОДАТОК А1. ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА	193

ДОДАТОК А2. ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ	196
ДОДАТОК. Б. ЕКСПЕРТНЕ ОПИТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ВПЛИВУ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ ЛАМІНУВАННЯ	197
ДОДАТОК В. АКТ ПРО ВИКОРИСТАННЯ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ	198
ДОДАТОК Д. АКТИ ВИРОБНИЧИХ ВИПРОБУВАНЬ	199

ВСТУП

Актуальність теми. Різноманітність технологій оздоблення поліграфічної продукції постійно зростає. Однією з таких є ламінування, яке широко використовується сьогодні у поліграфічному виробництві. Адже воно не тільки підвищує естетичні показники продукції, але й захищає її від впливу зовнішніх факторів, зокрема вологи, перепадів температур, збільшує бар'єрні властивості.

За дослідженнями, описаними в журналі World of Packaging [1], найбільш популярними є пакування з паперу чи картону. Близько 70% паперової продукції застосовується для харчових продуктів. Картон, залежно від щільності чи поєднання з іншими матеріалами, може використовуватися як первинне або вторинне пакування, або транспортна тара. В Україні, за даними Державної служби статистики, у 2021 році налічувалося 430 виробників тари з паперу та картону. Проте повномасштабна війна внесла свої корективи.

Інтенсивне використання в останні роки цифрового друку для виготовлення друкованої продукції на різних матеріалах спонукає виробників до пошуку шляхів її оздоблення, зокрема методом ламінування.

Якість ламінування готової продукції істотно залежить від багатьох факторів, зокрема природи субстратів, їх гладкості та мікроструктури поверхні, механізму утвореного фарбового шару. Взаємодія клеючих складових полімерних плівок із папером відбувається на поверхні волокон, тому при зменшенні пористості реальна площа контактної взаємодії полімеру з основою відбитка зменшується, що стає причиною відшаровування плівки. Від якості ламінування залежать естетичні та експлуатаційні характеристики продукції, тому дослідження адгезії плівок до поверхні паперу та задрукованих відбитків для визначення оптимальних технологічних параметрів процесу ламінування є актуальною практичною задачею [2].

У публікаціях [3 – 5] представлені розроблені основи нечіткої системи прогностичного оцінювання якості виконання технологічних етапів, що

використовують засоби теорії нечітких множин. Реалізація цих систем дозволяє досягти високої якості друкованої продукції.

Сучасні тенденції, такі як швидка мода, короткі серії, скорочення витрат і короткі терміни виконання, є факторами, які наразі прискорюють проникнення цифрових рішень у сегмент виробництва паперової продукції. Перехід від аналогового до цифрового друку приносить з собою стільки абсолютно нових можливостей, що його можна назвати нестримною революцією. Пакування також є стратегічною частиною продукту, для якої друк має важливе значення [6].

Також часто при виконанні рекламно-дизайнерських робіт контролюють оптичні характеристики: прозорість полімерного покриття та збереження кольірних характеристик зображення на відбитку. У роботах [7 – 10] досліджують якість ламінованої продукції за такими показниками: міцність зчеплення паперово-плівкового пакета (на розтяг і на згин), скручування ламінованих відбитків, відсутність зовнішніх дефектів (смуг, зморшок, бульбашок тощо). Цифрові відбитки вимагають певного вибору режимів ламінування [2, 11]. Тому для мінімізації появи можливих дефектів необхідно враховувати взаємозв'язок усіх технологічних і режимних факторів.

Вагомий внесок у розвиток та дослідження нових властивостей виготовлення друкарських відбитків, пакувань, подарункової продукції з паперу, фотопаперу та картону, розробки моделей і методів друку, прогнозування якості відбитків, оздоблення методом ламінування, а також вивчення друкарсько-технічних і експлуатаційних характеристик поліграфічних матеріалів внесли як вітчизняні, так і закордонні науковці: С. Гавенко, М. Мартинюк, К. Чепурна, В. Осика, В. Бернацек, М. Лабєцька, А. Кирилюк, О. Зоренко, С. Зигуля, В. Матвійчук, О. Палюх, Б. Дурняк, В. Сеньківський, В. Репета, Р. Хохлова, О. Хмілярчук, D. Angelski, A. Kozlova, O. Tunçel, S. Penichon, M. Nabels-Sneiders, B. Jašúrek, Y. Sesli, K. Kumaraguru, M. Dykiel, та інші.

Проте аналіз наукових робіт вказує на недостатність проведення наукових досліджень щодо забезпечення якості ламінування цифрових відбитків, зокрема на папері, фотопапері та картоні.

Таким чином, актуальною задачею є актуальним науково-прикладним завданням є удосконалення технології оздоблення друкарських відбитків методом гарячого ламінування шляхом виявлення взаємовпливу технологічних параметрів і режимних факторів, топографії поверхні субстратів, дії зовнішніх впливів на денситометричні, колориметричні, термогравіметричні та експлуатаційні показники зображень, утворених цифровим струменевим та лазерним друком на папері, фотопапері та картоні, що уможливорює оптимізацію технологічного процесу ламінування за вагомістю факторів впливу на якість продукції.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота безпосередньо пов'язана з напрямками наукових досліджень Інституту поліграфії та медійних технологій НУ «Львівська Політехніка».

Науково-дослідна робота виконувалася в рамках госпдоговірної теми №2/2021 р. «Дослідження впливу способів друку на якість відбитків на картоні та гофрокартоні» між Українською академією друкарства та фірмою Amcor Specialty Cartons (Швейцарія).

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – удосконалення технології ламінування відбитків цифрового лазерного і струменевого друку для виготовлення друкарських відбитків. Для цього необхідно виконати такі задачі:

- провести аналіз сучасних технологій оздоблення друкарських відбитків методом ламінування для виготовлення поліграфічної і пакувальної продукції;
- визначити об'єкти і методи досліджень та виявити технологічних параметрів і режимних факторів на якість процесу ламінування;
- дослідити вплив процесу ламінування на денситометричні та колориметричні показники відбитків цифрового (лазерного та струменевого) друку на папері, фотопапері та картоні;
- здійснити термогравіметричні дослідження системи “фотопапір – відбиток – ламінований відбиток” та розробити імітаційну модель механізму взаємодії відбитків і поліпропіленової плівки в процесі утворення ламінату;

— на основі електронної мікроскопії проаналізувати вплив топографії поверхні паперових субстратів та структури плівки на якість ламінованих відбитків;

— дослідити вплив дії зовнішніх факторів на експлуатаційні показники ламінованих відбитків цифрового друку та розробити ієрархічну модель забезпечення якості ламінованої продукції;

— за допомогою методу моделювання здійснити вибір оптимальних режимів процесу ламінування відбитків цифрового друку та описати виявлені між ними залежності математичними моделями.

Об’єктом дослідження є технологічний процес оздоблення відбитків цифрового друку методом гарячого ламінування.

Предметом дослідження є технологічні параметри і режимні фактори, моделі та методи оцінювання показників якості ламінованих відбитків цифрового лазерного і струменевого друку на папері, фотопапері та картоні.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети дослідження проводилися з використанням сучасного поліграфічного обладнання на виробництві та в лабораторних умовах. Для вирішення задач досліджень застосовувались методи денситометрії, колориметрії, оптичної мікроскопії, термогравіметрії, математичного моделювання.

Обробка експериментальних даних здійснювалася за допомогою математичного редактора Maple. Статистичну обробку результатів експериментальних досліджень проводили з використанням програмного пакету Microsoft Office Excel 2021.

Наукова новизна одержаних результатів: у результаті проведення наукових досліджень розв’язано науково-прикладну задачу удосконалення технології оздоблення відбитків цифрового лазерного і струменевого друку на папері, фотопапері та картоні шляхом встановлення взаємозв’язку між технологічними режимами процесу ламінування, показниками якості відбитків та їх структурними характеристиками, оптимізації режимів процесу гарячого ламінування для забезпечення якості персоналізованих подарункових паковань.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень в рамках виконання дисертаційної роботи отримано такі найбільш суттєві результати:

Вперше:

- методику визначення міцності ламінованих відбитків лазерного та струменевого друку на основі порівняння величини сили й енергії, затраченої на руйнування системи «відбиток-плівка», що дозволяє спрогнозувати тривалість використання ламінатів та забезпечити покращення якості їх експлуатаційних показників;

- виявлено за допомогою термогравіметричного аналізу межі температур, в яких відбувається інтенсивна втрата маси в друкарських відбитках струменевого друку на фотопапері під час оздоблення методом гарячого ламінування, що дозволило підібрати оптимальні температурні режими для забезпечення адгезійної міцності та покращення якісних показників продукції;

- описано математичними поліноміальними моделями зв'язок між температурою і швидкістю ламінування та експлуатаційними показниками ламінатів, параметри який обчислено з використанням чебишовського наближення функцій багатьох змінних, що дозволило оптимізувати технологічний процес оздоблення відбитків струменевого і лазерного друку методом гарячого ламінування.

Удосконалено:

- методику визначення світлостійкості відбитків цифрового друку до і після ламінування, що дозволило встановити вплив часу дії денного світла і товщини плівки на зміну кольорових характеристик надрукованих зображень;

- імітаційну модель процесу гарячого ламінування відбитків цифрового друку, яка описує механізм взаємодії елементів системи «плівка – клей – відбиток» на основі механічної та молекулярної адгезії, що дозволить забезпечити якісні оптичні та експлуатаційні характеристики ламінатів.

Отримала подальший розвиток:

- теоретичні засади системного підходу до формування якісних ламінованих відбитків цифрового друку на основі взаємозв'язку між основними

компонентами процесу гарячого ламінування з врахуванням структурних, технологічних, експлуатаційних показників, що дозволить забезпечення прогнозованої якості ламінованої продукції.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що рекомендації автора допоможуть сформувати оптимальні режими процесу ламінування відбитків цифрового друку. Це, в свою чергу, сприятиме ефективному функціонуванню та розвитку підприємницької діяльності, забезпечуючи високу якість ламінованої продукції.

Отримані наукові результати спрямовані на забезпечення якості ламінованих відбитків цифрового друку. Апробація виробничих випробувань процесу ламінування друкарських відбитків на фотопапері та картоні здійснена в цифровій друкарні Еталон Прінт (м. Львів) та фірми ФОП ГАН М. М. (м. Львів).

Результати досліджень впроваджено у навчальний процес Інституту поліграфії та медійних технологій під час проведення лекційних та лабораторних занять з дисциплін “Проектування поліграфічної та пакувальної продукції”, “Інженерія якості пакувальної продукції”, які забезпечує кафедра поліграфічних технологій та пакувань для студентів спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія». Дані про впровадження підтверджено відповідними документами.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати теоретичних і експериментальних досліджень отримано здобувачем самостійно. Особистий внесок автора у спільних працях полягає в одержанні аналітичних та експериментальних залежностей, які лягли в основу визначення оптимальних режимів процесу ламінування методом математичного моделювання [1, 19]; виявлено вплив морфологічної структури поверхні друку на якість ламінування [2, 16]; визначено денситометричні та колориметричні показники якості ламінування відбитків цифрового (струменевого та лазерного) друку на папері, фотопапері та картоні [3, 5, 8, 12, 15, 13]; досліджено експлуатаційні показники друкарських відбитків [4, 14, 18, 20]; проведено аналіз результатів термогравіметричних досліджень картону, фотопаперу, глянцевої

поліпропіленової плівки (BOPP) і ламінованого фотопаперу [6, 21]; узагальнено та встановлено взаємозв'язок факторів впливу на якість ламінування друкарських відбитків [7]; наведено аналіз досліджень тенденцій розвитку та виготовлення паперової пакувальної продукції [9]; у роботі [10] авторам належить аналіз тенденцій розвитку паперових санітарно-гігієнічних виробів; визначено вагомість показників, що впливають на якість відбитків струменевого друку, для подальшого вдосконалення за допомогою системного аналізу [11]; встановлено зв'язок між технологічними режимами ламінування картонних відбитків цифрового друку та їх експлуатаційними показниками [17]; досліджено стійкість ламінованих друкарських відбитків до продавлювання.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідались та обговорювались на: звітних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів Української академії друкарства (Львів, 2021 – 2025); V Міжнародній науково-практичній конференції студентів, магістрантів та аспірантів Української академії друкарства (8 червня 2023 р.); VII і VIII Міжнародних науково-технічних конференціях «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» (Харків, ХНУРЕ, 17 – 21 травня 2022 р., 16 – 20 травня 2023 р., Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 14 – 18 травня 2024 р.); I Міжнародна науково-практична конференція «Current trends in the development of modern scientific thought» (Хайфа, Ізраїль, 27 – 30 вересня 2022 р.); I Міжнародна науково-практична конференція «Current issues of science and integrated technologies» (Milan, Italy, 10-13 січня 2023 р.); II International Scientific and Practical Conference «Modern education using the latest technologies» (Lisbon, Portugal, 17 – 20 січня 2023 р.); International scientific-practical conference «Innovations in publishing, printing and multimedia technologies» (Kaunas, Lithuania, 26-27 April 2023 p.); Modern problems of science, education and society «Proceedings of the 9th International scientific and practical conference» (Kyiv, Ukraine, 2023 p.); VII International Scientific and Theoretical Conference «Advanced discoveries of modern science: experience, approaches and innovations» (Amsterdam, The Netherlands, 29 November, 2024 p.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 21 наукову працю, зокрема:

- 1 публікація у періодичному виданні, що входить до міжнародних наукометричних баз Scopus або Web of Science Core Collection;
- 1 публікація у зарубіжному науковому виданні;
- 5 публікацій у наукових фахових виданнях України;
- 14 публікацій у матеріалах і тезах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 157 найменувань та 5 додатків. Загальний обсяг рукопису становить 200 сторінок, 164 з яких займає основний текст. У дисертації 77 рисунків та 23 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН, ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ОЗДОБЛЕННЯ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ МЕТОДОМ ЛАМІНУВАННЯ

1.1. Аналіз споживчого ринку ламінованої продукції з паперу і картону в Україні та світі

Сьогодні споживачі поліграфічної та пакувальної продукції приділяють значну увагу її зовнішньому вигляду, конструкції та дизайну. Різноманітні технології оздоблення дозволяють втілити дизайнерські ідеї, що підвищує конкурентоспроможність продукції на ринку, а також покращує її якість, естетичні та експлуатаційні показники.

Зростання обсягів виробництва пакувань в Україні та світі спонукає виробників до розширення асортименту продукції, появи нових сучасних пакувальних матеріалів, розвитку технологій [12 – 14].

Оздоблювальні процеси у виробництві поліграфічної й пакувальної продукції забезпечують такі технології оздоблення, як ламінування, лакування, флокування, тиснення, висікання, перфорація тощо. Ці процеси не лише підвищують візуальну привабливість виробів, але й захищають їх від механічних пошкоджень та впливу зовнішніх факторів [15 – 17].

У зв'язку з тенденціями в поліграфії, які передбачають зниження витрат та скорочення термінів виконання замовлень, а також з економічними і технологічними характеристиками можливих методів оздоблення продукції, технологія ламінування набула значного поширення [18].

Ламінування зазвичай використовується в різних галузях промисловості, зокрема в пакувальній, фармацевтичній, харчовій, будівництві, автомобілебудуванні та електроніці, для підвищення міцності, довговічності, зовнішнього вигляду та функціональності матеріалів. Питання вивчення та дослідження процесу ламінування паперової та картонної продукції привертало увагу українських та іноземних науковців [2].

На заміну пластиковому пакуванню з'явилися ламінований картон і папір, які подаються як «зелені» альтернативи, але, на жаль, вони не є такими через наявність шару поліетилену (ПЕ) або поліпропілену (ПП), який не розкладається. Негативний вплив нерозкладних композитів на навколишнє середовище спричинив революційний перехід до екоматеріалів та біокомпозитів. Різноманітні біорозкладні полімери є перспективними альтернативами пакувальним матеріалам [19, 20]. У статті [21] наведені дослідження впливу цих технологій на навколишнє середовище, а також причини, що його зумовлюють.

Компанія Pro-Consulting [22] провела аналіз ринку ламінованого картону в Україні. У результаті цього дослідження були виявлені зміни в обсязі ринку, а також експорту та імпорту ламінованого картону. Ламінований картон використовується для виготовлення пакування для різних товарів, одноразового посуду, поліграфічної та пакувальної продукції тощо.

Основним споживачем ламінованого картону (рис. 1.1) в Україні є сфера громадського харчування, де цей матеріал застосовується для пакувань продуктів харчування. На другому місці за використанням ламінованого картону перебуває вітчизняна фармацевтика (рис. 1.2), третє і четверте місця займають відповідно тютюнова та парфумерно-косметична галузі.

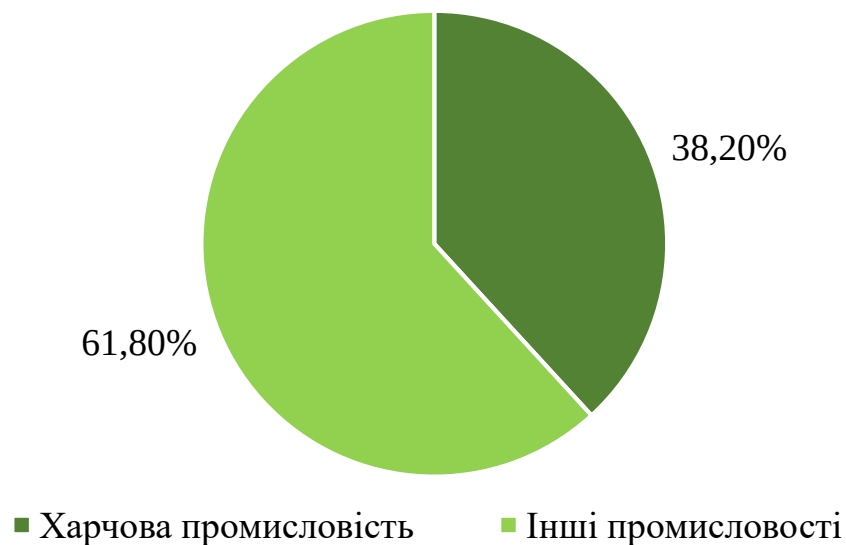


Рис. 1.1. Структура споживання ламінованого картону в Україні, % [22]

На рис. 1.2 наведено розподіл використання ламінованого картону за видами продукції. Маркетингове дослідження [22] виявило, що ринок ламінованого картону в Україні демонстрував значне зростання. У 2018 році він зріс на 22,8% у порівнянні з 2017 роком, а в 2019 році зростання склало 26% у порівнянні з 2018 роком. У грошовому вираженні приріст збільшився, що пов'язано з підвищенням цін на ламінований картон: у 2019 році грошовий обсяг ринку зріс на 50,7% у порівнянні з 2018 роком. Це пов'язано з розширенням тих сфер економіки, які найбільше споживають ламінований картон, зокрема громадським харчуванням, доставкою продуктів, а також харчовою, фармацевтичною, тютюновою промисловістю та іншими.



Рис. 1.2. Маркетингові дослідження використання ламінованого картону, % [22]

Прогнозується [23], що до 2029 року ринок задруковування пакувальних виробів суттєво зросте, а саме на 9,5%. Зростання в прогнозованому періоді можна пояснити попитом на фармацевтичне пакування, екологічні рішення, питаннями здоров'я та безпеки, глобальними ланцюгами постачання, а також налаштуванням і персоналізацією продукції. Основні тенденції, які вплинуть на ринок у цей період, включають технологічний прогрес, екологічне пакування, цифровий друк, 3D-друк, розумне пакування та безпечний друк.

Попит на ламінований папір значною мірою визначається потребами пакувальної, поліграфічної та етикеткової промисловості, які становлять понад 65% світового споживання. Ці галузі обирають ламінований папір завдяки його довговічності, вологостійкості та естетичній універсальності. За прогнозами [24], пакування для харчових продуктів та напоїв зростатиме у середньорічному обчисленні на 6,8% до 2030 року.

Згідно з прогнозами P&S Intelligence [25], у 2024 році обсяг ринку крейдованого та ламінованого паперу в США становитиме 26,4 млрд доларів, з подальшим зростанням на 2,0% протягом 2025-2032 років.

Домінує використання крейдованого паперу, який не лише покращує зовнішній вигляд, але й експлуатаційні характеристики. Також спостерігається попит на глянцеві та матові покриття для кращої якості друку. У 2024 році найбільшу частку ринку займав глянцева папір – 60%. Категорія ламінації з УФ-покриттям також зростатиме, з темпом приросту 5% протягом прогнозованого періоду.

У 2024 році категорія пакування займала найбільшу частку ринку – 55%, і протягом прогнозованого періоду зростатиме з найвищим середньорічним темпом зростання (CAGR) – 4%. Пакувальний сектор охоплює різні галузі, такі як харчова промисловість, напої, роздрібна торгівля та споживчі товари, які потребують значних обсягів крейдованого та ламінованого паперу [25].

В останні роки все більш ефективним засобом комунікації стає цифровий друк. Серед основних факторів його розвитку можна виділити прискорену автоматизацію, зростання оздоблення продукції, збільшення онлайн-замовлень

на друк та розвиток інтернет-магазинів. Друк залишається важливим елементом міжгалузевих комунікацій, включно з сферами, що розвиваються: робототехніка, штучний інтелект, мобільні пристрої тощо [26].

Беручи до уваги технологічні інновації, спостерігається, що технології цифрового друку зосереджені на зміні та налаштуванні вимог клієнтів, дизайні та аналізі даних. Окрім того, розглядається розвиток з появою цифрової технології друку та її відмінності від традиційних технологій. Постійно розвиваючись, цифрові технології продовжують оновлюватися. Цифровий друк є сучасною неконтактною технологією. На відміну від традиційних методів друку, його не можна класифікувати за матеріалом чи типом фарби. Дані для друку передаються безпосередньо через комп'ютер на друкарську машину [27].

Можливість здійснювати рентабельний друк ідеально підходить для цифрового друку, який може конкурувати з офсетним. Крім того, цифровий друк відкриває можливості для персоналізації поліграфічної продукції та пакувань, що є актуальною вимогою сучасності. Розвиток інформаційних технологій сприяє інтенсивному використанню цифрового друку (32% друкарень у світі пропонують цифровий ink-jet друк для оздоблення, маркування, персоналізації продукції).

Технологія цифрового друку, яка застосовується в рулонних або гібридних процесах, дозволяє виробникам запропонувати своїм клієнтам нову бізнес-модель і уникнути непотрібних відходів, що, у свою чергу, знижує ризики та зменшує негативний вплив на довкілля.

Сучасні цифрові друкарські машини використовують лише необхідну кількість чорнила для виконання замовлення, внаслідок чого не виникає залишків, як це відбувається при традиційному друці. Окрім того, автоматизація процесів, таких як очищення головок і циркуляція чорнила, сприяє підвищенню продуктивності обладнання та знижує витрати на витратні матеріали [28, 29].

Найбільш поширеними серед цифрового друку є струменевий та лазерний. Відмінність між струменевими та лазерними принтерами полягає у використанні вологої чи сухої технології друку. Суть технології струменевого друку полягає в рідких чорнилах, які переносяться на папір у вигляді мікроскопічних крапель і формують зображення при їх розтіканні і вбиранні. Технологія лазерного друку ґрунтується на перенесенні сухого порошкового тонера на папір і подальшого його термічного закріплення на ньому [30].

Хоча аналоговий друк продовжує домінувати на загальному ринку друку, цифровий друк зростає швидше і займає все більшу частку. За даними Smithers цю тенденцію прискорила пандемія [31]. Цифрові технології надають доступ до багатьох функцій, які шукають клієнти у сфері комерційного друку та пакувальної промисловості для економічно ефективного застосування [6]. Для цифрового друку потрібні широкоформатні лазерні або струменеві принтери, що наносять пігмент або тонер на широкий спектр матеріалів, які задруковуються. Таким чином, у цифровому друці немає механічних налаштувань, як це зазвичай є в офсеті чи флексографії. Тому він знайшов ефективне застосування для друкування на картоні та гофрокартоні [32].

Попит на друковане пакування продовжує зростати і залишатиметься стратегічним пріоритетом. Окрім того, за прогнозом нового дослідження компанії Smithers під назвою «Майбутнє пакувального друку до 2027 року», використання цифрового друку зростатиме і до 2027 року займатиме більше 10% [33]. За прогнозом нового звіту «Майбутнє цифрового друку до 2032 року» [34] компанії Smithers, навіть з урахуванням війни в Україні, пов'язаної з нею інфляції та підвищення цін на папір і енергоносії, прогнозується, що до 2032 року світовий обсяг цифрового друку зросте до 230,5 мільярда доларів США (у 2022 році було приблизно 136,7 мільярда), що відповідає майже чверті всього поліграфічного бізнесу у вартісному вираженні.

Обсяг ринку цифрового друку у 2023 році становив 38,07 млрд доларів США, і прогнозується [35], що середньорічний темп зростання (CAGR –

Compound Annual Growth Rate) досягне 6,2% у період з 2024 по 2030 рік (рис. 1.3).

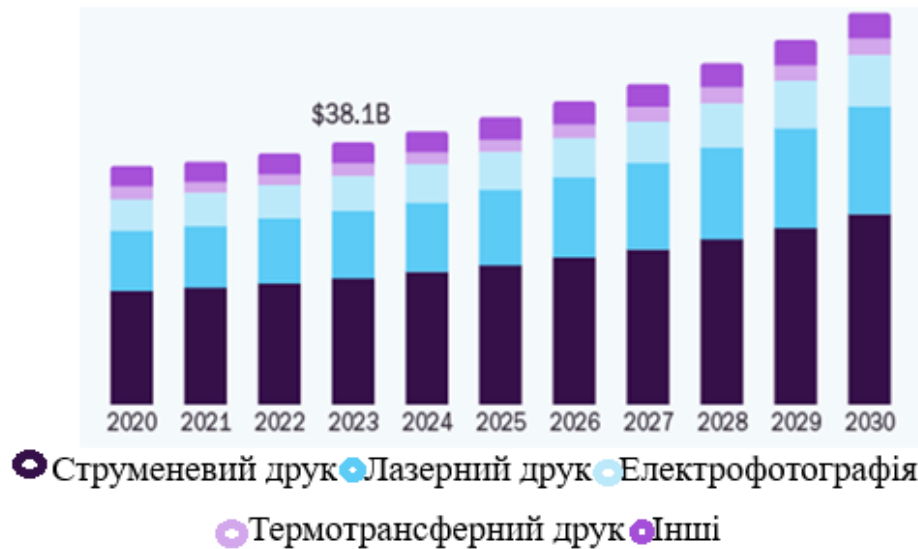


Рис. 1.3. Розподіл обсягу ринку цифрового друку за технологіями, 2020 –2030 (млрд. дол. США) [35]

Тенденція цифрового друку на пакованні повністю відповідає принципам економіки та сталого розвитку. Бренди дедалі частіше застосовують екологічні методи, а цифровий друк сприяє цьому процесу, мінімізуючи відходи матеріалів і використовуючи перероблені та стійкі субстрати. Завдяки зменшенню впливу на навколишнє середовище та підтримці екологічних ініціатив цифровий друк стає ключовим гравцем у просуванні пакувальної індустрії до більш сталого майбутнього. Доповнена реальність (AR) і зв'язок ближнього поля (NFC) покращують взаємодію споживачів, забезпечуючи інтерактивні та захоплюючі враження через пакування.

Ринок поліграфічної продукції для цифрового друку характеризується конкуренцією серед ключових гравців галузі, зокрема Quad/Graphics Inc., HP Inc., Eastman Kodak Company, Mondi Plc., Landa Corporation Ltd., Reynders Label Printing, Tailored Label Products Inc., Traco Manufacturing Inc., Thimm Group, Elanders, Colordruck Baiersbronn, WS Packaging Group Inc. Ці організації роблять

значні інвестиції у виробництво пакувальних рішень для друку Digital. Прогнозується, що ринок пакувань для цифрового друку зросте з 29,12 мільярдів доларів США у 2025 році до 67,54 мільярдів доларів США до 2034 року із середньорічним темпом зростання 9,8% [36].

Цифровий друк знайшов застосування і для виготовлення кашированого мікрогофрокартону [37].

Наявність сучасного обладнання, яке відповідає потребам ринку, є ключовим фактором для підприємств, що прагнуть виробляти нові види продукції та підвищити конкурентоспроможність. Проведений аналіз поліграфічного ринку та тенденційного розвитку [38] орієнтується на враховуванні системи факторів, що визначають взаємозв'язок між традиційними та цифровими технологіями виробництва.

1.2. Устаткування та технології ламінування друкарських відбитків

Сучасні системи ламінування поділяються за типом ламінаторів, технологією та призначенням. За типом ламінатори класифікуються на машини для пакетного гарячого і холодного ламінування та машини для рулонного ламінування. Очікується, що в найближчі роки спостерігатиметься зростання технології ламінування відповідно до інтенсивного інтенсивно розвитку пакувальної та поліграфічної галузей.

За прогнозами дослідників [39], сегмент машин для холодного пакетного ламінування займе переважаючу частину на ринку до 2032 року, тоді як у 2022 році домінував сегмент машин для гарячого пакетного ламінування. Глобальний ринок систем ламінування у 2032 році становитиме 720,5 млн дол., що складає 4.7% середньорічного зростання у порівнянні з 2023 роком.

Згідно з прогнозами Laminating Machines Market Size and Share Analysis [40], у комерційному сегменті ринок машин для ламінування у 2025 році становитиме 727,6 млн дол. США, а у 2032 році зросте до 1,239,8 млн дол. США, що складатиме середньорічне збільшення (CAGR) – 7,9%. Завдяки високій продуктивності комерційні ламінатори є універсальними і можуть задовольнити

потреби як невеликих друкарень, так і професійних фотографів. 47,3% цього сегменту займають ламінатори, які використовуватимуть при виготовленні паковань для харчової, фармацевтичної та електронної промисловості. 42,8% ламінаторів використовуватимуться поліграфією для ламінування документів та різноманітної аркушевої продукції, зокрема фотографій, вивісок тощо.

Підвищені вимоги споживачів до продукції пакувальної та поліграфічної промисловості призвели до збільшення попиту на ламінатори, які здатні якісно оздоблювати різноманітні матеріали (папір, фотопапір, картон, плівки, тканини тощо) та друкарські відбитки, утворені на них сучасними способами друку. Зростає інтерес до ламінування з боку харчової промисловості, зокрема ламінованих паперових пакетів і паковань для напоїв. Нормативні вимоги до безпеки та якості продуктів харчування стимулюють використання ламінаторів для виготовлення паковань з метою покращення захисту продукції та подовження терміну її зберігання. Популярність приготування та споживання швидкого харчування у населення планети також сприяє збільшенню продажів машин для ламінування.

У роботі [18] розглядаються питання підбору обладнання та матеріалів для ламінування продукції, а також вплив різних способів ламінування на якість ламінованої продукції. Дослідники [41, 42] виявили, що фарбовий шар, розташований між плівкою та відбитком, суттєво впливає на якість ламінованої продукції.

Ламінатори класифікуються за такими параметрами, як формат, ширина і швидкість ламінування, діапазон товщин плівок та оброблюваних матеріалів. Відома класифікація ламінаторів, наведена в роботі [43], яку ілюструє рис. 1.4.

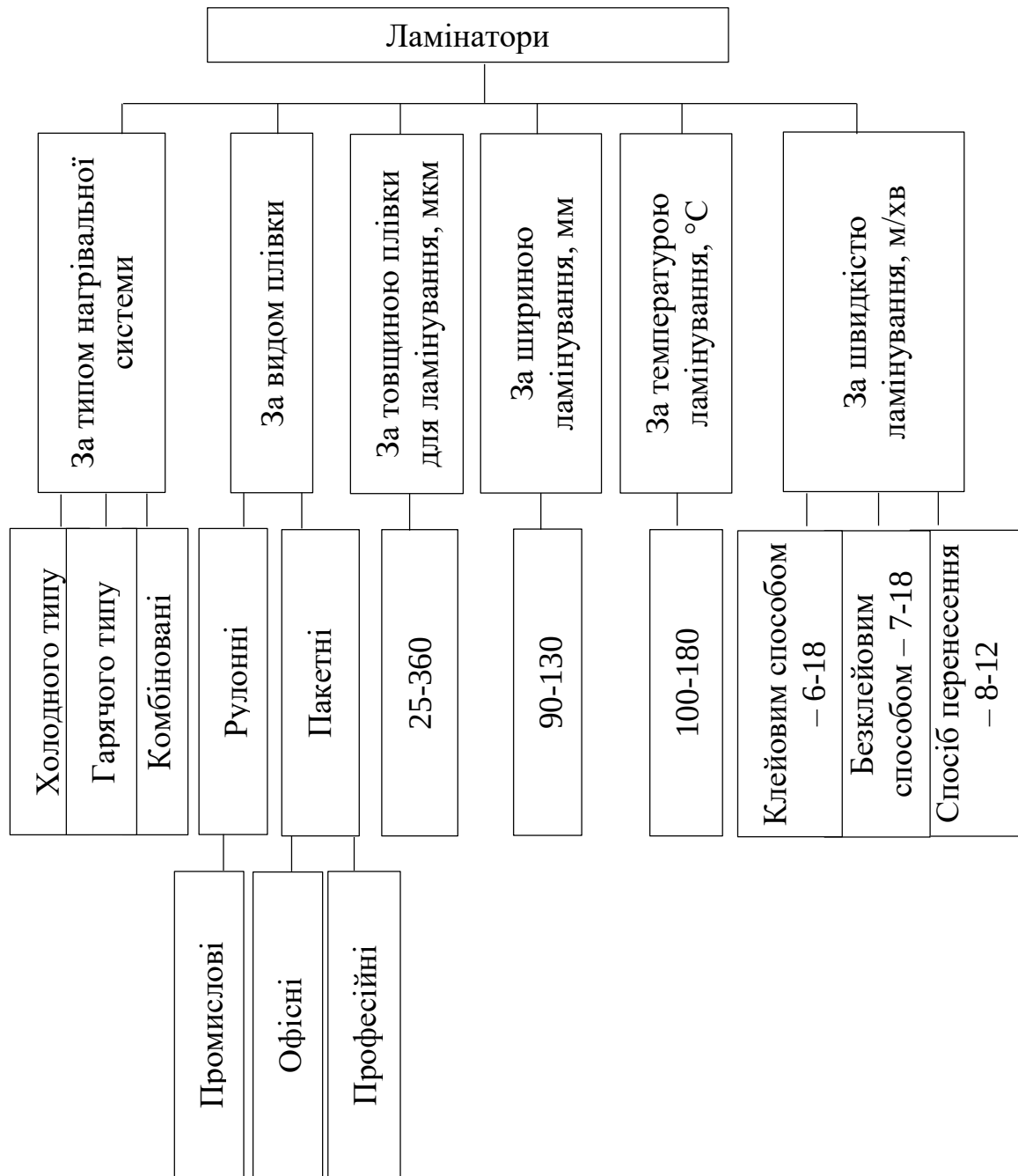


Рис. 1.4. Класифікація ламінаторів [43]

Пакетні (конвертні) ламінатори відрізняються за такими параметрами: форматами, можливістю регулювання температури, матеріалом корпусу, наявністю реверсу, товщиною ламінованого матеріалу, регулюванням швидкості. Для ламінування використовують плівку, яка зовні нагадує конверт.

Рулонні ламінатори характеризуються за видом і шириною ламінованого матеріалу, швидкістю ламінування, можливістю одночасного одностороннього

холодного ламінування та ембосування (тиснення). Такі ламінатори можуть працювати з плівкою різної довжини намотування [44].

Розрізняють гарячий та холодний методи ламінування. Гарячий спосіб ламінування [45] здебільшого використовують у поліграфічних процесах (близько 80%), зокрема для ламінування книжково-журнальних оправ, візиток, рекламних матеріалів, листівок, афіш, плакатів, запрошень, фотоальбомів, календарів, картонних паковань.

Як відомо, гаряче ламінування – це процес припресування до різноманітних субстратів плівок, які мають спеціально нанесений клейовий шар, активний при певних температурах. Ці плівки виготовлені з матеріалів, що витримують високі температури в діапазоні від 110 до 160 °C, що запобігає деформації під час ламінування. Для цього процесу застосовуються ламінатори з гарячими валами, обладнані нагрівальними елементами, які можуть нагрівати їх до необхідної температури (але не вище 150 °C). Під час ламінування клей активується під впливом високої температури, проникає в пори субстрату і закріплюється. Після проходження через дві пари валів ламінатора (гарячі та витяжні) клей охолоджується і переходить у стабільний стан.

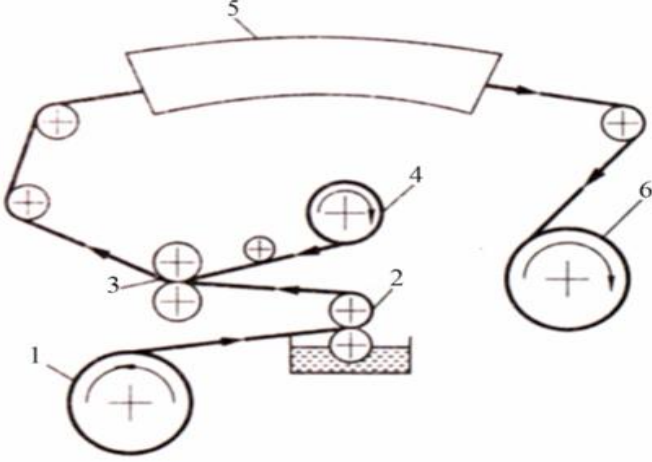
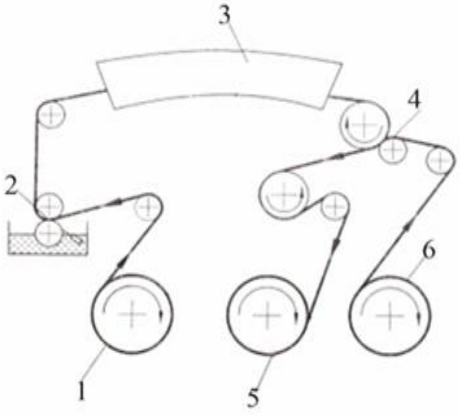
Для холодного ламінування використовують ламінатори з холодними валами. Невеликий тиск валів ламінатора достатній для того, щоб плівка надійно приклеїлася до основи. Для покращення адгезії та зменшення кількості дефектів, таких як бульбашки повітря, іноді використовують легкий підігрів (не більше 60 °C). Це робить клей більш рідким і забезпечує його рівномірний розподіл по поверхні матеріалу [45].

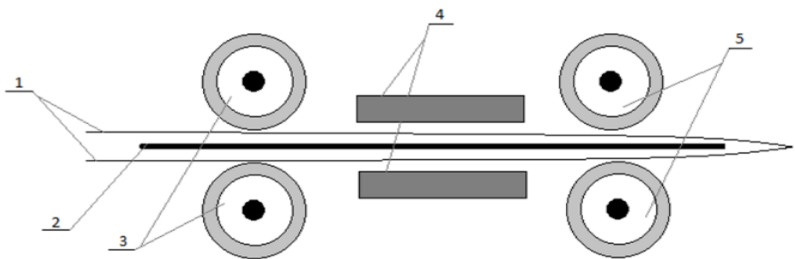
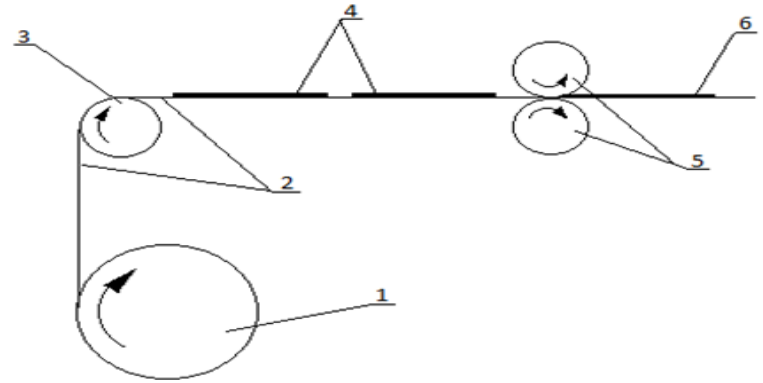
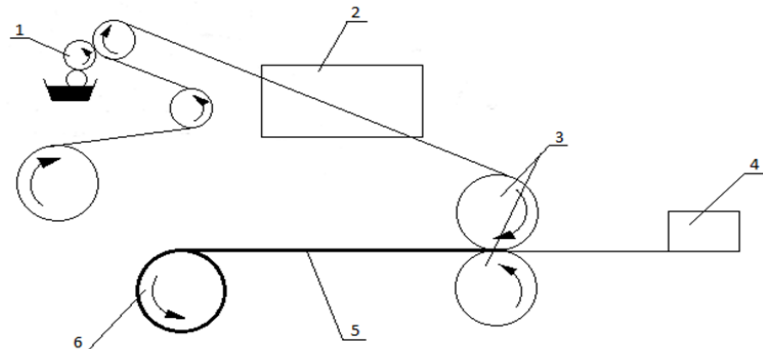
Сучасні ламінатори можуть мати різні системи управління, які змінюються від простих механічних до складних електронних з програмованим керуванням, оснащені сенсорною панеллю для обслуговування обладнання.

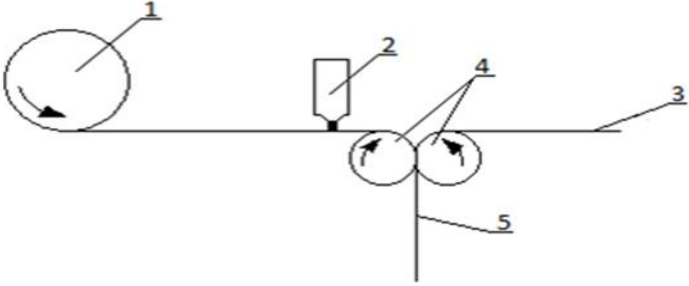
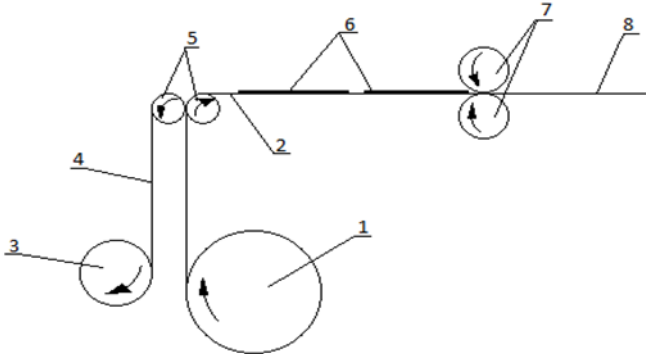
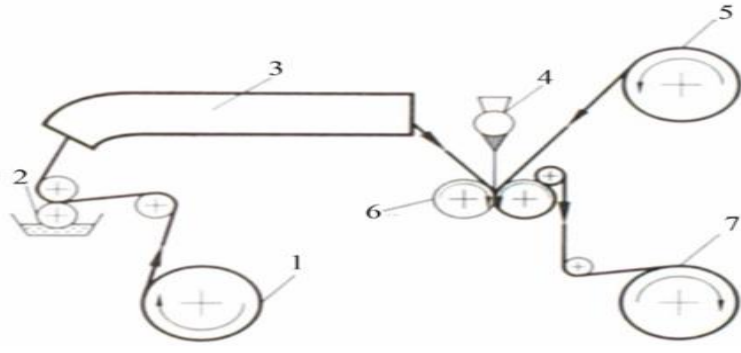
Якість ламінування залежить від багатьох факторів, які ще вимагають поглиблених досліджень. У таблиці 1.1 наведено схеми устаткування для різних технологій ламінування.

Таблиця 1.1

Характеристики сучасних технологій ламінування

Метод ламінування	Схема устаткування для ламінування
З використанням клеїв на водній основі	 1 – перший розмотувач для паперу або плівки; 2 – система валиків для нанесення клею; 3 – секція ламінування; 4 – другий розмотувач для паперу або плівки; 5 – висушувальний тунель; 6 – намотувач готового ламінату [46]
З використанням клеїв, що містять органічні розчинники	 1 – перший розмотувач для плівки; 2 – система валиків для нанесення клею; 3 – сушильний тунель; 4 – секція ламінування; 5 – намотувач готового ламінату; 6 – другий розмотувач для паперу або плівки [46]

З використанням плівки з нанесеним термоклеєм	 1 – плівка; 2 – відбиток; 3 – подавальні валики; 4 – нагрівні елементи; 5 – вивідні валики
Гаряче безклейове	 1 – рулон плівки; 2 – двошарова плівка; 3 – валик, який змінює напрям руху рулону; 4 – відбиток; 5 – каландрувальні циліндри; 6 – ламінований відбиток
Гаряче клейове	 1 – пристрій для нанесення клею на поверхню плівки; 2 – тунель-сушарка; 3 – каландрувальні циліндри; 4 – самонаклад; 5 – ламінований відбиток; 6 – рулон ламінату [46]

Холодне клейове	 1 – рулон; 2 – пристрій для накладання клею; 3 – плівка; 4 – каландрувальні циліндри; 5 – ламіновані відбитки
Холодне безклейове	 1 – розмотувач плівки з силіконовим папером; 2 – самоклеюча плівка; 3 – рулон з силіконовим папером; 4 – силіконовий папір; 5 – валики, які змінюють напрям руху рулону; 6 – відбитки; 7 – каландрувальні циліндри; 8 – ламінований відбиток [47]
Екструзійне	 1 – перший валик для розмотування паперу або плівки; 2 – валики для нанесення розплавленої маси; 3 – сушильний тунель; 4 – екструдер; 5 – другий валик для розмотування паперу або плівки; 6 – секція ламінування; 7 – перемотувач ламінату [46]

Дослідників цікавлять питання оптимізації технологічних режимів процесу ламінування, зокрема температури, тиску та швидкості ламінування. Виявлено, що зі зростанням цих параметрів зменшується міцність ламінування та погіршується адгезійне з'єднання між відбитком і плівкою, що, у свою чергу, викликає небажане скручування готового відбитка [41, 48, 49].

Ламінування з використанням клеїв-розчинників передбачає нанесення на компонент ламінаційної плівки, який має більшу стійкість до змін температури. Залежно від типу клею, для його нанесення застосовується система глибокого чи флексографічного друку. Леткі компоненти клею випаровуються в сушильному тунелі. У машинах цього типу використовується контактне або інфрачервоне висушування, а також обдув гарячим повітрям в обох випадках. Відразу після виходу з сушильного тунелю плівка з клеєм, що не містить розчинників, спрямовується до секції ламінування, де компоненти ламінаційної плівки з'єднуються між собою. Блок ламінування складається з нагрітого металевого і гумового циліндра. Готова ламінаційна плівка охолоджується при кімнатній температурі. Для того, щоб забезпечити належне склеювання окремих шарів ламінаційної плівки, вага клею, що наноситься, повинна становити 0,5 – 5 г сухої речовини на 1 м² [46, 47].

Ламінування холодним клеєм передбачає нанесення клею на один із шарів плівки. Потім компоненти плівки з'єднуються в каширувальній установці, що складається з двох холодних валів. Після з'єднання плівка намотується на бабіну, де клей частково висихає. Через 24 години ламінаційна плівка розмотується і розрізається на аркуші, які потім складаються в штабелі і залишаються до повного висихання із застигання клею. Для холодного ламінування використовуються одно- або двокомпонентні дисперсійні та двокомпонентні клеї [47].

Процес гарячого безклеєвого ламінування передбачає проходження плівки та паперу через ламінатор таким чином, щоб шар поліетилену контактував із поверхнею відбитку. Під тиском гарячих циліндрів ламінатора

нижній шар приклеюється до поверхні відбитку, а поверхневий шар залишається незмінним [34].

Для безклейового холодного ламінування використовують самоклеючі плівки, клейовий шар яких захищений силіконовим папером. З розгорнутої клейкої плівки знімається шар силіконового захисного паперу. Потім у зоні тиску циліндрів клейовий шар на плівці з'єднується з поверхнею відбитка і відразу ж досягає максимальної міцності з'єднання.

У процесі ламінування гарячим розплавом використовуються мікрокристалічні, парафінові воски та термоплавкі суміші. Вибір виду розплаву залежить від типу ламінованих матеріалів і ламінатора. Першим етапом ламінування є нанесення на один із компонентів термоплавкої маси, до якої згодом у ламінаторі притискається другий компонент плівки. Потім ламінований відбиток направляють до охолоджувального циліндра, де шари охолоджуються та з'єднуються. Таке ламінування застосовується при поєднанні плівки з алюмінієвої фольги з орієнтованою РР плівкою, плівкою і папером. У пакувальній промисловості такі ламіновані зразки можна зустріти насамперед на пакуванні для жувальної гумки, шоколадних виробів або вершкового масла [46].

При екструзійному ламінуванні компоненти плівки повинні мати температурну стабільність, оскільки температура полімеру, що виходить з екструдера, становить 250 – 300 °С. Для екструзії використовується поліетилен низької щільності (PE-LD), а одним із шарів є алюмінієва фольга або папір. Струмінь розплавленого полімеру товщиною 7 – 20 мкм видавлюється з екструдера між двома компонентами плівки і негайно притискається один до одного в зазорі ламінувального вузла, який складається зі сталевого хромованого та притискного прогумованого валиків. Хромований валик охолоджується водою зсередини, щоб розплавлений полімер охолоджувався і з'єднував шари плівки постійним зв'язком.

Оскільки методи ламінування набирають популярності на ринку оздоблення продукції, погляди ряду науковців та практиків [50] значно різняться щодо переваг цього методу. Також важливо визначити фактори, що впливають

на якість ламінування. Серед них такі чинники, як товщина, гладкість, маса паперу, наявність фарбового шару та спосіб отримання відбитку [51].

У таблиці 1.2 наведено переваги та недоліки процесу ламінування.

Таблиця 1.2

Переваги та недоліки процесу ламінування

Переваги ламінування	Недоліки ламінування
Захист відбитків від подряпин, потертостей і щоденного зношування	Незначне збільшення вартості готової продукції
Захист відбитку від пошкодження водою, жиром	Незначне збільшення вартості готової продукції
Запобігає вицвітання чорнила на сонці	Продукція не підлягає повній переробці
Захищає відбитки від розривів і розтріскування	Відбитки цифрового друку при ламінуванні можуть змінювати кольорові характеристики зображень
Надає відбитку матовий або глянцевиий вигляд	Можливість утворення бульбашок та зморшок на поверхні
Надає відбитку певну текстуру або блиск	Можливе відшарування плівки та знебарвлення відбитку
Збільшує термін придатності паковань	Можливе відклеювання плівки від ламінованого аркуша

Проблеми виявлення закономірностей взаємозв'язку між режимними і технологічними факторами процесу ламінування обкладинок орієнтованими поліпропіленовими плівками (ОПП), а також впливу їх структури на деформацію ламінованої продукції, досліджено в роботі [52]. Показано удосконалення процесу ламінування обкладинок ОПП плівками, що дозволяє зменшити скручування ламінованої продукції без втрати міцності з'єднання плівки з папером. Запропоновано розроблену математичну модель розкрою палітурних

матеріалів з урахуванням технологічних параметрів, що сприяє зменшенню відходів. Однак залишилося ще ряд невирішених проблем у технологіях ламінування, які потребують поглиблених досліджень.

Дослідження [53–55] виявили, що ефективність імітаційного моделювання значною мірою залежить від коректного вибору параметрів, які відповідають умовам експлуатації, що суттєво покращить розуміння факторів, які впливають на їх міцність. Досягти цього можна лише шляхом аналізу та декомпозиції технічної системи, класифікації підсистем і опису їх у вигляді кінцевої множини класів і зв'язків між ними [56, 57]. Ефективне використання інноваційних матеріалів і технологій дозволяє досягти оптимального балансу між міцністю, довговічністю та зручністю використання.

1.3. Характеристики матеріалів для ламінування та їх властивостей

Популярними для ламінування є папір і картон, а також відбитки на них. Сьогодні близько 97% паперу та картону у світі виробляється з деревної целюлози, з яких приблизно 85% походить від ялини, ялиці та сосни. Крім того, папір і картон як екологічні та безпечні матеріали можуть використовуватися для контакту з харчовими продуктами різними способами – як безпосередньо, так і опосередковано. У статтях [58 – 60], визначено тенденції розвитку та особливості ринку паперової продукції України, а також надано рекомендації щодо підвищення конкурентоспроможності пакувального виробництва.

Відповідно до досліджень компанії Pro Consulting [61], ринок паперової продукції в Україні демонструє динамічний розвиток та адаптацію до сучасних тенденцій сталого виробництва, а також до зростаючих вимог споживачів. У 2024 році відбулися суттєві зміни у виробництві основних категорій паперової продукції, що свідчить про зростаючий попит на інноваційні та екологічно чисті рішення в цій сфері.

Недавня пандемія та військова агресія росії в Україні значно вплинули на ринок паперової продукції. Під час пандемії спостерігалось зростання попиту на одноразове пакування в харчовій промисловості, а після тривалого спаду вартість

ринку паперової продукції досягла 651,15 млн доларів США. Водночас війна негативно позначилася на виробництві та доступності сировини, що підтверджується зупинкою роботи багатьох компаній [61, 62]. Зростаючий попит на ламінування картонних пакувань спостерігається в медичній, харчовій галузі та е-комерції [63].

Така тенденція популярності картонних чи паперових пакувань спостерігається завдяки їх екологічності та повній утилізації, захисту продукції від зовнішніх впливів, низькій вартості, можливості нанесення зображень різними видами друку та оздоблення, що дозволяє зберігати та транспортувати як харчові, так і нехарчові товари. До недоліків картонно-паперових пакувань відносять обмежені бар'єрні властивості, що дозволяють безперешкодне проникнення газів, парів та запахів, гігроскопічність та здатність до намокання, низьку стійкість до вологи, що призводить до втрати початкової міцності в умовах підвищеної вологості, неможливість термічної обробки (термозварювання елементів), а також те, що з'єднання в цілісні конструкції можливе лише за допомогою склеювання. Проте ряд недоліків поліграфічної продукції з паперу і картону можна усунути завдяки ламінуванню, зокрема поліпшенню їх бар'єрних і міцнісних властивостей [64, 65].

У праці [66] проаналізовано ринок матеріалів для ламінування, визначено вплив зовнішніх факторів на їх розвиток.

Вітчизняна целюлозно-паперова промисловість займає незначну частку на українському ринку. Існує потреба в розширенні асортименту паперу для друку та створенні конкуренції імпортованим товарам. На сьогодні ринок України заповнений в основному іноземною продукцією [67].

Дослідження В. А. Осики, В. О. Комахи, О. С. Шульги зосереджені на аналізі структури та обсягів виробництва паперових пакувальних матеріалів на світовому ринку [58, 68, 69]. Сучасні тенденції розвитку пакувальної галузі в Україні та світі, а також перспективи її розвитку розглядаються в роботі Кривошея В. та Халайджі В. [70].

Ринок картонної продукції, обсяг якої становить 261 млрд доларів США, у 2015 році займав найбільшу частку пакувального ринку загалом і зберіг свої позиції до 2020 року. У 2015 році Китай випередив США і став найбільшим споживачем картонного пакування у світі. На другому та третьому місцях опинилися Індія та Південна Корея. Зростання онлайн-замовлень сприяє збільшенню споживання картонної продукції. Водночас, важливо зазначити, що близько 30 – 40% товарів, придбаних через онлайн-замовлення, повертаються, тому їх пакування повинно бути зручним у використанні [71].

У роботі [72] проаналізовано дослідження, що відносяться до тенденцій розвитку та виготовлення паперової пакувальної продукції. Провідні компанії світової паперової промисловості з США, Канади, Фінляндії, Швеції та Норвегії досліджували різні питання розвитку ринку паперової продукції в Україні та у світі, оскільки ці країни є основними експортерами цієї продукції. Найбільше пакувальних паперових матеріалів (ППМ) в Україну імпортується з Швеції та Фінляндії [41, 42, 48, 73, 74].

За дослідженнями авторів [20], було виявлено та проаналізовано дані Всесвітньої організації пакувальників (WPO) та європейських фахівців з розвитку ринку пакувальних матеріалів. У 2020 році спостерігалось стабільне зростання обсягів виробництва цієї продукції, зокрема в Європі. При цьому найбільшу частку традиційно займали паперові пакувальні матеріали (рис. 1.5) [75].

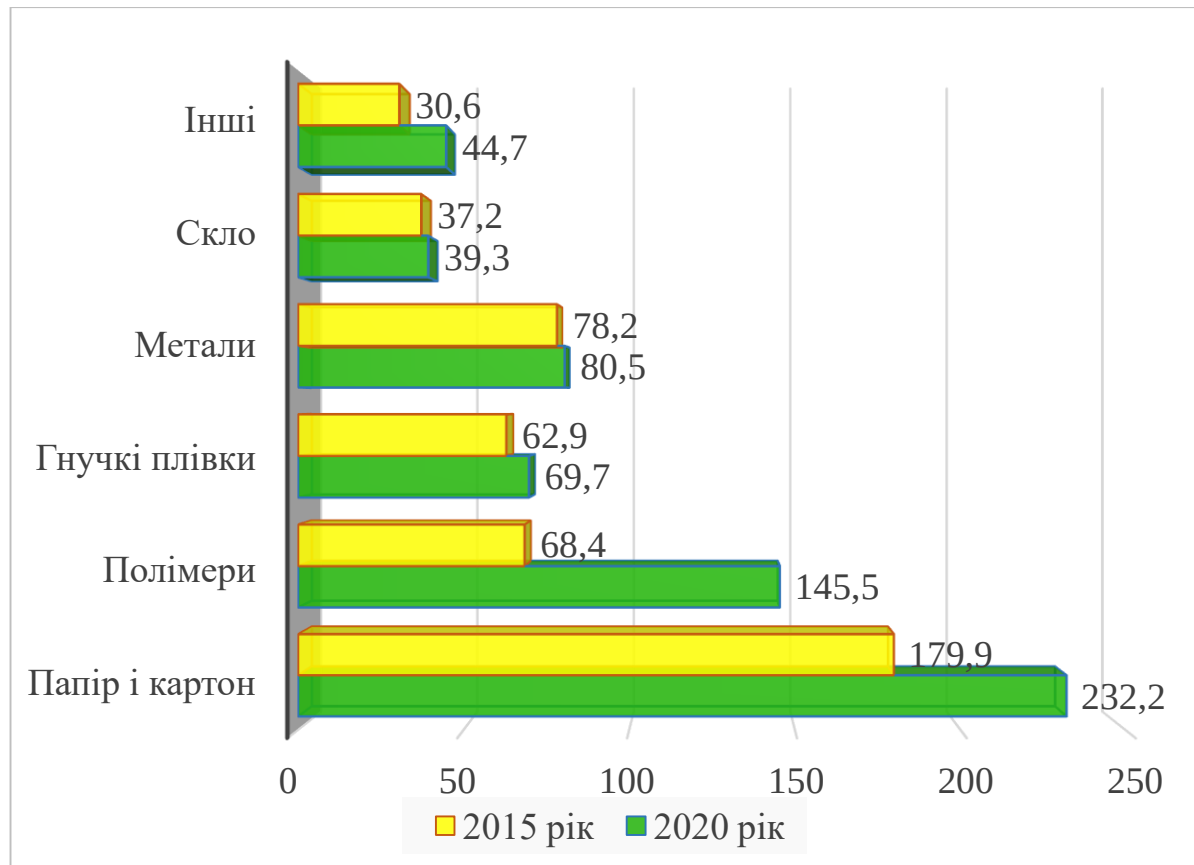


Рис. 1.5. Обсяги використання пакувальних матеріалів у світі за 2015 і 2020 рр. [75]

У країнах-членах СЕРІ у 2020 році було вироблено 85,2 млн тон паперу та картону, що на 4,8% менше порівняно з 2019 р.. Така тенденція спостерігалася і в багатьох інших частинах світу, в т. ч. в США, Японії, Бразилії та Канаді [76].

З інших джерел [77] відомо, що під час кризи COVID-19 у 2020 році виробництво паперу та картону зменшилося 4,7 % для всіх видів продукції, але у 2023 році впало на 13%. Незважаючи на це, галузь демонструє ознаки стійкості, з рекордним рівнем переробки, який становить 79,3%, а середній показник за останні три роки 74,4%.

За аналізом [78] у 2023 році ринок картонно-паперової продукції для харчових продуктів досяг обсягу 10 млрд гривень. Це на 4 млрд гривень менше, ніж у довоєнному 2021 році, але вдвічі більше, ніж у 2022 році. Це свідчить про швидке відновлення продуктивності цього ринку, навіть в умовах війни.

Протягом перших п'яти місяців 2024 року ринок вже становив 70% від даних 2023 року і має потенціал перевищити рівень 2021 року.

За оцінками [79], у 2025 році папір займатиме найбільшу частку ринку – 42,8% – завдяки широкому використанню в якості основи для ламінування. Будь то документи, брошури, фотографії, меню або сертифікати, папір залишається найкращим носієм для друку. Здатність захищати паперові поверхні від зносу, розривів і хімічних/водяних пошкоджень, зберігаючи при цьому читабельність і естетичність, робить ламінування паперу дуже цінним. Ламінатори дозволяють легко ламінувати папір різної ваги, розміру та якості поверхні.

У 2023 році компанія Pro-Consulting [80] провела дослідження ринку пакувальних матеріалів, яке було спрямоване на виявлення споживчих переваг, зосередившись на купівлі продуктів, що використовують пакування. Результати опитування продемонстровано на рис. 1.6, що свідчить про те, що більшість респондентів віддають перевагу картону та паперу.

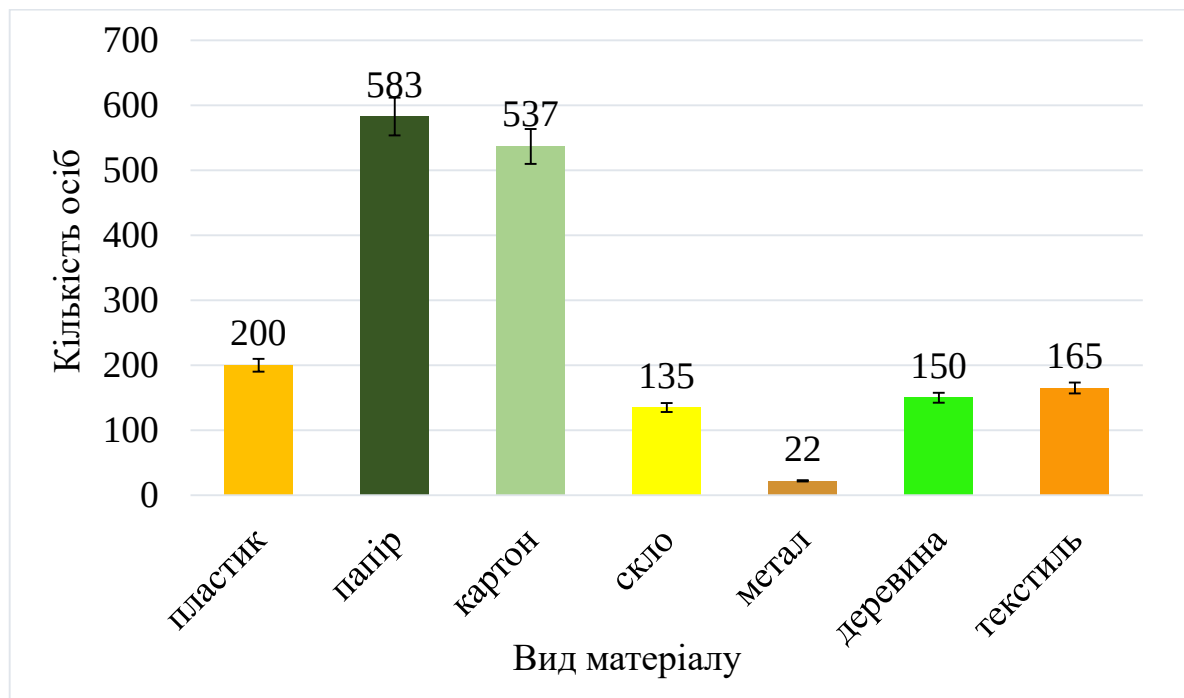


Рис. 1.6. Уподобання пакувань респондентами з урахуванням виду пакувального матеріалу [80]

Більшість опитаних респондентів (83,3%) надають перевагу захисному пакуванню, проте звертають увагу на його екологічність (також 83,3%). Результати аналітичного дослідження [81] свідчать про те, що у 2024 році світовий ринок фотопаперу оцінюється в 1,52 млрд доларів США, а до 2032 року прогнозується, що ця сума зросте до 2,03 млрд доларів США, що свідчить про середньорічний темп зростання (CAGR) 3,7% протягом прогнозованого періоду. Лідерами у виробництві чорнила та фотопаперу є компанії: Fujifilm, Kodak, Special Paper Technology, Canon, China Lucky, ColorWay, Hewlett-Packard (HP), Polaroid, Shantou Xinxie, ILFORD Imaging Europe, Epson, Brother, Polaroid, Hahnemühle, FOMA BOHEMIA, ADOX Fotowerke [82].

У роботі [83] представлена узагальнена класифікація фотопаперу, яка ґрунтується на аналізі ринку України та новітніх розробках провідних країн. Розвиток цифрових технологій сприяє розвитку поліграфічного процесу, оскільки більшість фотостудій і комерційних підприємств перейшла до способу створення зображення прямим друком, зокрема струминним. Автори дослідили, що розвиток фотопаперу розпочався зі створення спеціального всмоктуючого покриття, тому найпростіший фотопапір має двошарову структуру (всмоктуючий шар, папір) (рис. 1.7а). Подальший розвиток технологій цифрового друку та розширення їх застосування призвели до підвищення вимог до якості фотопаперу, а також до необхідності адаптації властивостей і структури фотоматеріалу до різних умов і тривалості використання. Сучасний фотопапір складається з кількох шарів, структура яких зображена на рис. 1.7б.

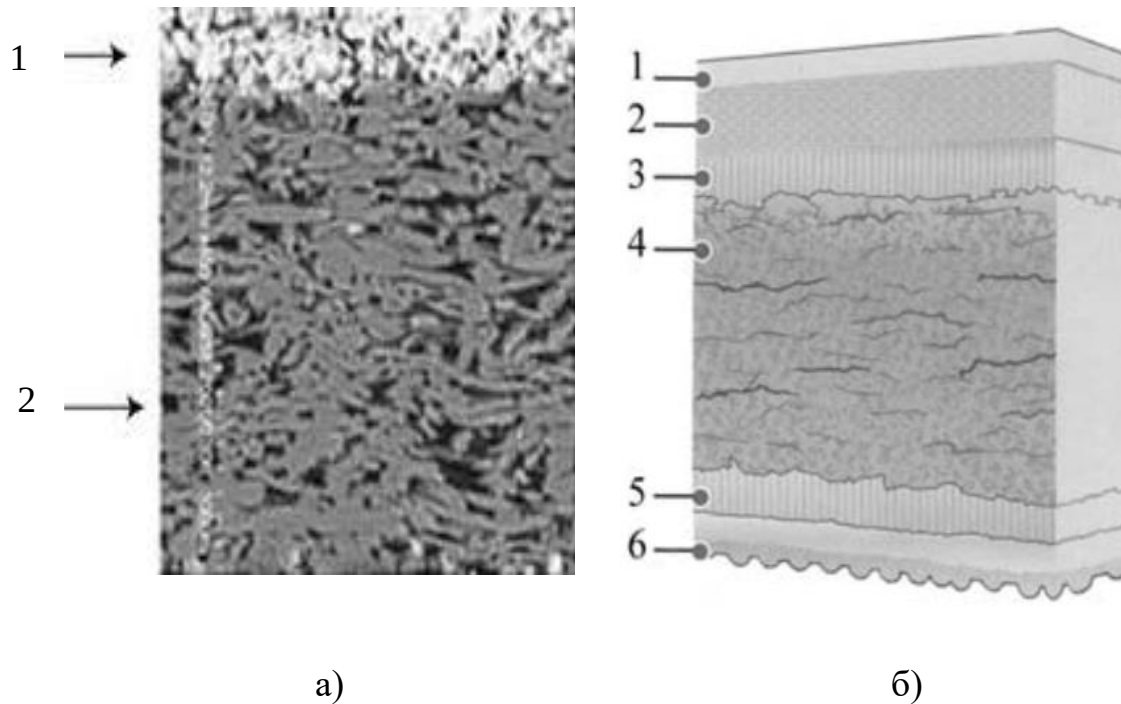


Рис. 1.7. Зрізи структури двошарового (а) фотопаперу: 1 – всмоктуючий шар; 2 – папір; багат шарового фотопаперу (б): 1 – відтворюючий шар; 2 – поліетиленовий шар; 3 – паперова основа; 4 – поліетиленовий шар; 5 – нижній шар; 6 – шар основа [83]

Фотопапір, як і будь-який інший матеріал, має різні характеристики, які впливають на якість друку. Основними параметрами є тип покриття, товщина і щільність. Існують інші фактори, які впливають на вибір фотопаперу для струменевих принтерів. До таких параметрів належать: формат паперу, який може бути 9x13 см, 10x15 см, А5, А4 або А3; виробник; кількість аркушів у пакуванні. Вибір поверхні фотопаперу для струменевого друку залежить від типу чорнила, характеристик зображення, зокрема слід враховувати водорозчинне чи пігментне чорнило, наведено в табл. 1.3 [84].

Таблиця 1.3

Вибір поверхні фотопаперу [84]

Параметри	Матовий фотопапір (Matte)	Глянцевий фотопапір (Glossy)	Преміум Мікропориста (Super Glossy, Silk, Satin)
1	2	3	4
Тип чорнила:			
Водорозчинні	+	+	+
Пігментні	+	*	+
*Під час друку пігментним чорнилом на глянцевому папері рекомендовано просушувати			
	Матовий фотопапір (Matte)	Глянцевий фотопапір (Glossy)	Преміум Мікропориста (Super Glossy, Silk, Satin)
Фотографії, яскраві зображення		+	+
Графіка, тексти	+		
Рекламна продукція	+	+	+
Професійний фотодрук			+
Фото на документи			+

Відмінною особливістю фотопаперу від паперу є його багат шарова структура та наявність спеціального покриття. Фотопапір має захисний шар, який запобігає вбиранню вологи. Це дозволяє фарбі під час друку швидко

висихати і залишатися на поверхні паперу, що забезпечує чіткість зображення та запобігає його розмазуванню.

Розрізняють такі типи фотопаперів: глянцевий, матовий, напівглянцевий, які мають різну пористість та вбирну здатність чорнил, що може впливати на адгезію плівки при ламінуванні [85]. Характеристики фотопаперів наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Характеристики фотопаперів

Тип фотопаперу	Характеристики
Фотопапір з глянцевою поверхнею	Створює яскраві та контрастні насичені зображення з особливим блиском. Надруковані чорнилом на ньому зображення захищені від вицвітання, що забезпечує їхню довговічність.
Матовий фотопапір	Використовується для друку зображень з дрібними графічними елементами, забезпечує точну передачу деталей з високою роздільною здатністю.
Напівглянцевий фотопапір	Забезпечує високу якість зображень та їхню зносостійкість.

Фотопапір використовують не лише для друку фото, а й для виготовлення альбомів, календарів, портфоліо, сувенірної продукції тощо.

У статті [86] досліджено методи оздоблення фотографії за допомогою ламінування, а також проведено випробування за допомогою прискореного старіння у світлі та темряві. Виявлено, що ламіновані відбитки з ультрафіолетовим випромінюванням сповільнюють вицвітання зображень.

Таким чином, здійснений аналіз ринку показав, що для процесів оздоблення методом ламінування інтенсивно використовується папір і картон, а

також відбитки на них, отримані офсетним, флексографічним та цифровим друком.

Ламінування відбитків стало звичним явищем у сучасній поліграфії. Адже плівки не лише захищають зображення від вологи та механічних пошкоджень, але й покращують їх естетичний вигляд. Під час припресування формується система «папір – плівка», властивості якої залежать від багатьох технологічних факторів, зокрема умов формування адгезійного контакту між адгезивом і субстратом.

Оскільки методи ламінування набирають популярності на ринку оздоблення продукції, важливо визначити фактори, що впливають на якість ламінування. Аналіз літератури показав, що вчені виявили такі чинники, як товщина, гладкість, маса паперу, наявність фарбового шару та спосіб друкування відбитку, які впливають на якість ламінування. Проте для практиків залишаються не до кінця з'ясованими деякі технологічні режими ламінування [51].

Під час ламінування використовуються плівки з поліетилентерефталату, полівінілхлориду та поліпропілену, які мають різні показники механічної та адгезійної міцності, а також високі показники пружності. Чим товстіша плівка, тим кращий забезпечується захист та жорсткість. Наявність термопластичного шару робить ці плівки придатними до термічного зварювання та з'єднання з різними матеріалами, такими як папір, тканина тощо. Плівки для ламінування товщиною від 18 до 250 мкм. [41, 87].

Склад плівки для ламінування визначається співвідношенням клейового і безклейового шарів. З цим співвідношенням пов'язана проблема якості плівки. Безсумнівно, що якість припресування до паперу або відбитків, а також експлуатаційні характеристики готової продукції значною мірою залежать від властивостей паперу, його гладкості та мікроструктури поверхні. Папір є дисперсною системою, що складається з волокнистої сітки. За допомогою оптичної мікроскопії можна визначити, як кількість вузлів у цій сітці впливає на пористість паперу. Під час припресування полімерної плівки з поліетиленовим

покриттям до паперової основи відбувається взаємодія між розплавленим поліетиленом і поверхнею волокон [88].

Припресування плівки може здійснюватися клейовим, безклейовим способом або шляхом перенесення плівки на основу. Клейовий метод передбачає з'єднання полімерних плівок, на які під час процесу нанесено клейовий шар для з'єднання з папером або відбитком. Цей процес здійснюється при високих температурах і тисках, які регулюються відповідно до технологічних вимог конкретного обладнання. Полімерні плівки, що застосовуються для припресування, повинні мати стабільну товщину, термостійкість, вологостійкість, а також високі фізико-механічні властивості і прозорість. Безклейовий метод полягає у з'єднанні віддрукованої продукції з термопластичними полімерами або плівками. У цьому випадку використовуються полімерні матеріали з високою міцністю, а термочутливий шар складається з поліетилену, який наносять у розплавленому вигляді [18].

При ламінуванні поліграфічної продукції використовують різноманітні плівки. Види плівок для ламінування наведено в табл. 1.5 [89].

Таблиця 1.5

Види плівок для ламінування [89]

Плівки для ламінування	Плівки для гарячого ламінування	Плівки для холодного ламінування	Спеціальні плівки для ламінування
Розміри	A4, A3.	Доступний у більшій ширині для виробів великого формату.	Розмір залежить від спеціального застосування.

Продовження таблиці 1.5

Стійкість до розриву	Висока стійкість до розриву завдяки нагріванню.	Помірна стійкість до розриву.	Спеціальні плівки можуть бути адаптовані для високої стійкості.
Матеріал	Поліпропілен або поліестер.	Вініл або пластик.	Різноманітні матеріали для специфічних потреб, наприклад, голографічні, металеві.
Вплив на навколишнє середовище	Деякі з них підлягають вторинній переробці, але при нагріванні використовується енергія.	Зазвичай менш екологічні через використання більш міцних матеріалів.	Варіюється, деякі можуть бути дуже екологічними або дуже специфічними.
Умови зберігання	Зберігати в прохолодному сухому місці.	Стійкий до різноманітних умов зберігання.	Умови зберігання залежать від типу плівки.
Переваги	Довговічне, високоякісне покриття, економічно вигідне.	Ідеально підходить для чутливих предметів і має широкий спектр застосування.	Легко налаштовується під конкретні потреби.
Недоліки	Потребує нагрівання, не підходить для термочутливих предметів.	Не така якісна обробка, може бути дорожчою.	Може бути дорогим, не таким легкодоступним.

За текстурою зовнішнього шару можуть використовуватися кілька видів плівки, серед яких основними є: глянцева, матова та Soft Touch. Глянцева

ламінація надає виробам додаткового блиску, відбиваючи світло, робить кольори більш яскравими та насиченими. Матова ламінація є найпопулярнішою та універсальною. Вироби з таким покриттям трохи приглушують кольори і виглядають більш стримано. Крім того, матова ламінація має приємні тактильні властивості, не блищить на світлі та ефективно захищає від дрібних подряпин. Ламінування Soft Touch – це технологія, яка передбачає використання спеціальної плівки, що надає поверхні бархатисту текстуру. Це забезпечує приємні тактильні відчуття, схожі на дотик до м'якого матового бархату або шкіри [90].

За технологією розрізняють холодну ламінацію, гарячу ламінацію та ламінацію з використанням ультрафіолетового випромінювання. Холодне ламінування відбувається за кімнатної або трохи підвищеної температури (зазвичай 30–40 °C) з використанням клеїв, чутливих до тиску (сухе ламінування), або акрилових клеїв на водній основі (мокре ламінування). Для гарячого ламінування використовуються клеї-розплави. Розплав попередньо наносять на полімерні плівки та активують нагріванням (зазвичай 90–130 °C) [91].

Клеї-розплави – це термопластичні матеріали, які є твердими при кімнатній температурі (без розчинників) і стають липкими при нагріванні. Найчастіше використовуються клеї-розплави на основі полімеру EVA (етилен-вінілацетату). Клеї, що затверджуються під дією ультрафіолету, містять реакційноздатні мономери, олігомери та фотоініціатори. Після впливу ультрафіолету починається реакція полімеризації (переважно вільнорадикальна полімеризація), і рідкий клей за частки секунди переходить у твердий стан, з'єднуючи ламінуючу плівку з відбитком [91].

За звітом компанії Data Bridge Market Research [92] прогнозується, що ринок клеїв для ламінування зросте на 7,25% у період з 2022 по 2029 рік. Крім того, зростаючі вимоги в індустрії пакування харчових продуктів сприятимуть розвитку ринку клеїв для ламінування. Також зростання популярності водорозчинних клеїв та безрозчинникових варіантів відкриє нові можливості для подальшого зростання цього ринку в найближчі роки.

Характеристики клеїв для ламінування розглядаються у роботі [93]. Автори аналізують такі технологічні процеси, як каширування, ламінування та флокування, особливості вибору для них клеїв за певними властивостями.

У роботі [94] досліджується технологія ламінування друкарських відбитків, що використовується при виготовленні книжкових оправ, етикеток, рекламної та офісної продукції, а також паковань. Вони описали методи дослідження плівок і ламінованої продукції, особливості ламінування фотографій і широкоформатних відбитків, плівки та клейові композиції, які застосовуються для виготовлення багатошарових комбінованих матеріалів.

Оцінювання кольоровідтворення на відбитках, отриманих за допомогою цифрового друку з подальшим ламінуванням розглянуто в роботі [95]. Підтверджено, що колірні координати L^* , a^* , b^* структурованого паперу після ламінування з різними технологічними параметрами не відповідають значенням, вказаним у стандарті ISO 12647. Основним фактором, що впливає на якість кольоровідтворення в цифровому друці, є колір та властивості поверхневого шару паперу, а також фізико-хімічні характеристики фарб і пігментів, що містяться в їх складі [96 – 99]. Зокрема, виявлено, що показник колірних характеристик поверхні та тип його структури суттєво впливають на якість передачі кольору на відбитку [100, 101].

У представлених та інших публікаціях [102, 103] спостерігається відсутність зв'язку між візуальним сприйняттям і оптичною щільністю півтонових зображень, що ускладнює встановлення взаємозв'язку між зоровою системою та оптичною щільністю друкованих зображень.

Дослідження авторів [104] зосереджене на впливі технологічних факторів на кольоровідтворення картонного пакування. Використання ламінаційної плівки для покращення зовнішнього вигляду продукції призводить до зміни кольору від початкового вимірювання.

1.4. Аналіз причин появи дефектів ламінування і методи їх усунення

У процесі ламінування відбитків можливе виникнення дефектів (табл .1.6), які негативно впливають на кінцевий вигляд ламінованої роботи. Дефекти під час процесу не тільки впливають на кінцевий візуальний ефект роботи, але й можуть призвести до її руйнування. На якість ламінування також впливають такі фактори, як склад шару, яким покритий папір або картон.

Важливим є також тип ламінатора та його характеристики. Зокрема, температура: неправильно встановлена температура може призвести до недостатнього склеювання плівки, утворення бульбашок або пошкодження відбитка. Швидкість також має значення: надто висока або низька швидкість може негативно вплинути на якість склеювання. Рівномірний тиск забезпечує якісне прилягання плівки до відбитка, а також валики, які забезпечують рівномірне нанесення плівки на відбиток.

У процесі ламінування важливим є підготовка відбитка: (він повинен бути чистим, сухим та без пилу; рівномірно розміщеним у ламінувальному пакеті або під плівкою; важливо видалити зайве повітря між плівкою та відбитком, щоб уникнути утворення бульбашок. Для запобігання деформації заламінований відбиток повинен бути охолодженим.

На якість ламінування впливають також зовнішні фактори, такі як вологість (висока вологість може негативно вплинути на адгезію), температура навколишнього середовища (екстремальні температури можуть вплинути на якість ламінування), а також неправильне зберігання ламінованих відбитків ,що може призвести до пошкодження ламінації з часом.

Врахування всіх цих факторів є важливим для отримання якісно заламінованих відбитків, які будуть довговічними та матимуть привабливий вигляд.

Таблиця 1.6

Причини появи дефектів ламінування та методи їх усунення

Назва	Дефекти	Причина	Спосіб усунення
Поява „пухирів”	- плівка не прилягає до основи; - під плівку потрапляє повітря	- надмірне припудрювання аркуша; - занадто низький тиск каландра; - занадто висока швидкість машини	- збільшення часу висихання аркушів після друку; - збільшення тиску; - зменшення швидкості машини
Розшарування	- плівка відділяється від основи разом з фарбою	- нестійкі до розчинників і лугів	- збільшення часу між друком і ламінуванням
Розшарування	- відшарування плівки	- неправильний поверхневий натяг плівки; - використання порошоків для запилення відбитків	- перевірка стійкості друкарських фарб до розчинників і лугів відповідно до DIN 16524
Відшарування плівки на згинах	- відшарування плівки на згинах	- недостатній тиск каландра; - невідповідне фальцювання та контрфальцювання	- збільшення часу між друком і ламінуванням; - зміна фарб відповідно до вимог

Продовження таблиці 1.6

Відклеювання плівки від ламінованого аркуша	- відклеювання плівки з ламінованого аркуша	- використання дисперсійного лаку для захисту друку	- для захисту друку використовувати грунтовий, а не дисперсійний лак
Відшарування плівки, включаючи покриття підкладки	- відшарування плівки з нанесенням покриття	- занадто крихке паперове або картонне покриття	- нанесення лаку під плівку для захисту аркуша
Відшарування плівки разом із друкарською фарбою	- відшарування плівки разом із друкарською фарбою	- використані невідповідні фарби; - недосушені фарби покриті дисперсійним лаком	- використання відповідних фарб; - збільшення часу висихання фарб
«Апельсинова шкірка»	- гофрування плівки на поверхні друку	- шар клею занадто товстий; - натяг полотна занадто слабкий; - температура занадто низька або тиск каширувальних валів занадто низький	- регулювання натягу плівки; - контроль температури та тиску каширувальних валів

До найпоширеніших помилок при ламінуванні також належать замалі або завеликі поля плівки. Якщо поле занадто широке, плівка може стати хвилястою,

що негативно впливає на її зовнішній вигляд. Рекомендована ширина поля для точного ламінування – 3 мм. Ще одна помилка – неправильне розтягування плівки. Для визначення оптимального натягу плівки проводиться пробне ламінування. Якщо плівка натягнута занадто сильно, вона може стиснутися в процесі ламінування, створюючи ефект апельсинової кірки. І навпаки, занадто слабке натягнення призведе до появи брижів на ламінованій поверхні. Ще один фактор, який може спричинити появу зморшкуватих ділянок, – це занадто швидке проходження ламінованого відбитка через каландрові вали. Щоб запобігти такому типу помилок, рекомендується заламінувати кілька тестових аркушів, щоб перевірити правильність роботи [105, 50].

Основна проблема полягає в гіршій адгезії плівок для ламінування та через в частковому або повному розшаруванні, яке може виникнути при механічному навантаженні на відбитки. Окрім того, було доведено, що для кожного типу ламінаційної плівки необхідно підібрати відповідні параметри ламінування (температура, тиск, швидкість) і, при необхідності, відрегулювати їх під конкретний тип відбитка (принтер, тип тонера) [91].

Важливо також визначити адгезійну міцність зчеплення між плівкою та відбитком, а також провести випробування на розрив та продавлювання [106 – 109]. Проведення хімічного аналізу складу матеріалів і їх стійкості до різних хімічних речовин, включаючи розчинники, забезпечує надійність використання ламінованих відбитків. Важливим є вимірювання вмісту вологи у ламінованих відбитках для оцінювання їх поведінки в умовах підвищеної вологості [110, 111].

Дослідження [112] показали, що між структурними показниками картону та його жорсткістю не існує кореляції, що унеможливорює використання маси, густини та пухкості картону як прогностичних показників. Окрім того, було наведено переваги та недоліки ламінування в табл. 1.7 [113].

Таблиця 1.7

Переваги та недоліки ламінування [111]

Переваги ламінування	Недоліки ламінування
Захищає відбиток від подряпин, потертостей і щоденного зносу.	Незначно збільшує вартість готової роботи.
Запобігає вицвітання чорнила на сонці.	Може збільшити час виконання роботи.
Захищає відбитки від розривів і розтріскування.	Продукція не підлягає повній переробці.
Надає відбитку матовий або глянцекий вигляд.	Відтворення кольорів у цифровому друці відрізняється від звичайних методів.
Може використовуватися для додання відбитку певної текстури або блиску.	Утворення бульбашок та зморшок на поверхні.
Збільшує термін служби паковань.	Відшарування та відклеювання плівки, а також знебарвлення відбитку.

Аналітичний огляд сучасних технологій для цифрового друку та ламінування відбитків визначає зростаючу тенденцію до вдосконалення технології ламінування поліграфічної продукції. У сучасних умовах зростає потреба в урізноманітненні видів продукції та її якості в різних сферах виробництва. Цьому сприяє споживчий попит, який змінюється з кожним роком.

Таким чином, аналіз наукових та науково-популярних публікацій підтвердив перспективи розвитку таропакувальної галузі, зокрема ринку паперових і пакувальних матеріалів. За результатами досліджень [114], продукція з паперу та картону показує тенденції до зростання і є одним із найбільших секторів світової економіки, оскільки забезпечує екологічність, безпечність для споживачів та навколишнього середовища, піддається повному рециклінгу і легко оздоблюється різноманітними методами.

Висновки до розділу 1

1. На основі аналізу літературних і науково-технічних джерел охарактеризовано сучасний стан та тенденції розвитку технологій оздоблення поліграфічної і пакувальної продукції з паперу, фотопаперу і картону методом ламінування в Україні та світі.
2. Наведено характеристику устаткування та технологій для ламінування друкарських відбитків; окреслено їх переваги і недоліки; охарактеризовано ринок паперових і пакувальних матеріалів, а також характеристики плівок для ламінування.
3. Здійснено аналіз наукових досліджень технологій оздоблення друкованої продукції ламінуванням, розроблено класифікацію можливих дефектів ламінування, причин їх появи та методів їх усунення.

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Об'єкти дослідження

У ролі об'єктів дослідження були вибрані відбитки цифрового друку, отримані на папері UPM Digi Color – 300 г/м², фотопапері Fujicolor Crystal Archive Digital Paper Type DP II фірми Fujifilm – 200 г/м² та Barva серії Original 200 г/м², картоні Arktika GC-1 – 300 г/м².

Папір UPM Digi Color відноситься до чистоцелюлозних каландрованих паперів без покриття, спеціально розроблених для високоякісного цифрового друку. Даний папір має гладку поверхню з високою білизною, що дає можливість при друку отримувати яскраві, чіткі зображення з насиченими кольорними відтінками та ідеальним контрастом [115].

Фотопапір Fujicolor Crystal Archive Digital Paper Type DP II [116] на основі галогенідів срібла відрізняється підвищеною щільністю основи і шорсткістю, призначений спеціально для цифрового струменевого кольорового друку.

Фотопапір Original Barva – це папір преміум якості для струменевого друку. Сировина для фотопаперу цієї серії випускається в Німеччині. Друкування відбитків здійснювалося на принтері Epson. Глянцевий фотопапір серії Barva Original сумісний як з водорозчинним, так і з пігментним чорнилом і має спеціальне глянцеве еко-покриття, яке швидко вбирає чорнило і захищає відбиток від зовнішніх впливів [117, 118] (рис. 2.1.).

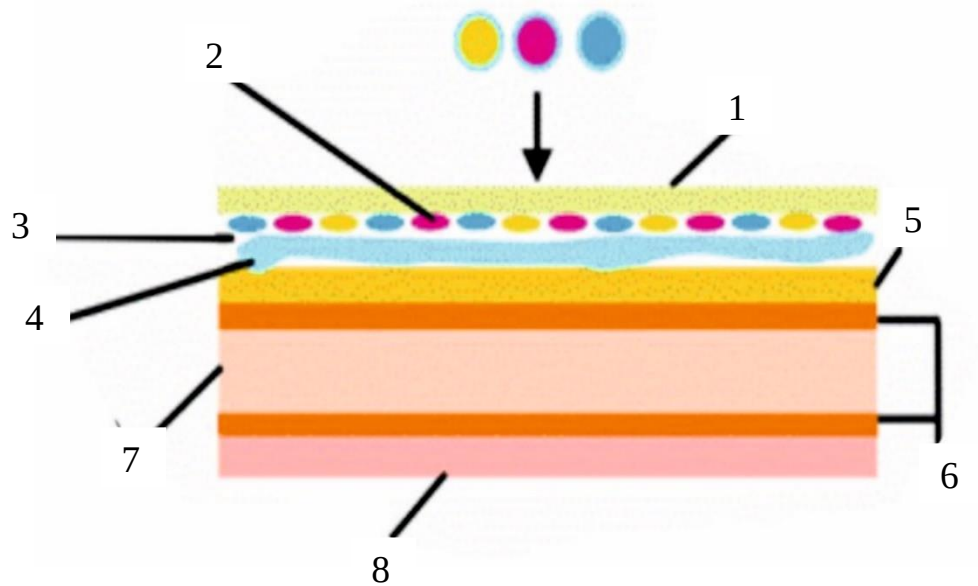


Рис. 2.1. Структура фотопаперу [118]: 1 – Захисне покриття; 2 – Барвник;
 3 – Приймаючий набухаючий шар; 4 – Вода; 5 – Ґрунтувальний шар;
 6 – Захисне покриття (поліетилен); 7 – Основа;
 8 – Притискаючий шар

Картон Arktika GC-1 складається з первинної целюлози з двошаровим покриттям на лицевій стороні та світлим покриттям на звороті [119] (рис. 2.2).

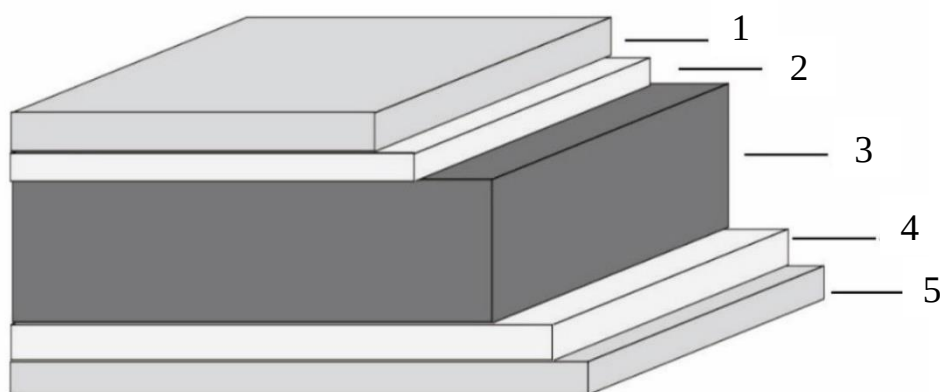


Рис. 2.2. Структура картону Arktika GC-1 [119]: 1 – Подвійне покриття;
 2 – Вибілена хімічна целюлоза; 3 – ВСТМР/СТМР (вибілена хіміко-термомеханічна целюлоза хіміко-термомеханічна целюлоза);
 4 – Вибілена хімічна целюлоза; 5 – Одношарове покриття

Технічні характеристики паперів та картонів наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Технічні характеристики паперів і картону

Технічні характеристики		UPM Digi Color Laser	Fujicolor Crystal Archive DP II	Barva (Original)	Arktika GC-1
Параметри	Одиниці вимірювання	Показник	Показник	Показник	Показник
1	2	5	5	4	6
Тип покриття	—	Глянцеве	Глянцеве	Глянцеве	Глянцеве
Щільність	г/м ²	200	200	200	200, 300
Білизна CIE	%	-	-	165	Верх 91 ± 1 Низ >70
Розмір паперу	—	аркуші	рулон	аркуші	аркуші
Друк	—	лазерний/струменевий односторонній	лазерний/ односторонній	струменевий/односторонній	лазерний/ односторонній
Виробник	—	Німеччина	Fujifilm	Німеччина	International Paper

Цифрові тестові відбитки отримували лазерним друком на цифровій машині Ricoh Pro C751, та фотомашині Noritsu QSS та струменевому принтері Epson WorkForce WF – 7110 у виробничих умовах.

Для ламінування досліджувальних відбитків використовували рулонні ламінатори RL360 і Foliant 520.



Рис. 2.3. Загальний вигляд ламінатора RL 360 [120]

Рулонний ламінатор RL 360 (рис. 2.3) дозволяє виконувати одно- та двосторонню ламинацію методом гарячого ламінування всіх видів друкованої продукції, включаючи відбитки цифровим друком та на фотопапері [120].



Рис. 2.4. Загальний вигляд ламінатора Foliant 520 [121]

Ламінатор Foliant [121], дозволяє виконувати односторонню ламинацію відбитків, отриманих лазерним або струменевим принтером, на папері щільністю від 115 до 350 г/кв. м. Загальний вигляд ламінатора Foliant зображено на рис. 2.4. Технічні характеристики ламінаторів наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Технічні характеристики ламінаторів

Технічні характеристики ламінаторів		RL360	Foliat 520
Параметри	Одиниці вимірювання		
1	2	3	4
Тип	-	Рулонний	Рулонний
Площа ламінування	-	A3+	B2
Метод ламінування	-	Холодний та гарячий	Гарячий
Граматура паперу	г/м ²	115-350	115-350
Товщина плівки	мкм	24-250	24-250
Максимальна ширина ламінування	мм	330	520
Температура нагріву валів	°C	0-180	0-180
Час нагрівання	хв	8	5
Виробник	-	Китай	Чехія

Для оздоблення досліджувальних відбитків використовували рулонні ламінаційні плівки гарячого типу Lamiroll Glossy та Cosmo.

Для ламінування застосовували Lamiroll Glossy [122] — поліпропіленову плівку, спеціально призначену для відбитків цифрового друку. Плівки містять певну товщину клейового шару, формула клейового складу забезпечує якісну ламінацію відбитків будь-якої складності. Технічні характеристики плівки для ламінування представлені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Технічні характеристики плівки Lamiroll Glossy

Технічні характеристики плівки	Одиниці вимірювання	Lamiroll Glossy
1	2	3
Тип плівки	-	глянцева
Тип упаковки	-	рулон
Товщина	мкм	24
Тип ламінування		гаряче
Додаткова властивість	-	BOPP
Допустима температура	°C	100 – 125
Виробник	-	Lamiroll, Китай
Габарити	мм/м	320/ 2000
Гарантійний термін придатності	міс	12

Поліпропіленова плівка COSMO [123] являє собою плівку-основу з двостороннього орієнтованого поліпропілену (BOPP), призначену для гарячого ламінування. Одна сторона плівки покрита адгезивом, що забезпечує прилипання плівки до продукції під впливом тиску і температури. Технічні характеристики ламінаційної плівки представлені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Технічні характеристики плівки Cosmo

Технічні характеристики плівки	Одиниці вимірювання	Cosmo (Індія)	Методи тесту
1	2	3	4
Товщина	міс	22 (27мат/глян)	ASTM E 252
Щільність	gr/m ²	22,8 (24,4 мат/глян)	ER-LAB- 001

Продовження таблиці 2.4

Глянцевість	%	95 (10 мат/глян)		ASTM D 2457
Термічна деформація	%	MD	< 4	ASTM D 1204
		TD	< 1	120°C/248°F 5 min
Коронація	Dyn/cm	40		ASTM D 2578
Допустима температура	°C	100-125		ER-LAB-003
Показники тертя до гладкої поверхні	—	0,3		ASTM D 1894
Гарантійний термін придатності	міс	12		-

2.2. Методики досліджень

2.2.1. Методика дослідження денситометричних, колориметричних та експлуатаційних показників якості друкарських відбитків

Оцінку якості кольоровідтворення цифрового друку на різних відбитках здійснювали за тестовими шкалами, що містять тест-об'єкти, призначені для візуального та інструментального контролю. Тестова шкала CMYK та CIE L*a*b була спеціально підготовлена для дослідження якості друку (рис. 2.5).

Денситометричні та колориметричні показники відбитків досліджували на спектроколориметрі SPM 50 фірми GRETAG, який працює у відбитому світлі, визначає оптичну щільність фону і плашок, розтискування (відносну площу) растрових елементів, трепінгу, балансу по-сірому, рівномірності та контрасту друкування. Для проведення колориметричних вимірювань зображень, які спостерігаються з різних відстаней, використовуються стандартизовані кути спостереження 20 та 100 °C [124].

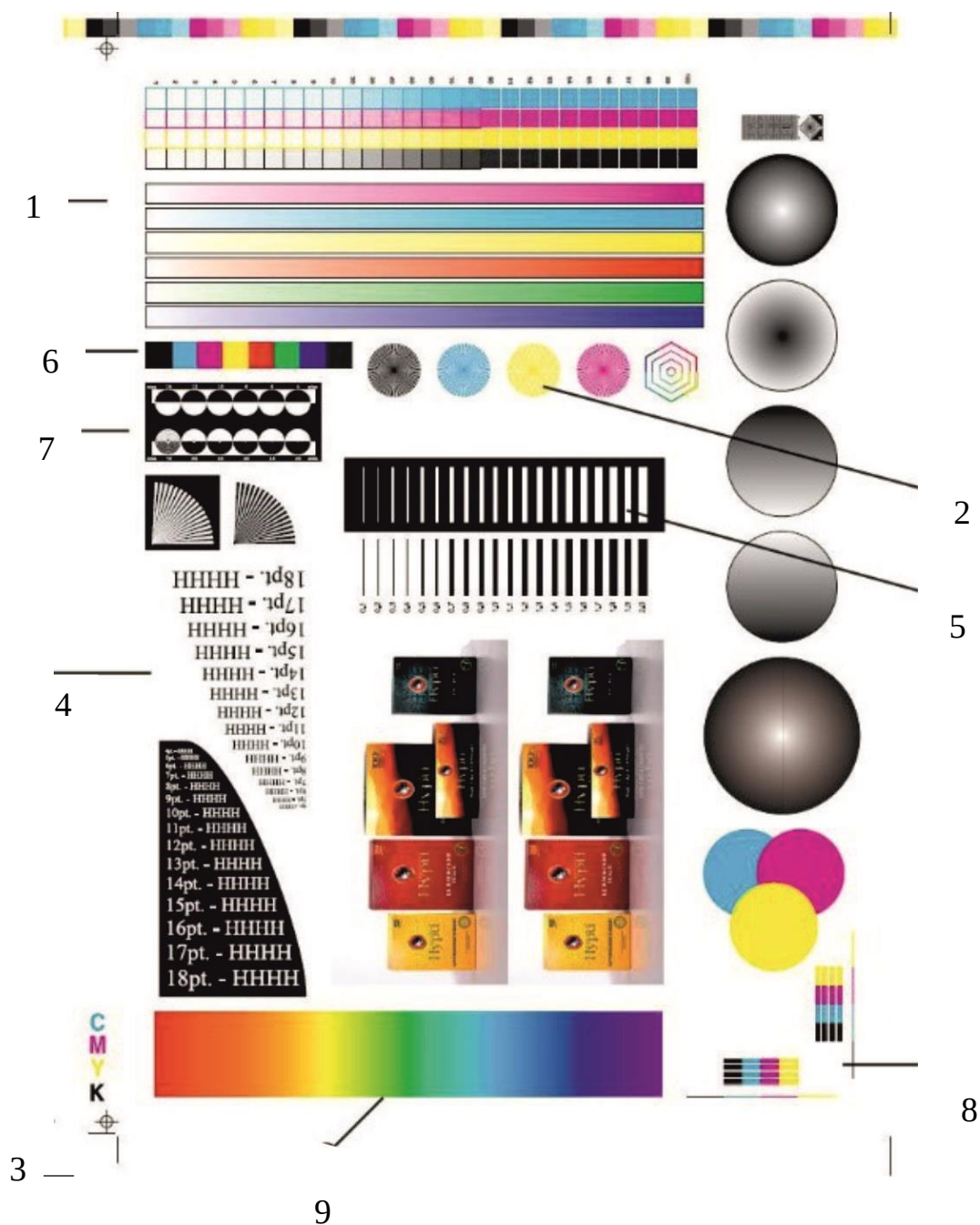


Рис. 2.5. Загальний вигляд тесту шкал: 1 – Тест-об'єкт для визначення показника «Градаційна передача»; 2 – Шкала для контролю ковзання елементів на відбитку у вигляді кружечків із концентричних кіл; 3 – Шкала для контролю суміщення фарб; 4 – Контрольна шкала якості зображення висоти шрифтів на відбитку; 5 – Значення товщини ліній на відбитках (мм); 6 – Денситометричні показники; 7 – Тест-об'єкт для визначення показника «Роздільна здатність»; 8 – Фрагмент зображення для визначення стабільності друку на відбитку; 9 – Неперервний спектр видимого випромінювання

На рис. 2.6 показано шкалу з вимірними полями. Для кожного з чотирьох кольорів було надруковано 9 полів з різним ступенем растрівання. Перше поле – суцільна плашка, наступні поля з різним ступенем покриття поверхні: 90%, 80%, 60%, 50%, 40%, 20%, 10% і чисте не задруковане поле. Кожне поле мало однакові розміри 6×6 мм.

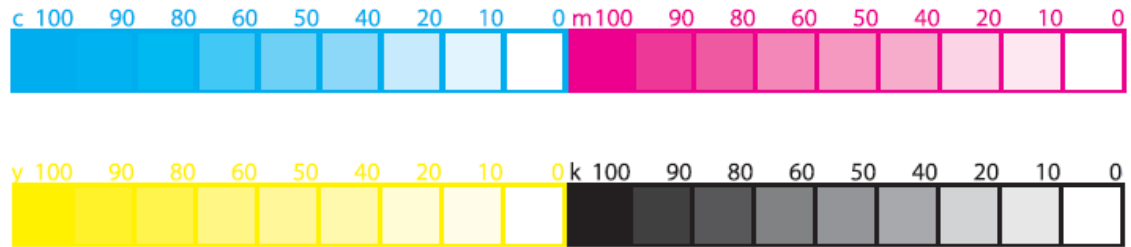


Рис.2.6. Відбиток шкали з вимірними полями

Відомо, що оптична щільність залежить не лише від інтенсивності фарби та її загальної маси у (г/м^2), а також від в'язкості та рівномірності товщини шару, якості поверхні матеріалу, який задруковується, а також від умов друкування.

Для визначення величини кольорів (ΔE) вимірювали координати кольору в системі CIE $L^*a^*b^*$ за допомогою спектроколориметра GRETAG SPM 50.

Різниця кольорів на відбитках була розрахована за такою формулою [125],

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}, \quad (2.1)$$

де ΔE_{ab}^* – різниця кольорів;

L_1^*, a_1^*, b_1^* – середні значення, отримані під час першого виміру;

L_2^*, a_2^*, b_2^* – середні значення, отримані під час наступних вимірів.

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}, \quad (2.2)$$

де ΔL , Δa , Δb – відповідні різниці параметрів порівнюваних кольорів у моделі CIE Lab.

На рис. 2.7 показано графічну інтерпретацію різниці кольорів ΔE^*_{ab} .

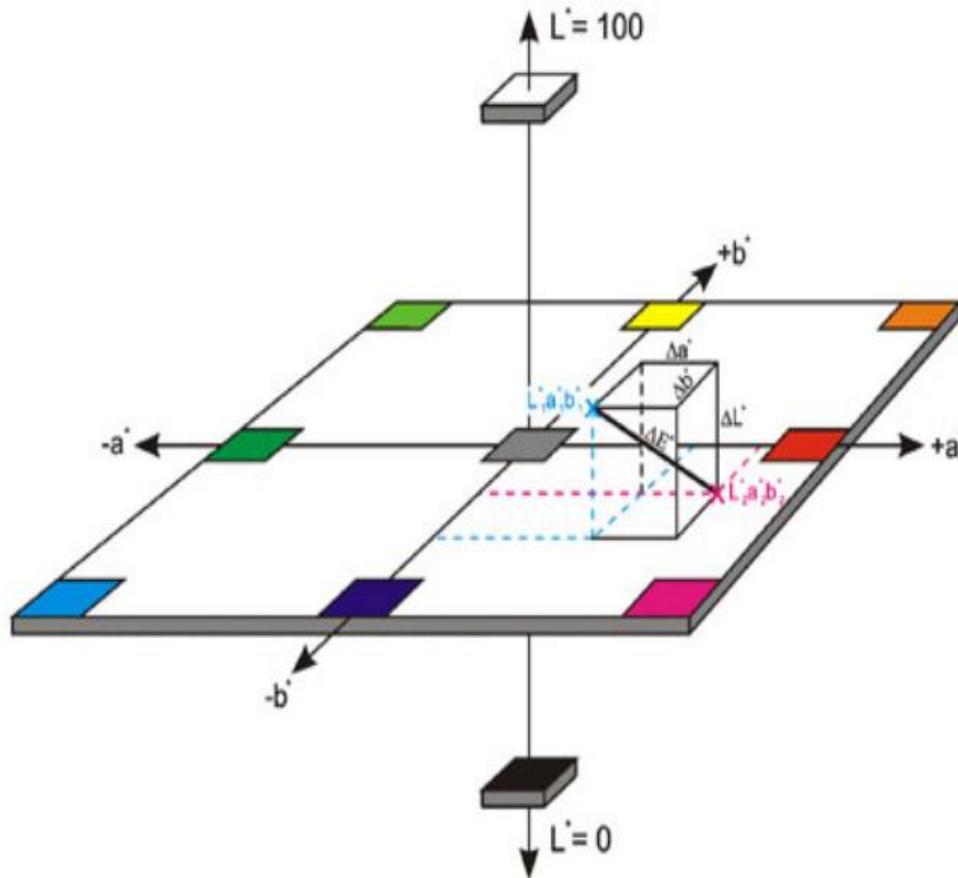


Рис.2.7. Графічна інтерпретація кольорів ΔE^*_{ab} [126]

Всі вимірювання виконано в системі CIEL*a*b* при ілюмінації D50 та куті виміру 20° . Ілюмінант D50 відповідає безпосередньо сонячному випромінюванню і використовується для виміру кольору в поліграфії.

Щоб виключити вплив інших чинників на вимір фарби, виміри виконувалися на чорній підкладці. Отримані результати представлені у вигляді графіків, що ілюструють видимість відхилення кольору ламінованого зразка залежно від товщини плівки та вимірюваного кольору. У табл. 2.5 наведено класифікацію видимості того чи іншого відхилення залежно від отриманого числового значення ΔE^*_{ab} .

Таблиця 2.5

Класифікація відхилень кольору [126]

Розмір відхилення	Видимість відхилення
$0 < \Delta E^*_{ab} < 1$	Невидимі відхилення
$1 < \Delta E^*_{ab} < 2$	Дуже малі відхилення – помітні лише досвідченому спостерігачеві
$2 < \Delta E^*_{ab} < 3,5$	Середні відхилення – помітні і недосвідченому спостерігачеві
$3,5 < \Delta E^*_{ab} < 5$	Яскраво виражені відхилення
$5 < \Delta E^*_{ab}$	Великі відхилення

Для склеювання ламінованих та неламінованих взірців використовували клеї: Duvilax BD-20/46, Devakol VK.

Duvilax BD-20/46 – універсальний клей для склеювання поліграфічної продукції з паперу, картону, мікрогофрокартону [127]. Це гомополімерна дисперсія полівінілацетату у водному середовищі, що містить зовнішній пластифікатор. Емульсійна система складається з неонного емульгатора та полівінілового спирту як захисного колоїду, який біологічно розкладається.

Клей містить: 45% сухих речовин; в'язкість становить 3 000 – 8 000 м Пас (Rheotest) або 4 000 – 32 000 м Пас (Brookfeld RVT, ISO 2555); водневий показник рН знаходиться в межах 3 – 6.

Клей Devakol VK – це дисперсія промислового виробництва на основі желатинового і кукурудзяного крохмалю. Технічні характеристики клею Devakol VK наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Технічні характеристики клею Devakol VK

Технічні характеристики клею		Devakol VK
Параметри	Одиниці вимірювання	
Колір	—	Білий
В'язкість при 25 °С	МПа	4000-6000
В'язкість при 25 °С	с	20-25
Час схоплення	с	20
Вміст сухих речовин	%	50-55
Рівень	рН	≥ 12
Витрати	г/ м ²	8 – 12
Склад	—	Дисперсія желатинового і кукурудзяного крохмалю

Для визначення експлуатаційних показників ламінованих та неламінованих відбитків, а саме міцності на розрив та міцності склеювання, використовували розривну машину РМБ-30-2М (рис. 2.8) [128].

Методика досліджень передбачала вирізування по 5 стрічок з аркуша паперу за допомогою різача розміром 15 × 150 мм. Зразки склеювались суцільною смужкою і з використанням крапкового склеювання.



Рис. 2.8. Загальний вигляд розривної машини РМБ-30-2М

Адгезійну міцність полімерної плівки до відбитків після ламінування визначали методом розшарування на динамометрі типу РМБ-30-2М [129].

В результаті випробувань було зафіксовано максимальне навантаження, яке виникає при руйнуванні ламінованого відбитка. Показники ламінування визначалися як середнє арифметичне значення трьох випробувань. Крім зусилля розшарування ламінованого зразка, визначався тип відділення плівки від відбитка: адгезійний, когезійний або змішаний. У свою чергу, адгезійний тип відділення поділяється на два види: відділення клейового шару і фарбового шару; когезійний тип поділу – на паперовий.

Міцність на стиск повинна бути не менше 20 кПа. Об'єктивним критерієм хорошої адгезійної взаємодії клею з папером і полімерною плівкою є коефіцієнт зміцнення C_s системи папір-плівка.

$$C_s = \frac{F_i}{(F_p + F_f)}, \quad (2.2)$$

де F_i , F_p , F_f – межа міцності на розрив ламінованого відбитка та сировини – паперу та полімерної плівки, відповідно, кПа.

При правильному виборі режимів ламінування коефіцієнт $C_s > 1$. Кручення (деформація) зразка характеризується величиною кутів підйому відносно

горизонтальної поверхні, а також відношенням наближення країв зразка до його середини по всій довжині, а також країв зразка до його середини по всій довжині зразка, вираженим у відсотках. Якість ламінування вважається доброю, якщо величина деформації зразка не перевищує 5%.

Для визначення скручування ламінованих зразків розміром 100x100 мм вирізали і вимірювали висоту піднімання двох протилежних кутів відносно площини столу. За показник ступеня скручування приймали висоту піднімання країв зразка відносно поверхні столу в мм⁻¹.

Для визначення опору продавлюванню ламінованих відбитків використовували установку УК 25-1,6 М (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Загальний вигляд установки УК 25-1,6 М

Опір продавлюванню характеризує здатність відбитка витримувати певні навантаження, що діють перпендикулярно до їхньої поверхні. Дослідження проводилося при температурі повітря – $25 \pm 2^\circ\text{C}$ і відносній вологості повітря – $50 \pm 2\%$ [130].

2.2.2. Методика дослідження топографії поверхні відбитків

Структуру поверхні відбитків досліджувалося на установці AniCam компанії TROIKA Systems Limited (рис. 2.10), оснащений 24-бітною кольоровою

камерою з роздільною здатністю 640×480 пікселів та полем зору від $1,25 \times 0,92$ мм [131].



Рис. 2.10. Загальний вигляд приладу AniCam для вимірювання структури та профілю поверхні відбитків [131]

Профілі поверхні відбитків до і після ламінування визначали на вимірювальній установці Surtronic +3 фірми Taylor–Hobson, оснащеної вимірювальним датчиком з різцем, який пересувається прямолінійно по поверхні відбитку. Опрацьовані комп'ютерною програмою дані представляються як діаграма шорсткості поверхні з точністю вимірювання 2%. Границя вимірів профілометра знаходиться в межах $150 \mu\text{m}$. Вимірювання гладкості складає $0,01 \mu\text{m}$. Визначаються такі параметри шорсткості: R_a – середня арифметична величина абсолютного профілю шорсткості від середньої лінії; R_t – максимальна висота профілю на довжині вимірюваного зразка; R_z – середня величина всіх вартостей R_{ti} (найвища амплітуда) на аналізованій довжині відбитка.

Для дослідження зміни структури взірців після продавлювання використовували мікроскоп Intel Play QX3 [132] (збільшення 10x, 60x і 200x) та 1600 USB Digital Microscope (рис. 2.11) [133].



а)



б)

Рис. 2.11. Загальний вигляд мікроскопів:

а) Intel Play QX3 б) 1600 Digital Microscope

2.2.3. Методика визначення зміни кольору зображень на відбитку під дією сонячних променів

Дослідження стійкості відбитків до впливу прямих сонячних променів денного світла, проводились у режимі реального часу, де вимірювання проводилися із семиденним інтервалом протягом місяця.

Вимірювання блиску надрукованих і ламінованих відбитків передбачає освітлення досліджуваної поверхні спеціальним джерелом світла під певним кутом і вимірювання інтенсивності випромінювання, відбитого від досліджуваної поверхні. Для вимірювань використовувався блискомір ZGM 1020 (згідно з ДСТУ ISO 2813:2015) [134]. Стандарт TAPPI рекомендує використовувати різні кути для вимірювання блиску залежно від типу поверхні: 20° для поверхонь з високим блиском, 45° для паперової промисловості, 60° для поверхонь з середнім блиском, а 75° і 85° – для матових поверхонь паперу та друкарських відбитків.

2.2.4. Методика термогравіметричного дослідження

Термічний аналіз зразків фотопаперу Fujicolor та картону Arktika з ламінацією та без, а також поліпропіленової плівки здійснювали на дериватографі Q-1500D системи “Паулік – Паулік – Ердей” [110, 111]. Реєстрація аналітичного сигналу втрати маси та теплових ефектів здійснювалася за допомогою комп’ютера. Зразки аналізувалися в динамічному режимі з швидкістю нагрівання 5 °C/хв в середовищі повітря. Маса зразків становила 200 мг, а еталонною речовиною був алюміній оксид Al_2O_3 .

2.2.5. Методика визначення оптимальних режимів ламінування відбитків та оптимізації технологічного процесу

Для визначення оптимального режиму ламінування було проведено низку спостережень за експериментально визначеними значеннями зусилля розриву й зусилля продавлювання ламінованих різних типів паперу. Для опису залежності міцності ламінованих відбитків від зусиль розриву й продавлювання, а також від температурного режиму й швидкості ламінування, отримано поліноміальні моделі від чотирьох параметрів, які з задовільною точністю відтворюють значення вказаних вище зусиль. Обчислення значень параметрів цих моделей проводили за алгоритмом, описаним у праці [135]. Поліноміальні моделі будувалися за натуральними значеннями вхідних змінних з діапазонів значень температури ламінування друкарських відбитків: 90 °C, 95 °C, 116 °C, 125 °C, 130 °C, і швидкості ламінування: 2.75 об/хв; 3 об/хв; 3.25 об/хв.

Алгоритм обчислення значень параметрів цих моделей ґрунтується на застосуванні чебишовського наближення функцій багатьох змінних з використанням чебишовського критерію [136].

Особливість чебишовського наближення полягає в тому, що воно забезпечує досягнення найменшої можливої похибки відтворення шуканої залежності при заданій кількості параметрів [137]. Обчислення оптимальних режимів ламінування проводили з використанням пакету Maple де було побудовано поліноміальні моделі [138].

Методика визначення оптимізації технологічного процесу ламінування при оздобленні пакування за допомогою сукупності факторів на якість ламінування за допомогою графу. Було побудовано модель критеріїв, які впливають на якість ламінування відбитків.

Відповідно до методу, який використовується в роботах [139 – 142] основою для побудови матриці є експертна оцінка попарних переважаючих впливів між параметрами, що аналізуються. Це дозволило отримати нормалізовані вагові значення параметрів, які вважаються наближеним розв’язанням задачі оптимізації синтезованих моделей. Завдяки цим значенням лінгвістична інформація перетворюється на числові дані, що, своєю чергою, забезпечує комп’ютерну обробку моделей, пов’язаних із проектування видань, що дозволяє прогнозувати якість відбитка.

Висновки до розділу 2

1. Обґрунтовано вибір об'єктів дослідження, зокрема відбитків цифрового друку, отриманих на: папері UPM Digi Color, фотопапері Fujicolor Crystal Archive Digital Paper Type DP II фірми Fujifilm та Barva серії Original, картоні Arktika GC-1 з двошаровим крейдованим покриттям; поліпропіленових (BOPP) плівок Lamiroll Glossy та Cosmo.

2. Описані методи досліджень топографії поверхні відбитків до і після ламінування з використанням електронної мікроскопії; визначення денситометричних, колориметричних та експлуатаційних показників друкарських відбитків; термогравіметричного аналізу.

3. Описані методи оптимізації технологічного процесу ламінування відбитків цифрового друку та обчислення параметрів поліноміальних моделей з використанням пакету Maple і чебишовського наближення функцій багатьох змінних, яке забезпечує досягнення найкращої точності відтворення результатів спостереження.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕНСИТОМЕТРИЧНИХ ТА КОЛОРИМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЛАМІНОВАНИХ ВІДБИТКІВ ЦИФРОВОГО ДРУКУ

3.1. Дослідження оптичних показників друкарських відбитків до і після ламінування

Результати денситометричних показників (оптичної густини та різниці кольорів) відбитків цифрового друку на папері UPM Digi Color – 300 г/м², фотопапері Fujicolor Crystal Archive Digital Paper Type DP II фірми Fujifilm – 200 г/м² та Barva серії Original 200 г/м², картоні Arktika GC-1 – 300 г/м² до і після ламінування глянцевою поліпропіленовою плівкою (BOPP) наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Денситометричні показники відбитків до і після ламінування

Відбиток на папері	Спосіб друку	Покриття	Маса, г/м ²	Оптична густина, D		Різниця кольорів			
				насичення поля		С	М	Y	K
				50 %	100 %				
UPM Digi Color	лазерний	без ламін.	300	1.08	1.76	1.85	1.68	1.42	1.71
UPM Digi Color	струменевий	без лам.	300	1.35	1.9	1.89	1.7	1.5	1.74
Arktika	лазерний	без лам.	300	0.86	1.43	1.62	1.43	1.31	1.92
Arktika	струменевий	без лам.	300	0.97	1.47	1.65	1.49	1.36	1.98
Fujicolor	лазерний	без лам.	200	0.94	1.56	0.63	0.48	0.57	0.69

Продовження таблиці 3.1

Barva	струменевий	без лам.	200	1.31	1.79	1.85	1.59	1.43	1.78
UPM Digi Color	лазерний	з лам.	300	1.65	2.04	1.82	1.86	1.65	1.89
UPM Digi Color	струменевий	з лам.	300	1.69	2.1	1.83	1.88	1.69	1.91
Arktika	лазерний	з лам.	300	1.47	1.66	2.71	1.93	1.42	2.04
Arktika	струменевий	з лам.	300	1.51	1.69	2.75	1.96	1.45	2.09
Fujicolor	лазерний	з лам.	200	1.24	1.64	0.95	0.62	0.76	0.86
Barva	струменевий	з лам.	200	1.43	1.82	1.93	1.67	1.51	1.79

Аналіз табличних даних показує, що для всіх відбитків після ламінування характерне збільшення значення оптичної густини і різниці кольорів, що пов'язано з використанням глянцевої плівки для ламінування. Показники оптичної густини для відбитків лазерного цифрового друку на папері UPM Digi Color для 100% поля насичення контрольної шкали найбільші та зростають з 1,76 до 2,04. В той час для 100% поля насичення контрольної шкали відбитка струменевому друку на папері UPM Digi Color, оптична густина зростає до 2,1. Отже, глянцева плівка підвищує оптичну густину незалежно від способу отримання відбитка.

За величиною зменшення значень оптичної густини відбитків лазерного друку (для поля насиченості 50%) зразки розміщуються в ряд:

Без ламінування: UPM Digi Color → Fujicolor → Arktika

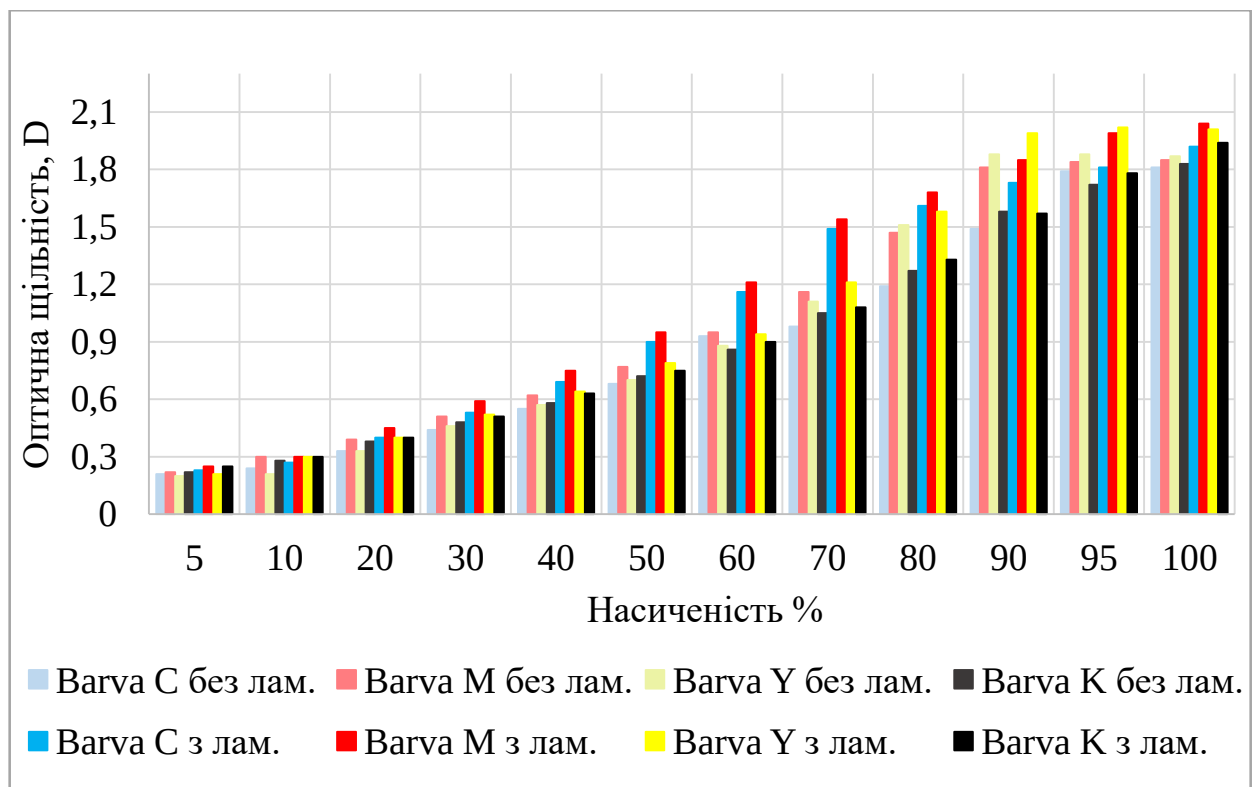
$$1,08 \rightarrow 0,94 \rightarrow 0,86$$

З ламінуванням: UPM Digi Color $\rightarrow$ Arktika $\rightarrow$ Fujicolor

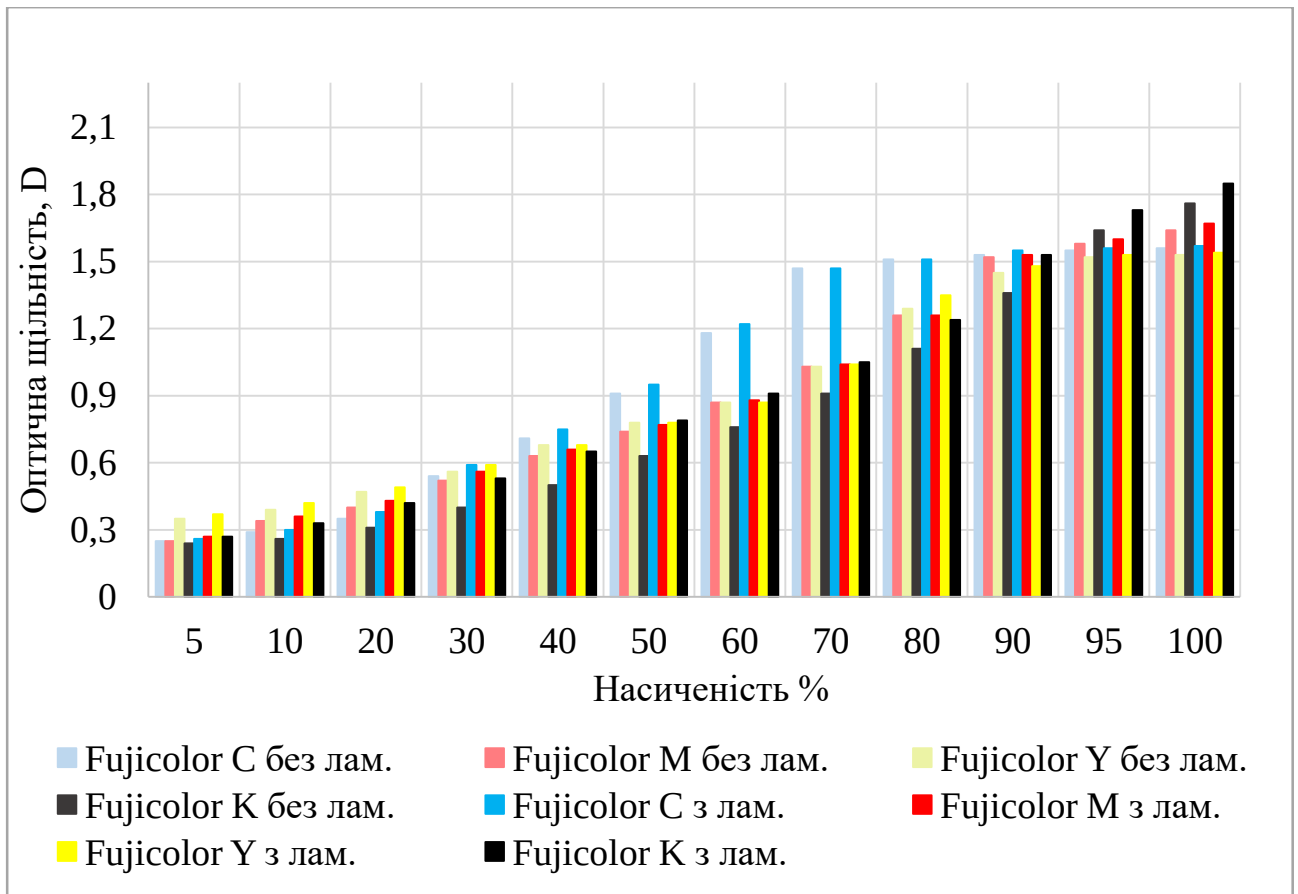
$$1,65 \rightarrow 1,47 \rightarrow 1,24$$

Для ламінованих відбитків струменевого друку величина оптичної густини зростає на 0,34 одиниці (на папері UPM Digi Color), на 0,54 одиниці для відбитка на картоні Arktika, і на 0,12 одиниці для поля насиченості – 50%.

Окрім того, у роботі порівнювались та досліджувались денситометричні та колориметричні показники двох різних видів фотопаперу Fujicolor та Barva. Отримані результати денситометричних досліджень (градаційного перенесення фарб CMYK) на фотопаперах Fujicolor та Barva з граматурою 200 г/м² представлені у вигляді графічних залежностей на рис. 3.1.



а)



б)

Рис. 3.1. Залежність оптичної щільності зображення на відбитках фотопапери:

а) Barva б) Fujicolor

Як видно оптична густина ламінованих лазерних відбитків на фотопaperі Fujicolor зростає з 0.34 до 1.6 (для жовтої фарби при насиченості від 5 до 100%), і відповідно для відбитків струменевого друку на фотопaperі Barva зростає від 0.28 до 1.9. Аналогічна картина спостерігається для всіх кольорів CMYK.

Результати досліджень [98, 143 – 145] градаційної передачі відбитків до і після їх ламінування полімерними плівками показують, що завдяки ламінуванню, як матовому, так і глянцевого, значно покращується тонава передача всіх фарб, а отже, і якість друкованого зображення в цілому.

Дослідження кольорного охоплення дає змогу оцінити максимальну кількість кольорів, отриманих шляхом вимірювання в системі Lab. Діаграма кольорного охоплення для різних матеріалів, а саме відбитків струменевим способом друку на крейдованому папері UPM Digi Color, картоні Arktika,

фотопапері Barva до і після ламінування глянцевою плівкою (BOPP), наведена на рис. 3.2.

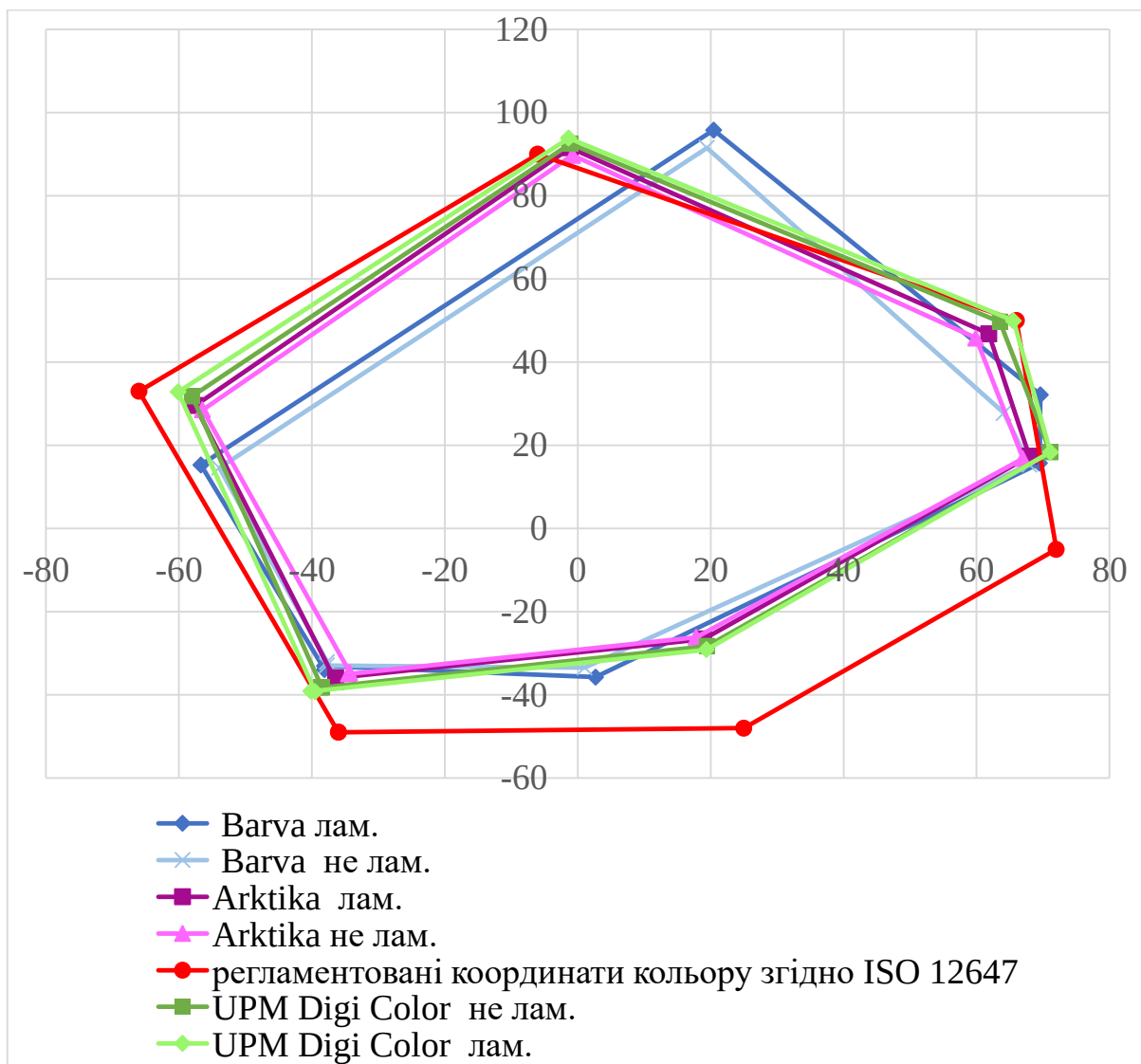


Рис. 3.2. Діаграми колірної охоплення $L^*a^*b^*$ зображення на відбитку струменевого друку

Діаграма колірної охоплення для різних матеріалів, а саме відбитків лазерного друку на крейдованому папері UPM Digi Color, картоні Arktika, фотопапері Fujicolor до і після ламінування глянцевою плівкою (BOPP), представлена на рис. 3.3.

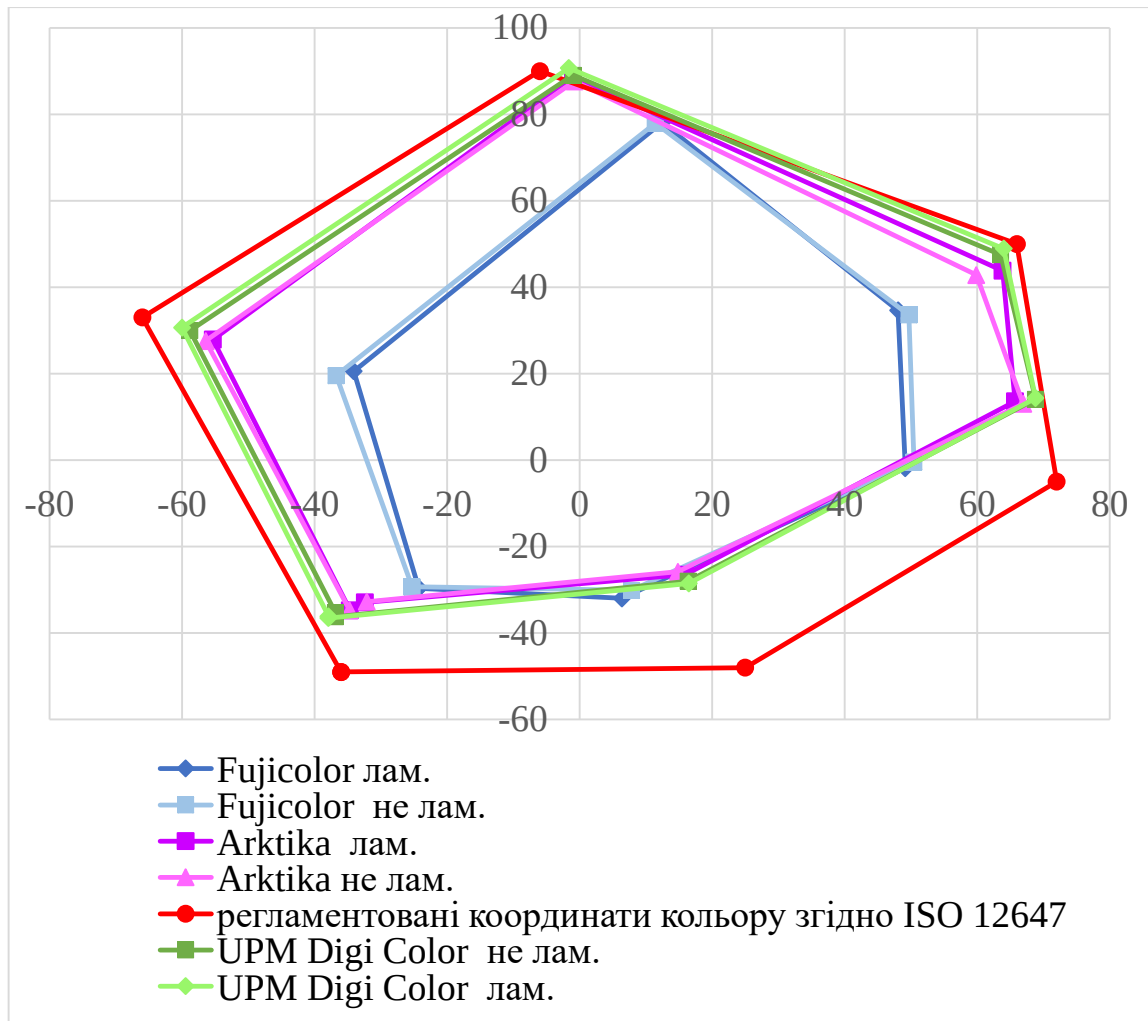


Рис. 3.3. Діаграми колірною охоплення $L^*a^*b^*$ зображення на відбитку лазерного друку

Проведені дослідження оцінки колірною охоплення всіх досліджуваних відбитків свідчать про те, що їх колірні координати не ідентичні та виходять за межі деяких колірних показників та регламентованих даних відповідно до стандарту ISO 12647.

Технологія ink-jet застосовує систему кольорів CMYK, яка складається з трьох кольорів (cyan, magenta, yellow) і кольору black. Неосновні кольори: голубий, зелений і червоний є композицією двох попередніх основних кольорів. У випадку друкування неосновними кольорами на ink-jet на відбитку знаходиться подвійна кількість фарби. Як відомо, велика кількість фарби часто не може бути абсорбована і залишається на поверхні. З цього приводу ламінування основних кольорів дає найбільш високу якість, ніж ламінування

неосновних кольорів для більшості ламінатів. У табл. 3.2 наведена характеристика стійкості задрукованої поверхні основними та неосновними кольорами до відривання.

Таблиця 3.2

Характеристика стійкості до відривання основних та неосновних кольорів

Основні кольори	Стійкість до відривання, кГс	Неосновні кольори	Стійкість до відривання, кГс
Black	1,004		
Cyan	1,035	Голубий	0,689
Magenta	0,980	Зелений	0,519
Yellow	1,107	Червоний	0,786
Середнє значення	1,031	Середнє значення	0,665
Відношення основні і неосновні	1,55		

Для оптимального ink-jet покриття адгезія для кожного основного кольору є практично однаковою. Для фотопаперу при граматурі 200 г/м² стійкість на відривання становить 1 кГс. Стійкість до відривання неосновних кольорів є в 1,55 раза нижчою, ніж основних кольорів. Адгезія до ламінату зростає зі збільшенням граматури, і різниця між основними та неосновними кольорами зменшується.

3.2. Дослідження впливу денного світла на світлостійкість відбитків цифрового друку і ламінатів

Для визначення світлостійкості ламінованих відбитків було проведено порівняння їх кольорових характеристик без ламінування. Аналіз світлостійкості паперової основи (рис. 3.4 – 3.5) показав побачити, що фотопапір Fujicolor

показує більшу різницю кольорів (ΔE^*_{ab}), ніж папір UPM Digi Color. Різниця кольорів збільшується з часом, причому максимальне збільшення спостерігається протягом першого тижня дії УФ-променів, що становить понад 50% кінцевої різниці кольорів.

На графіках нижче представлені криві зміни кольору надрукованих зображень, які визначалися за показниками впливу дії сонячного світла на величину зміни кольору (СМУК) з урахуванням товщини ламінованої плівки.

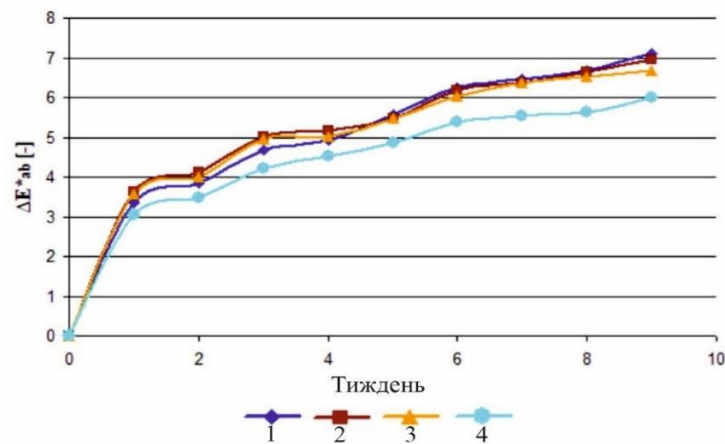


Рис. 3.4. Криві зміни кольору надрукованих зображень на папері UPM Digi Color: 1 – без ламінування; заламінованих плівками різної товщини:
2 – 24 мкм; 3 – 34 мкм; 4 – 50 мкм

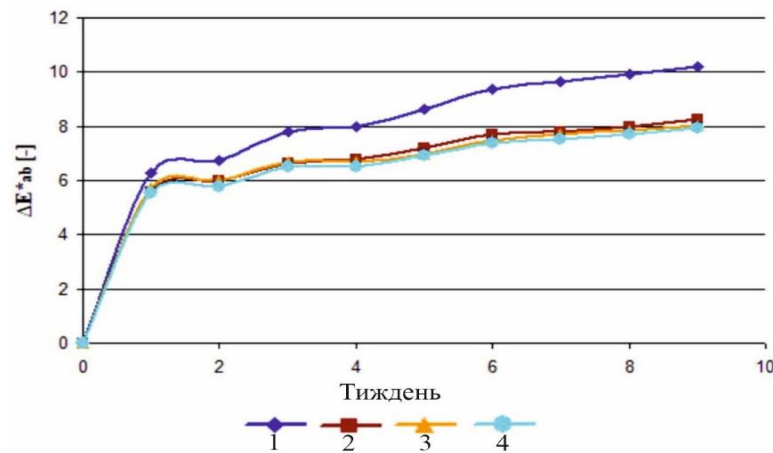


Рис. 3.5. Криві зміни кольору надрукованих і ламінованих зображень на фотопапері Fujicolor: 1 – без ламінування; заламінованих плівками різної товщини: 2 – 24 мкм; 3 – 34 мкм; 4 – 50 мкм

Для відбитка на папері UPM Digi Color найменшу різницю кольорів і, отже, найбільшу світлостійкість показує ламінований відбиток, утворений плівкою з товщиною 24 мкм. Інші товщини плівок показали ті ж самі результати ΔE^*ab протягом всього періоду досліджень.

Відбитки на фотопапері Fujicolor показали найнижчу стійкість до сонячного світла, досягнувши різниці кольорів у 10 після дев'яти тижнів тестування ($\Delta E^*ab = 6.3$ після першого тижня тестування). Для порівняння, відбитки на папері UPM Digi Color досягли аналогічного результату лише на 6-му тижні тестування. Аналізуючи рис. 3.5, можна побачити, що відбиток на фотопапері Fujicolor, покритий плівкою, показав меншу різницю кольорів, ніж неламінований. Значення ΔE^*ab тим менше, чим товстіша плівка, яка використовується в процесі ламінування. Однак ці відмінності незначні.

При аналізі кривих зміни кольору Суап (рис. 3.6 – 3.7) видно, що більші зміни колірних характеристик спостерігалися для зразків, надрукованих у цифровій фотомашині. Для неламінованого паперу UPM Digi Color показник зміни кольору ΔE^*ab після 9-го тижня тестування був вдвічі нижчим, ніж для на фотопаперу Fujicolor.

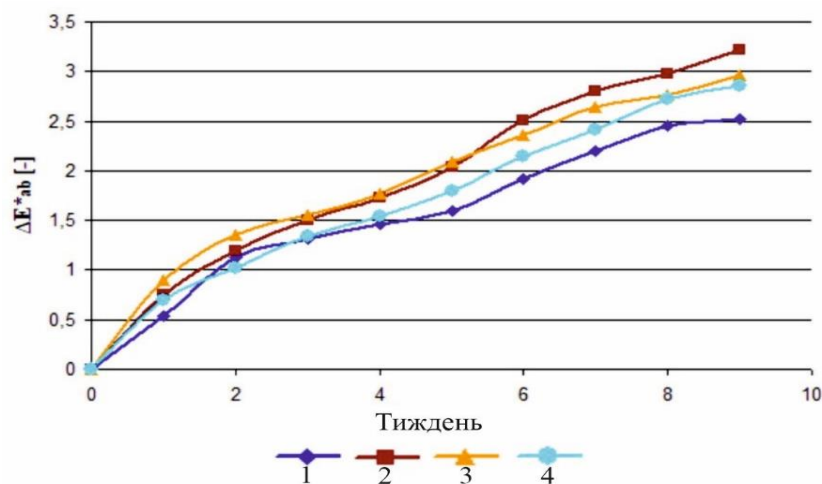


Рис. 3.6. Криві зміни кольору Суап у надрукованому зображенні на папері UPM Digi Color лазерним друком у цифровій машині Ricoh Pro C751:

1 – без ламінування; після ламінування плівками різної товщини: 2 – 24 мкм;
3 – 34 мкм; 4 – 50 мкм

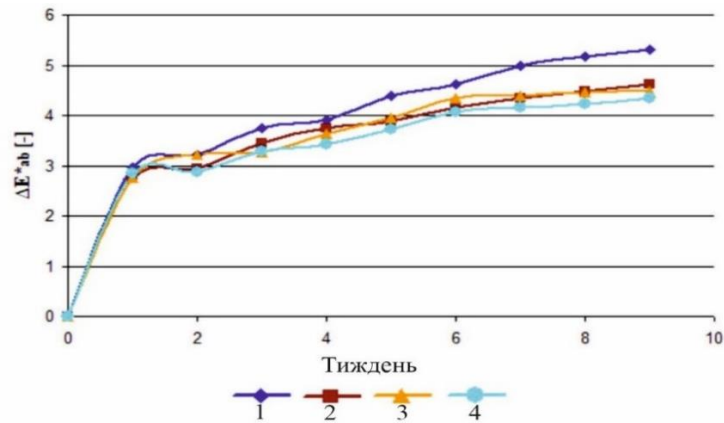


Рис. 3.7. Криві зміни кольору Суан у надрукованому зображенні на фотопaperі Fujicolor у фотомашині Noritsu: 1 – без ламінування; після ламінування плівками різної товщини: 2 – 24 мкм; 3 – 34 мкм; 4 – 50 мкм

Аналіз відбитків, утворених фарбою Суан, показав, що зміна кольору відбувалася відповідно до зміни товщини ламінованої плівки, а саме: зі зменшенням товщини зменшувалася і зміна кольору.

Відбитки, утворені фарбою Суан струменевим друком на принтері Epson показали найменшу різницю кольорів після ламінування. Зі збільшенням товщини плівки значення різниці кольорів зменшувалися.

Аналогічна картина характерна для відбитків, утворених Magenta (рис. 3.8 та 3.9).

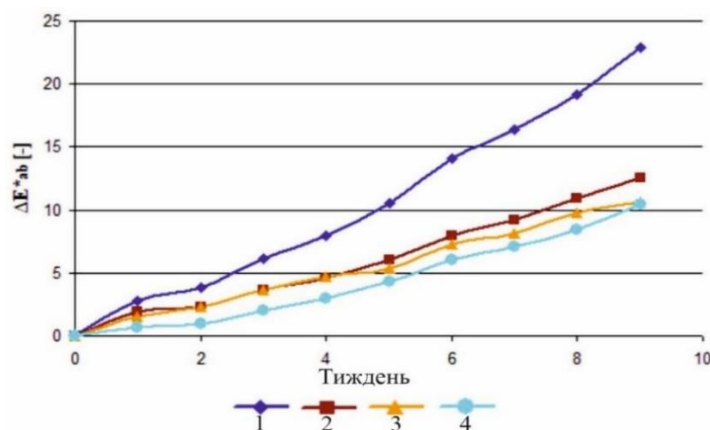


Рис. 3.8. Криві зміни кольору Magenta у надрукованому зображенні на папері UPM Digi Color: 1 – без ламінування; після ламінування плівками товщиною: 2 – 24 мкм; 3 – 34 мкм; 4 – 50 мкм

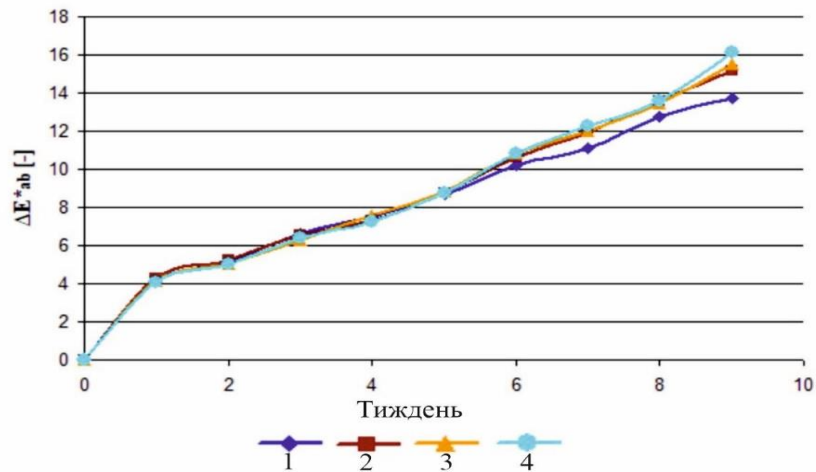


Рис. 3.9. Криві зміни кольору Magenta у надрукованому зображенні на папері Fujicolor: 1 – без ламінування; після ламінування плівками різної товщини: 2 – 24 мкм; 3 – 34 мкм; 4 – 50 мкм

Найвищу світлостійкість показав відбиток заламінований плівкою 50 мкм, тоді як вище значення ΔE^*_{ab} було зафіксовано для плівки 34 мкм і 24 мкм. Після 9-ти тижнів перебування під дією прямих сонячних променів денного світла різниця кольору на ламінованому відбитку на 2 одиниці більша у порівнянні з неламінованим. Товщина плівки не впливала на показник різниці кольорів надрукованих зображень на фотопапері Fujicolor.

У випадку відбитків, надрукованих на машині Ricoh Pro C751, як неламіновані, відбитки, так і ламіновані відбитки мають приблизно однакову стійкість до світлових променів після 9-го тижня тестування.

Аналіз побудованих кривих (рис. 3.10) показує найбільшу зміну кольору на відбитку після першого тижня дії сонячних променів, а протягом наступних 4–5 тижнів спостерігається незначне збільшення ΔE^*_{ab} .

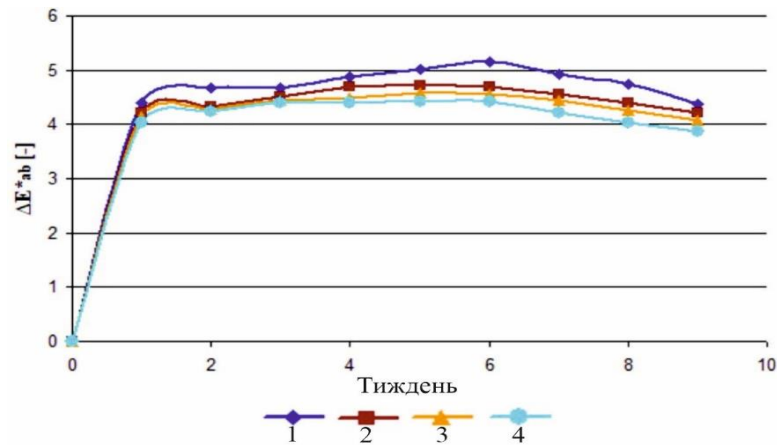


Рис. 3.10. Криві зміни зображення, надрукованого кольором Yellow на відбитку з паперу UPM Digi Color: 1 – без ламінування; після ламінування плівками різної товщини: 2 – 24 мкм; 3 – 34 мкм; 4 – 50 мкм

Як видно з рис. 3.11, пропорційно до збільшення товщини плівки спадають значення ΔE^*_{ab} .

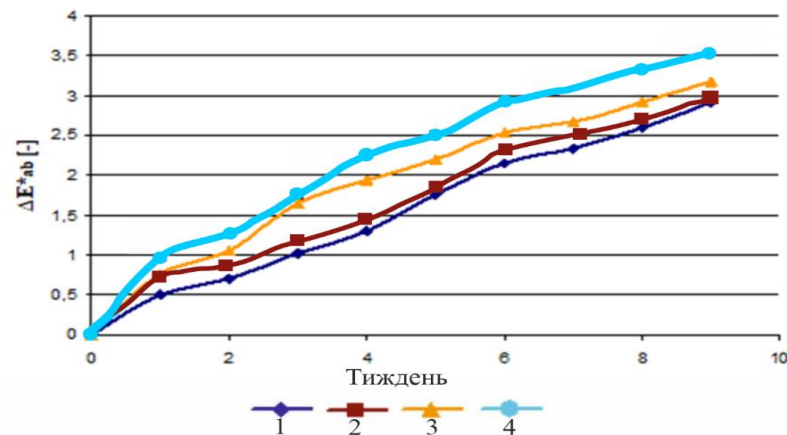


Рис. 3.11. Криві зміни кольору Black на відбитку на папері Fujicolor: 1 – без ламінування; заламінованих плівками різної товщини: 2 – 24 мкм; 3 – 34 мкм; 4 – 50 мкм

З рис. 3.12 видно, що найнижчі значення ΔE^*_{ab} були зафіксовані для неламінованого відбитку з чорним вимірювальним полем. Зразки плівки показали збільшення значення ΔE^*_{ab} протягом перших двох тижнів тестування зі зменшенням товщини ламінуючої плівки. На третьому тижні значення ΔE^*_{ab} для вищезгаданих ламінованих плівок змінили свій порядок.

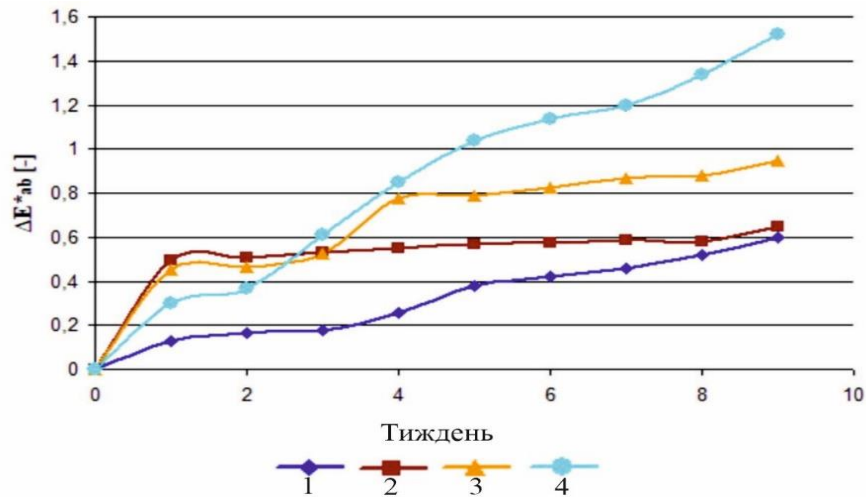


Рис. 3.12. Криві зміни кольору Black на папері UPM Digi Color:

1 – без ламінативного покриття; заламінованих плівками різної товщини: 2 – 24 мкм;
3 – 34 мкм; 4 – 50 мкм

Представлені на графіку діаграми (рис. 3.13) показують вплив товщини плівки на зміну кольорів СМУК. У більшості випадків найвищі значення ΔE^*ab були зафіксовані для неламінованих відбитків для всіх кольорів. Виняток становили поля *Cyan* та *Black*.

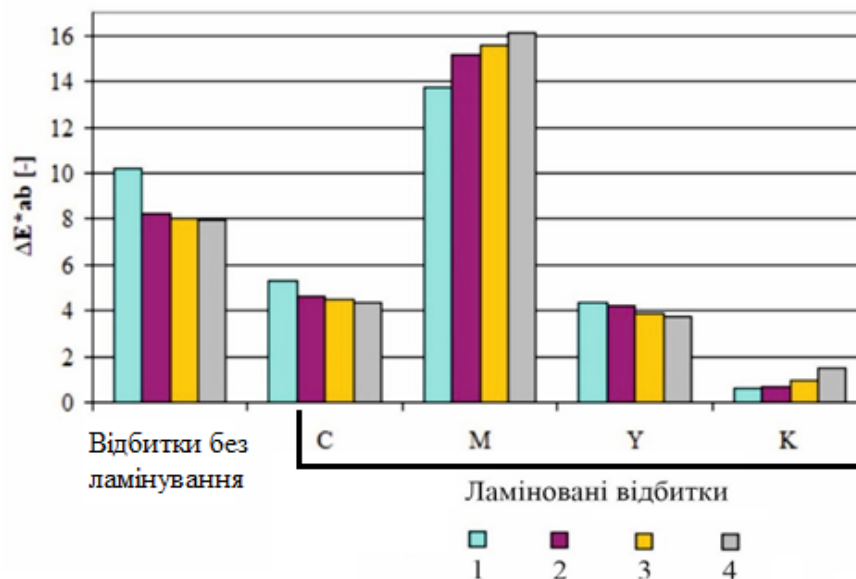


Рис. 3.13. Графіки зміни основних кольорів відбитків, отриманих цифровим лазерним друком: 1 – без ламінативного покриття; заламінованих плівками різної товщини: 2 – 24 мкм; 3 – 34 мкм; 4 – 50 мкм

Підсумовуючи результати досліджень для цифрових відбитків та їх плівок, можна відзначити, що найменші зміни кольорових характеристик зафіксовано для відбитків, утворених фарбою Black, Yellow і Cyan. Найбільші зміни відбулися на відбитку пурпурного кольору.

Характер зміни кольору в суцільних полях тестової шкали допомагає легше визначити напрямок змін яскравості та насиченості зображень, які відбулися для окремих полів вимірювання протягом дев'яти тижневого впливу сонячного світла.

На графіках 3.14 – 3.18 вказані додаткові позначки, що фіксують початок (Р) і кінець (К) вимірювань для відбитків лазерного та струменевого друку, отриманих на картоні Arktika.

Аналізуючи графіки на рис. 3.14 – 3.18, добре видно, що найбільші зміни координат $L^*a^*b^*$ у більшості випадків відбулися протягом першого тижня дослідження. Це підтверджує і пояснює той факт, що найбільші зміни значень ΔE^*_{ab} були зафіксовані саме в цей період.

Аналізуючи зміни кольору, що відбуваються лише в неламінованому відбитку, можна побачити, що координати зміщені в бік жовтого. Однаковий характер змін спостерігався для обох тестованих картонних відбитків, незалежно від способу друку та ламінування.

З рис. 3.14 видно, що відбулося збільшення значення координати L^* для відбитка струменевого друку. У випадку неламінованого відбитка спочатку спостерігалось незначне збільшення координати, що відповідає за яскравість кольору, хоча протягом наступних тижнів тестування яскравість зображення знову зменшилася. Кінцевий рівень значення координати L^* для ламінованого відбитка струменевого друку є мінімально вищим, ніж до того, як зразки потрапили під вплив світла. Однак для відбитка без ламінаційної плівки він дещо нижчий, ніж у перший день тестування.

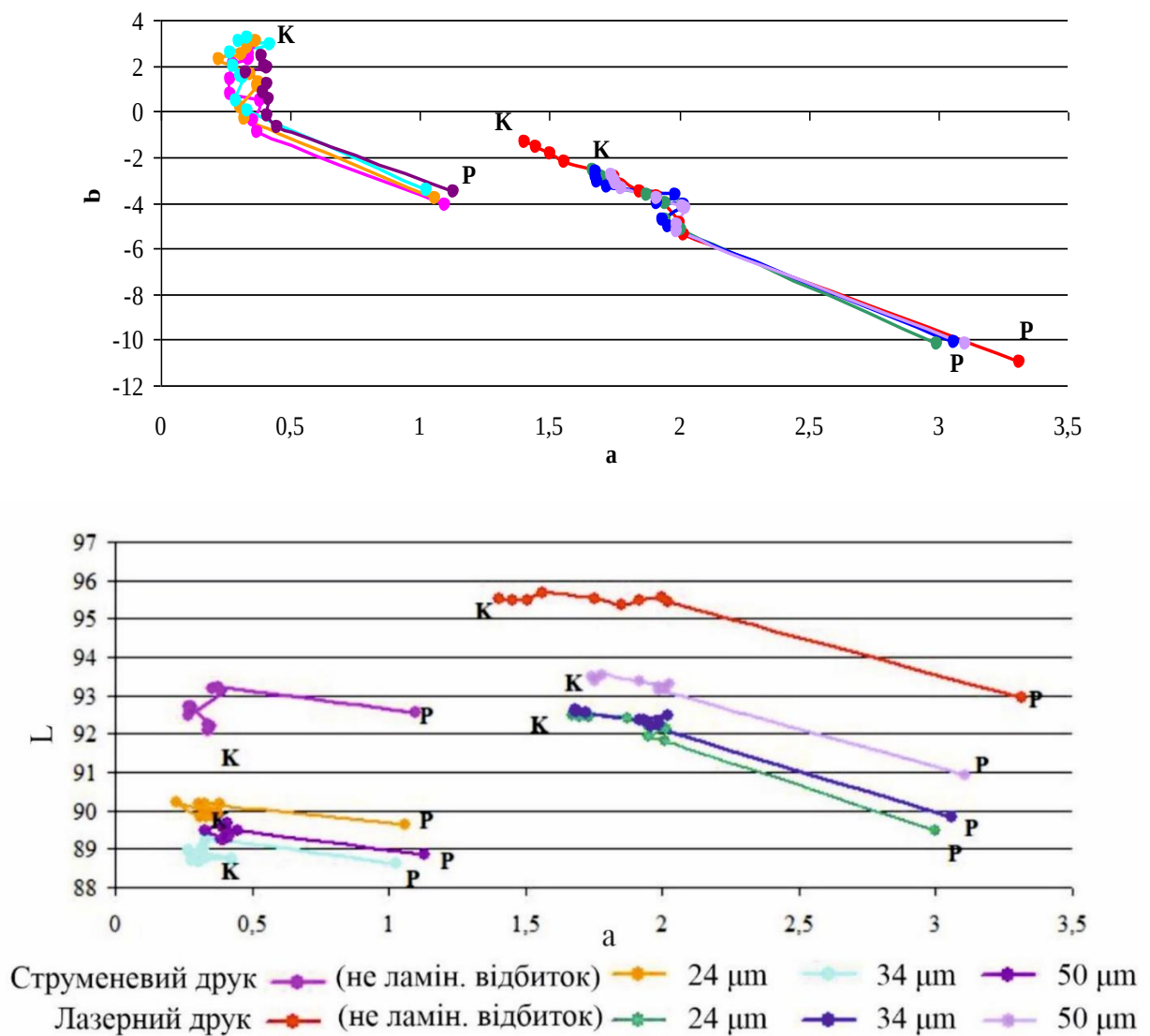


Рис. 3.14. Зміна координат L^* , a^* , b^* відбитка струменевого та лазерного друку на картоні Arktika під впливом сонячного світла

Суап колір зображення, надрукованого обома методами цифрового друку, показав зсув в бік зеленого кольору. Величина змін, що відбулися у зразках, не залежить від процесу ламінування, оскільки зафіксовані координатні зсуви знаходяться на однаковому рівні. Для Суап кольору (рис. 3. 15) також не було зафіксовано значних змін яскравості.

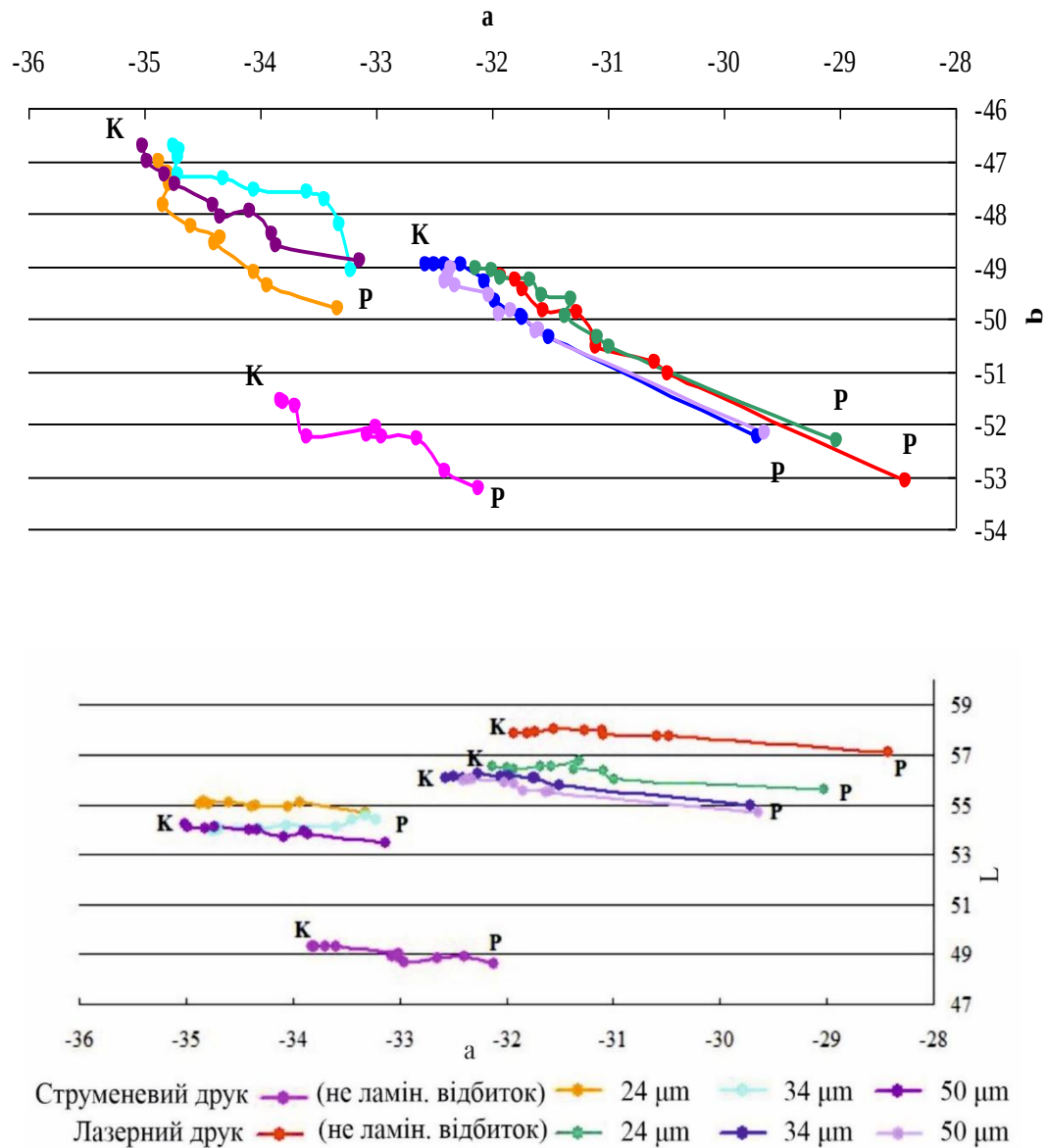


Рис. 3.15. Зміни координат L^* , a^* , b^* суцільних полів кольору Суан під впливом сонячного світла для відбитка струменевого та лазерного друку на картоні Arktika

Для Magenta кольору (рис. 3.16) зображення на відбитку спостерігається зсув у бік червоної гами кольору. Неламінований відбиток показав удвічі більшу зміну насиченості, ніж ламінований. На відміну від Суан кольору, для Magenta було виявлено чітке збільшення яскравості.

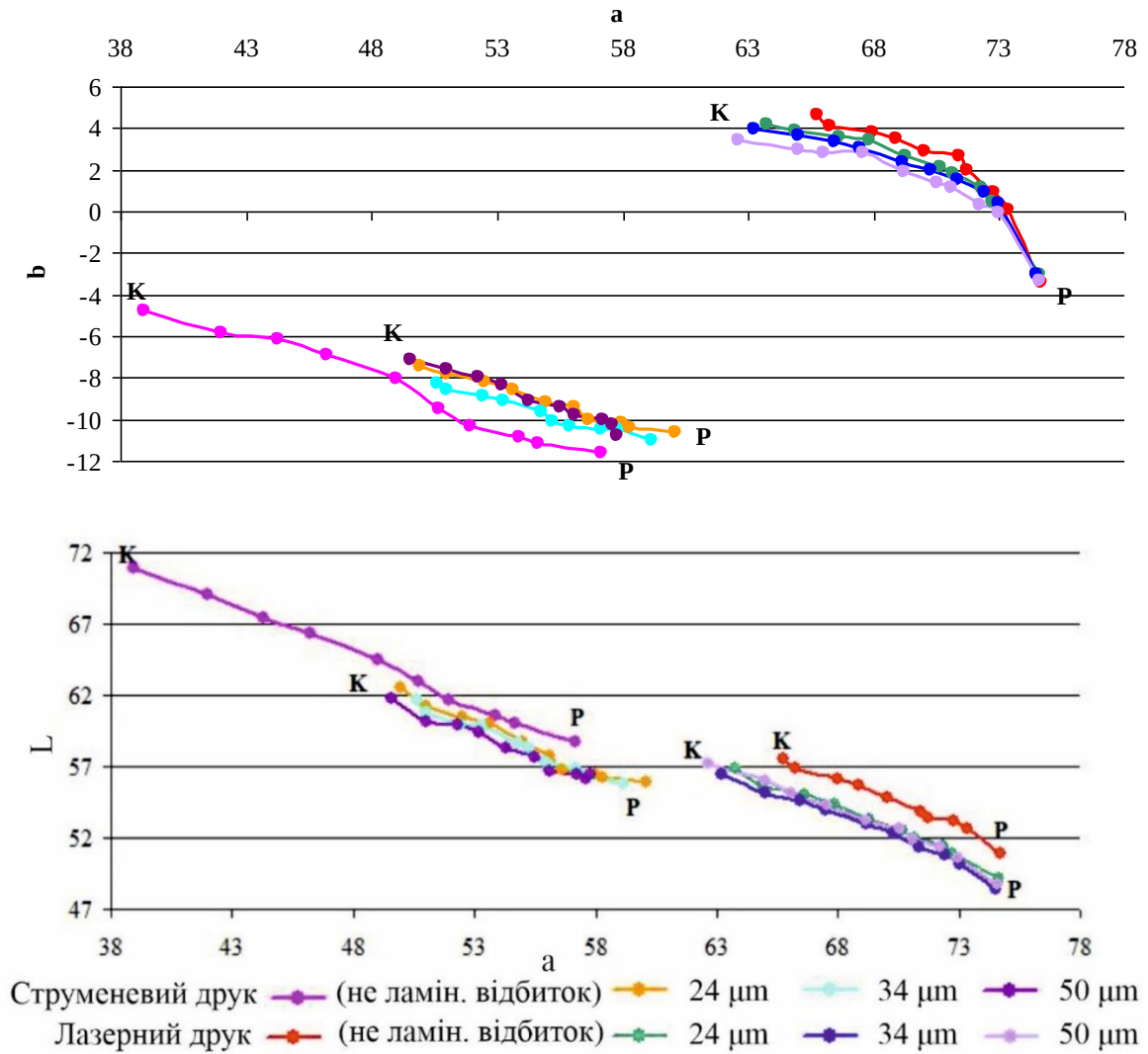


Рис. 3.16. Зміни координат L^* , a^* , b^* суцільних полів кольору Magenta під впливом сонячного світла для відбитка струменевого та лазерного друку на картоні Arktika

Аналізуючи графіки зміни насиченості та відтінку, можна побачити, що координати Yellow кольору на струменевому відбитку змінилися найбільше. Водночас на графіку (рис. 3.17) видно чіткий зсув у бік більших значень L^* . Це означає, що яскравість кольору зростає, а отже, ефект вицвітання став більш помітним.

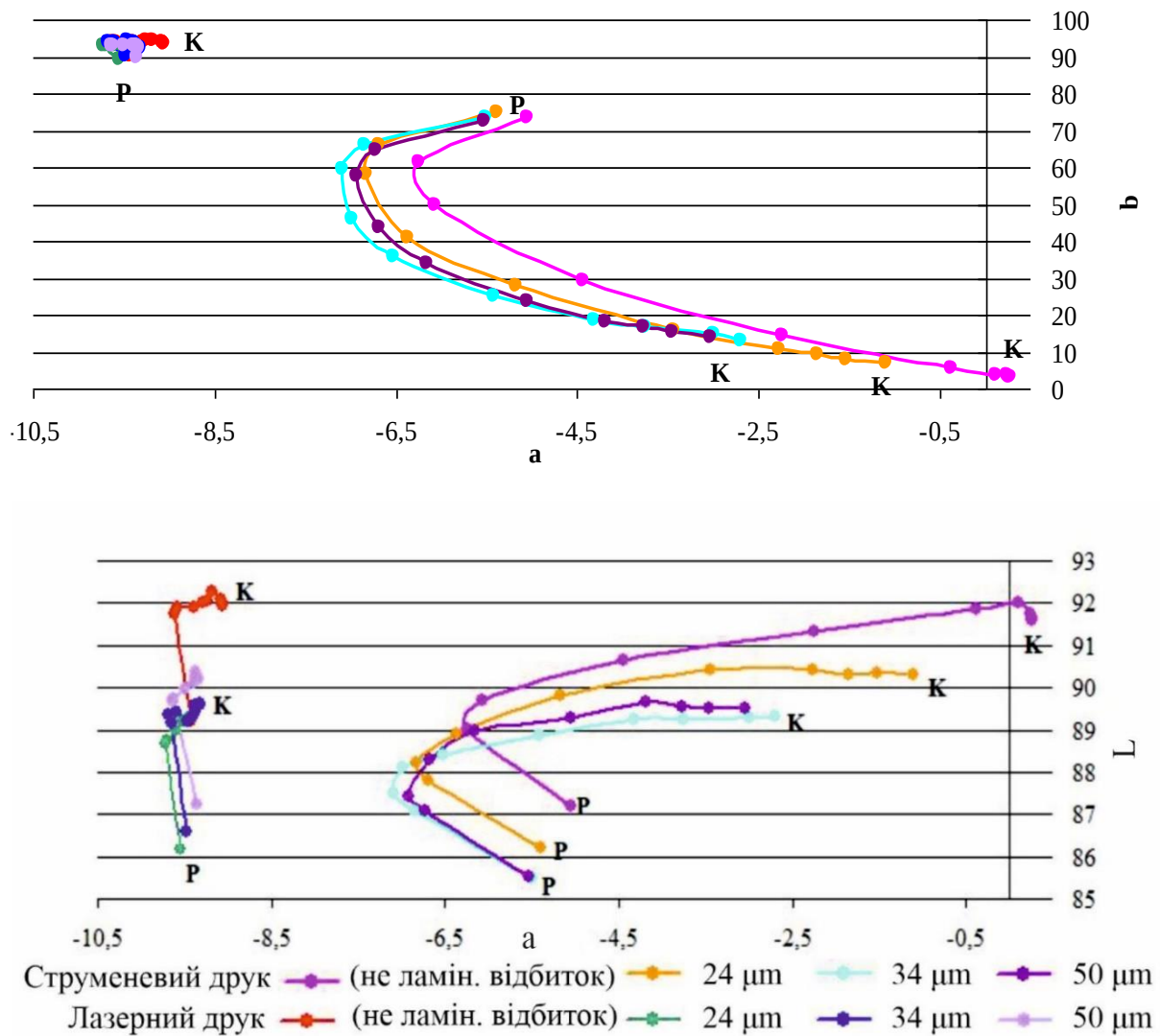


Рис. 3.17. Зміни координат L^* , a^* , b^* суцільних полів кольору Yellow під впливом сонячного світла для відбитка струменевого та лазерного друку на картоні Arktika

Жовтий колір на неламінованому відбитку було важко розгледіти вже на третьому тижні тестування, а після закінчення тестування відбиток був практично невидимим. Ламіновані зразки поводитися аналогічно, хоча проблема з чіткістю зображення відбитка виникла пізніше.

У випадку використання ламінаційної плівки товщиною 34 мкм це сталося на четвертому тижні, а для плівки товщиною 50 мкм ці проблеми виникли на п'ятому тижні.

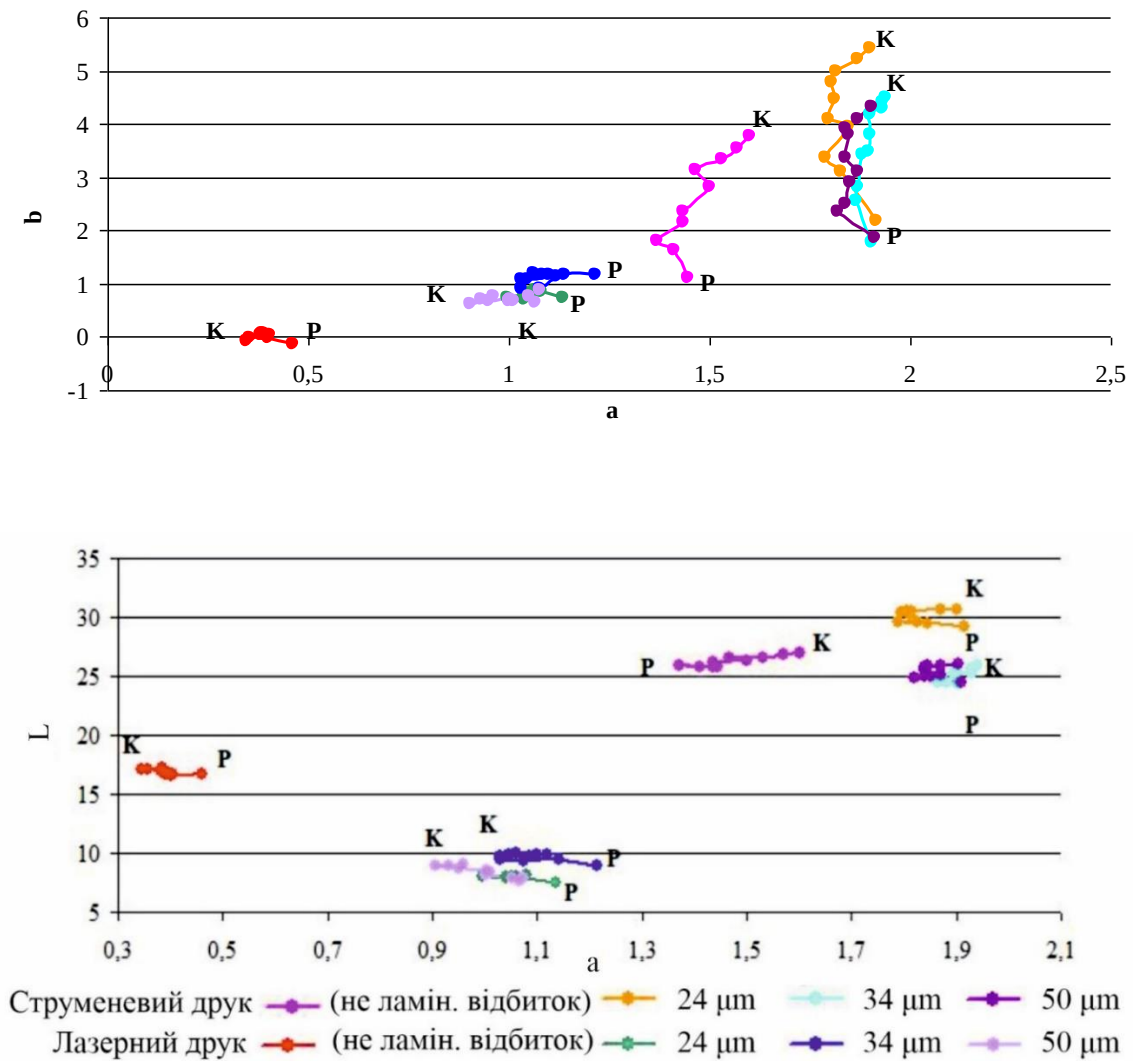


Рис. 3.18. Зміни координат L^* , a^* , b^* суцільних полів кольору Black під впливом сонячного світла для відбитка струменевого та лазерного друку на картоні Arktika

Найменша зміна в площині a^*b^* відбулася в полі Black на відбитку, виготовленому лазерним друком (рис. 3.18). Струменевий спосіб показав лише зсув у бік координати b^* . Як і у випадку з блакитним кольором, не спостерігалось тенденції до збільшення яскравості чорного кольору, надрукованого в обох системах.

3.3. Дослідження характеристик кольору і блиску зображень на ламінованих відбитках під впливом денного світла

Досліджено зміну кольорових характеристик зображення на відбитках з врахуванням відсотка растрового покриття поверхні. На графіках нижче наведено криві різниці кольорів для полів із растровим покриттям 100%, 80%, 60%, 40% і 20%. За взаємним розміщенням побудованих кривих різниці кольорів, можна стверджувати, що сонячні промені денного світла викликали зміни у пігментах порошкових фарб, якими утворені лазерні відбитки та барвниках чорнил, які утворили відбитки струменевого друку, а також зміни кольору в різних субстратах.

Хід кривих вицвітання для окремих перевірених кольорів має однаковий характер, тому на рис. 3.19 – 3.20 представлені лише приклади кривих зміни для неламінованих зразків.

Аналізуючи графіки на рис. 3.19 для струменевого друку, можна побачити, що для кольорів Cyan та Black зміни кольорових характеристик були найбільшими при 20% растра. Це означає, що основний вплив на зміну кольору під час експонування має субстрат, на якому було надруковано відбиток. Для Yellow зафіксовано інше взаємне розташування кривих.

Якщо значення ΔE^*ab зростає зі збільшенням відсотка растрового покриття на відбитку, то можна зробити висновок, що зміни кольору спричинені переважно зміною кольору пігментів або барвників чорнила, що формують відбиток.

Характер кривих зменшення інтенсивності зображення для кольору Magenta складніший, ніж для інших кольорів. Протягом перших двох тижнів вимірювань зафіксовано вищі значення ΔE^*ab для нижчого коефіцієнта покриття поверхні, ніж для аплікації. Однак після другого тижня вимірювань хід кривих вицвітання змінюється на протилежний, що призводить до найвищих значень зміни кольору для поля зі 100% покриттям поверхні. Такий характер може свідчити про те, що на показник ΔE^*ab спочатку впливає зміна кольору задрукованого субстрату. Однак, враховуючи той факт, що остаточний характер

кривих відрізняється від кривих у перші кілька тижнів вимірювань, можна припустити, що склад чорнила для струменевого друку має вплив на кінцеві значення ΔE^*_{ab} .

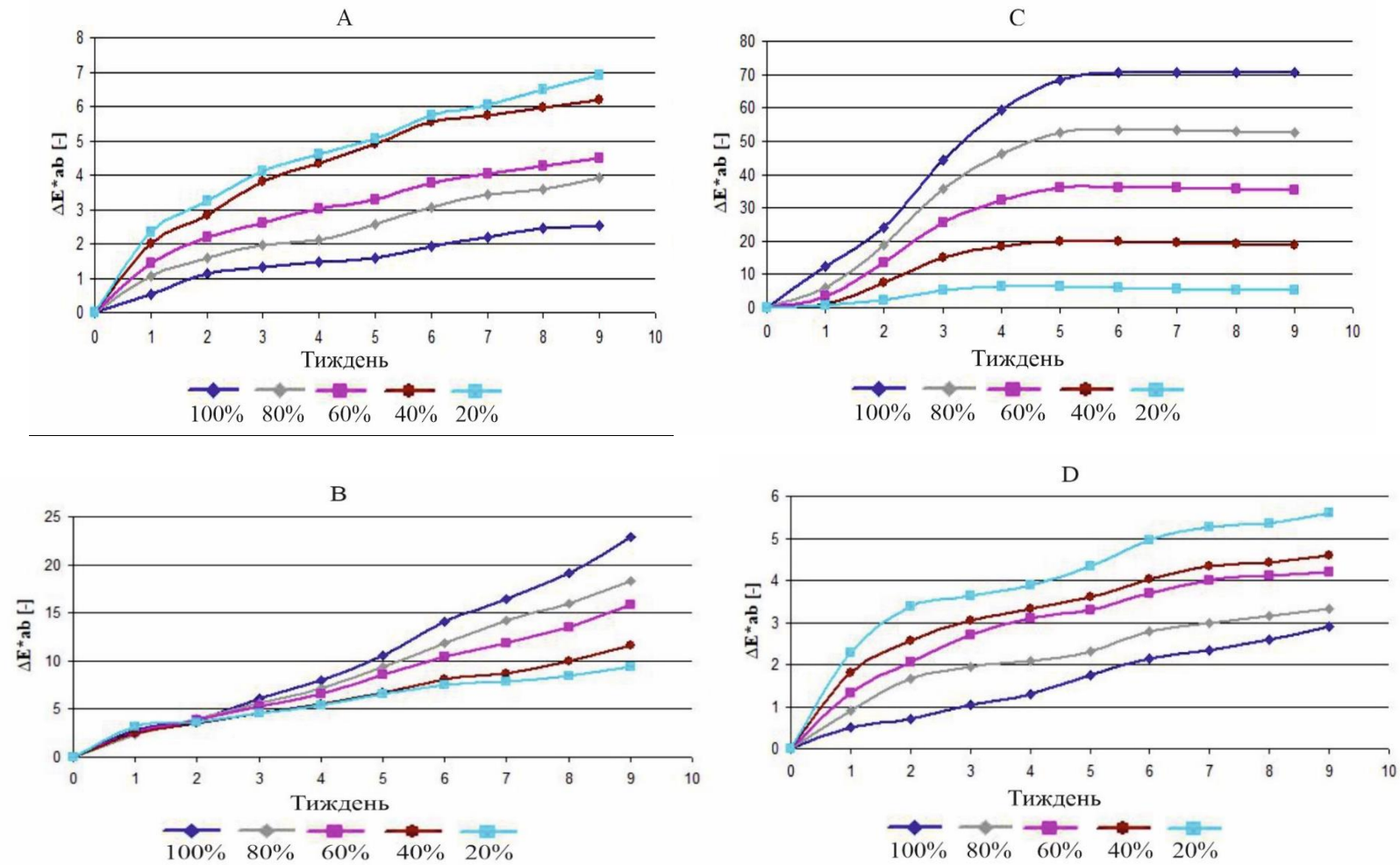


Рис. 3.19. Криві зміни різниці кольорів з різним відсотковим растровим покриттям на відбитку струменевого друку без ламінації для: А – Cyan; В – Magenta; С – Yellow; D – Black

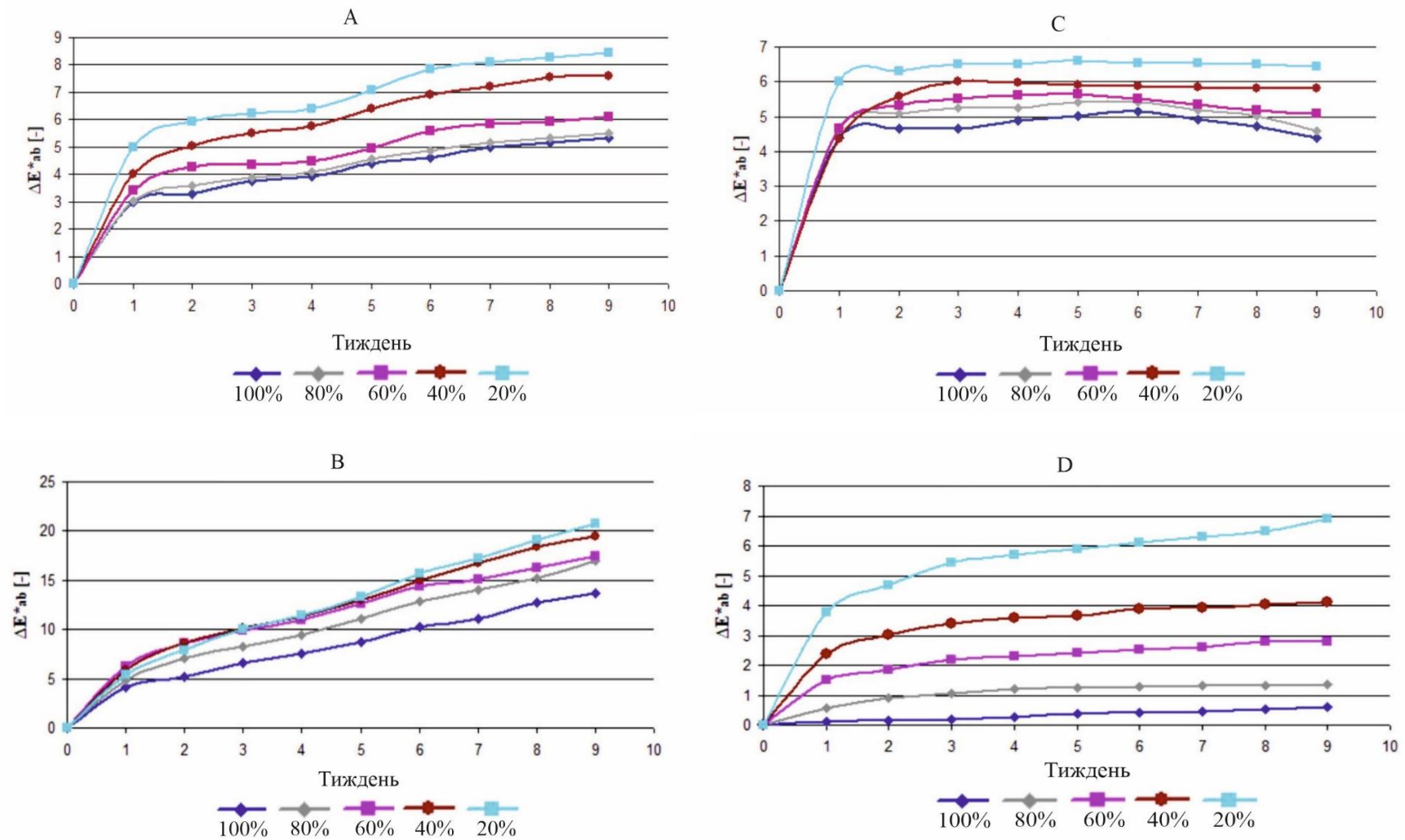


Рис. 3.20. Криві зміни різниці кольорів з різним відсотковим растровим покриттям на відбитку лазерного друку без ламінації для: А – Цяно; В – Магента; С – Жовтий; D – Чорний

З кривих зміни яскравості кольорів на рис. 3.20 для відбитків лазерного друку видно, що для всіх протестованих кольорів значення ΔE^*ab є найменшими й зростають зі зменшенням коефіцієнта растрового покриття. Це свідчить про те, що на зміну кольорів досліджуваного цифрового відбитка найбільше впливає колір субстрату.

На рис. 3.21 представлені діаграми блиску відбитків до і після ламінування.

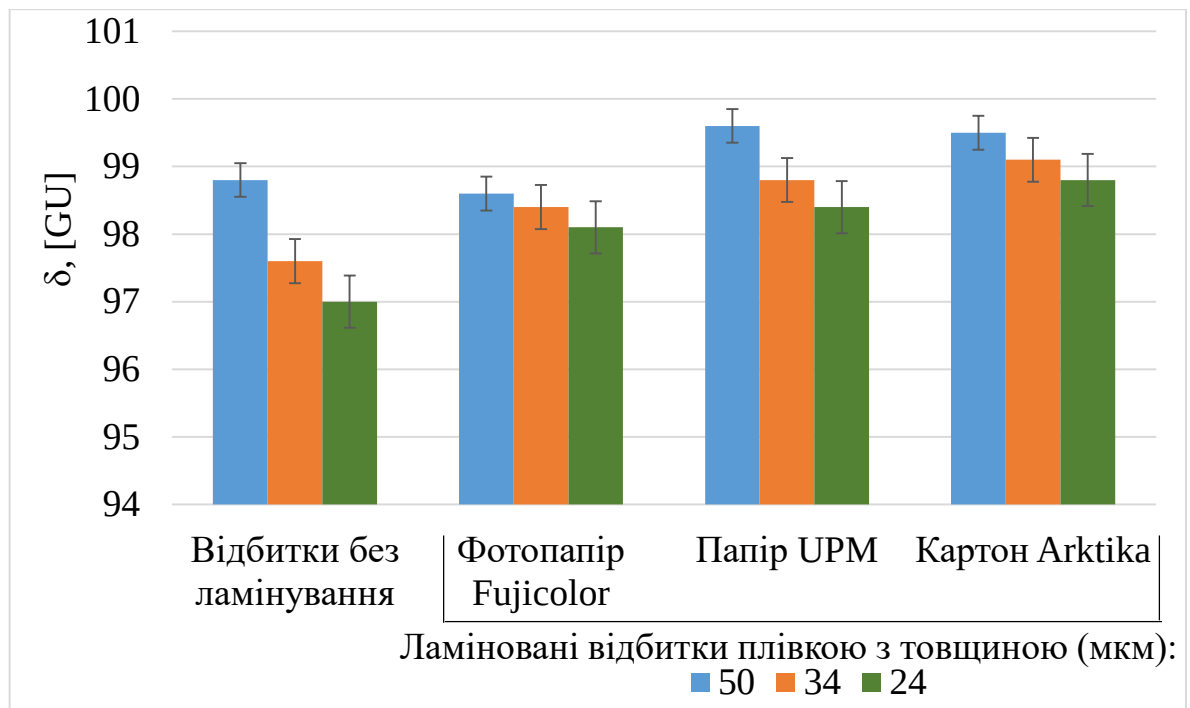


Рис. 3.21. Діаграми усереднених результатів виміру блиску на відбитках

Як видно з діаграм, товщина плівки підвищує блиск надрукованих зображень, що характерно для всіх відбитків на папері та картоні. Для відбитків на папері блиск збільшується залежно від товщини плівки.

Враховуючи теоретичні засади процесу вимірювання блиску, можна результати досліджень пояснити на основі імітаційної моделі відбиття світла від відбитка. Така модель (рис. 3.22) показує змішаний характер відбиття світла від відбитків, оскільки їх поверхні є нерівномірними з певною шорховатістю, про що свідчить їх профіль. Зі зростанням шорховатості зростає відсоток відбиття

світла. Очевидно, що частина променів поглинається поверхнею відбитка і переходить через нього.

Можна стверджувати, що відбиття світла від відбитка може мати змішаний характер, бути одночасно безпосереднім і розпорошеним. При безпосереднім відбиванні світла від ламінованого глянцевою плівкою відбитка промінь світла падає на нього і відбивається в одному напрямку. При розпорошеному відбиванні світла, промінь відбивається в різних напрямках.

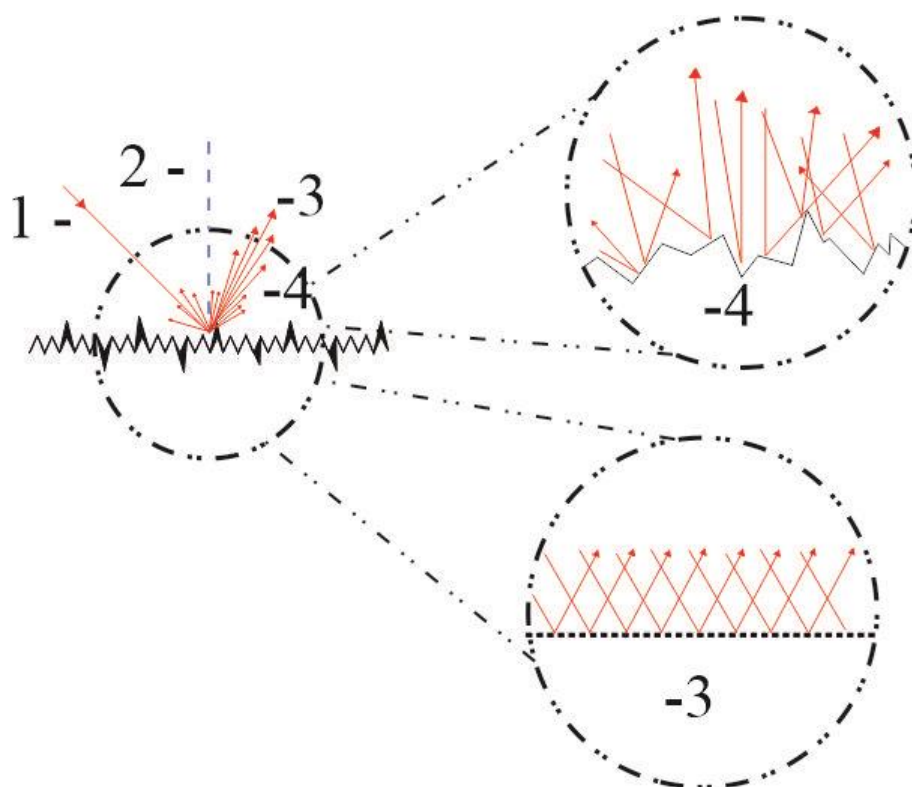


Рис. 3.22 Модель відбивання світла від відбитка: 1 – падаючий промінь світла; 2 – норма ; 3 – пряме відбивання променя;
4 – дифузійне відбивання променя

Максимальне значення блиску (99,6 GU) досягається при товщині плівки 50 мкм, що на 2 одиниці більше у порівнянні з неламінкованим відбитком на папері. Для ламінованого відбитка на картоні значення блиску збільшується на 2,5 (при використанні плівки 50 мкм). Зменшення товщини ламінованої плівки

до 24 мкм призводить до зниження блиску відбитків на папері на 1,2 одиниці (відповідно 98,4 GU) і картоні – на 0,7 одиниці (відповідно 98,8 GU).

Для ламінованих відбитків на фотопапері спостерігається незначний спад блиску (на 0,2 одиниці при ламінуванні плівкою 50 мкм), що пояснюється змішаним механізмом відбиття променів через нерівномірну топографію його поверхні.

Висновки до розділу 3

1. У результаті експериментальних досліджень денситометричних показників відбитків до і після ламінування підтверджено, що використання глянцевої плівки підвищує яскравість зображень на відбитках струменевого та лазерного друку. Аналіз денситометричних досліджень показав, що оптичні густини друкарських відбитків змінюються в залежності від способу задруковування поверхні субстрату і насиченості зображення контрольної шкали. Збільшення насиченості зображення з 50% до 100% на всіх відбитках супроводжується зростанням оптичної густини. Для ламінованих відбитків струменевого друку на папері UPM Digi Color величина оптичної густини зростає на 0,34 одиниці, на картоні Arktika – на 0,54 одиниці, для відбитку лазерного друку на фотопапері оптична густина - на 0,3 одиниці (для поля насиченості – 50%).

2 Для оптимального ink-jet покриття адгезія для кожного основного кольору є практично однаковою. Для фотопаперу при граматурі 200 г/м² стійкість на відривання становить 1кГс, а для неосновних кольорів у 1,55 рази нижча порівняно з основними. Адгезія до ламінату зростає із збільшенням граматури, а різниця між основними та неосновними кольорами зменшується.

3 Експериментально доведено, що товщина плівки впливає на блиск відбитків, зокрема максимальне значення блиску (99,6 GU) досягається при товщині плівки 50 мкм, що на 2 одиниці більше у порівнянні з неламінуваним відбитком на папері. Для ламінованого відбитка на картоні значення блиску збільшується на 2,5 одиниці. На відбитку на фотопапері спостерігається незначний спад блиску (на 0,2 одиниці при ламінуванні плівкою 50 мкм), що пояснюється змішаним механізмом відбиття променів через нерівномірну топографію його поверхні.

4. Результати випробувань відбитків на світлостійкість показують, що найбільші зміни координат $L^*a^*b^*$ у більшості випадків відбулися протягом першого тижня дослідження. Це підтверджує і пояснює, що найбільші зміни

значень ΔE^*_{ab} спостерігалися саме в цей період, що дозволить прогнозувати забезпечення якості ламінованих відбитків з урахуванням впливу сонячних променів на колірні характеристики надрукованих і ламінованих зображень.

5. На основі теоретичних і практичних досліджень розроблена модель відбивання світла від відбитку, яка підтверджує, що процес відбивання світла може мати змішаний характер, бути одночасно безпосереднім (пряме) і розпорошеним (дифузійне).

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВЗАЄМОДІЇ СИСТЕМИ «ВІДБИТОК ЦИФРОВОГО ДРУКУ – ПЛІВКА» В ПРОЦЕСІ ГАРЯЧОГО ЛАМІНУВАННЯ

4.1. Аналіз топографії поверхні друкарських відбитків та ламінатів

Інтенсивне використання цифрового друку для подальшого оздоблення паковань за допомогою ламінації та підвищення вимог споживачів до нього вимагають поглибленого вивчення факторів впливу на якість друкарських відбитків.

Зростання вимог до якості виготовленої цифровим способом друку продукції з'являється ряд проблем, які вимагають глибоких і детальних досліджень. Тому виявлення впливу окремих факторів на технологічні процеси виготовлення та оздоблення продукції може допомогти розв'язувати проблеми забезпечення якості відбитків цифрового друку. Часто виникають проблеми з відтворенням елементів зображення різної складності, кольорів, припресуванням плівкою, що впливає на отримання відбитків високої якості. Застосування різноманітних матеріалів для друкування цифрового друку вимагає дослідження їх поверхневої структури; окрім того, надзвичайно важливо отримати відбитки з відповідними оптичними та експлуатаційними характеристиками.

У результаті дослідження відбитків отримали 3D-моделі зображення топографії поверхонь до і після ламінування, а також їх профілограми [146].

Експериментально досліджено топографію поверхні відбитків на різних матеріалах. Залежно від виду покриття на субстратах, поверхня відбитка є більш або менш рівномірною, про що свідчать мікрофотографії, зроблені за допомогою AniCam (рис. 4.1 – 4.6). Виявлено зміну структури поверхні відбитків до та після ламінування глянцевою плівкою різної товщини. На рис. 4.1 зображено профіль поверхні повноколірного відбитка на фотопaperі Fujicolor та його 3D-модель, виконані на приладі AniCam. Проведений аналіз топографії поверхні вказує на

мікронерівності, які коливаються від 7,0 до 12,4 μm . Для структури поверхні відбитка характерний нерівномірний рельєф, глибокі мікровпадини, які повторюються на ламінованому відбитку.

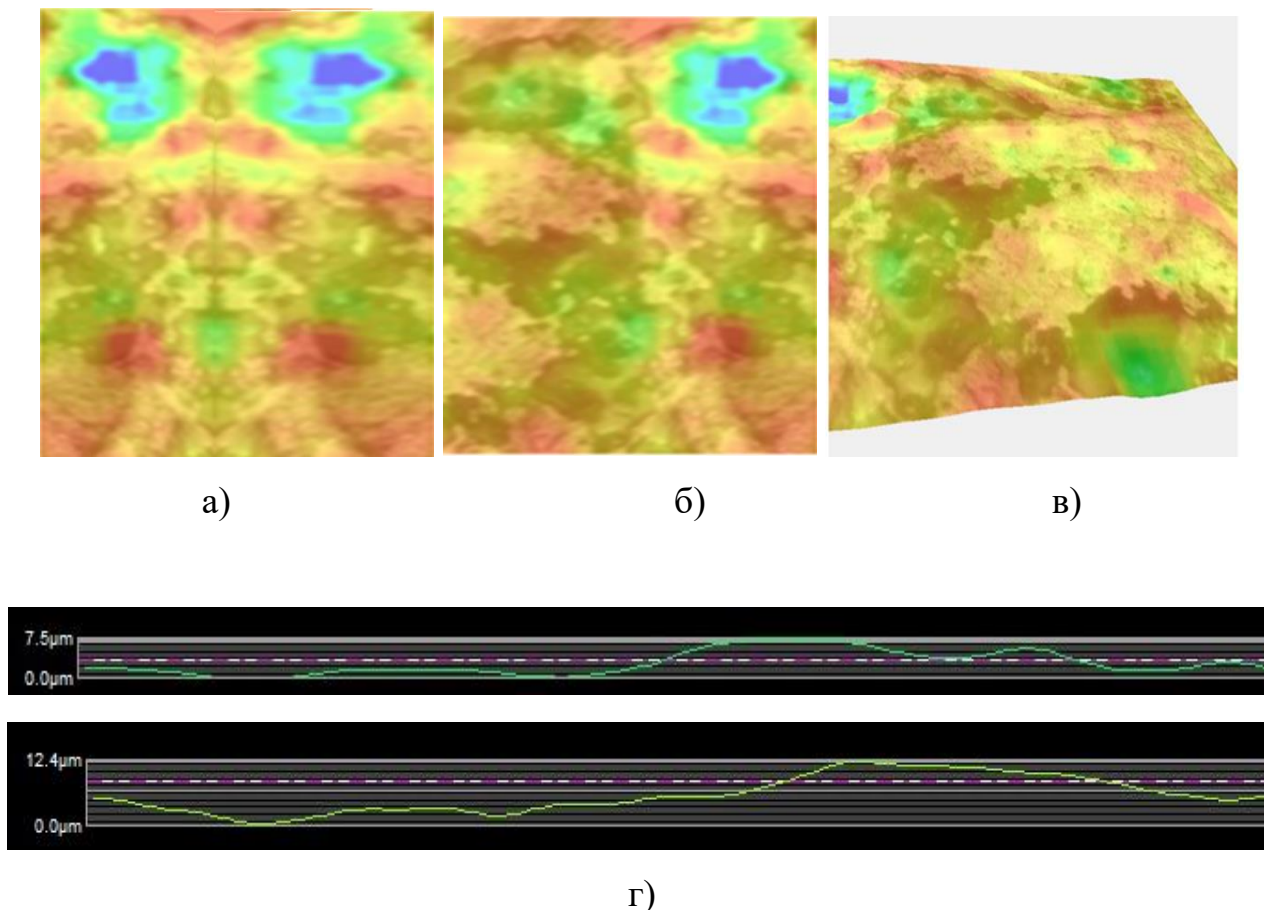


Рис. 4.1. Мікрофотографії топографії поверхні фрагменту зображення відбитка лазерного друку на фотопапері Fujicolor до (а) і після ламінування плівкою BOPP з товщиною 24 мкм (б), її 3D модель (в) та профіль (г)

Проведений аналіз топографії поверхні ламінованого відбитка на папері UPM Digi Color (рис. 4.2) вказує на те, що достатньо рівномірний розподіл друкарських елементів на структурі волокон, що підтверджує незначну нерівність поверхні, яка коливається від 19,3 до 20,9 μm .

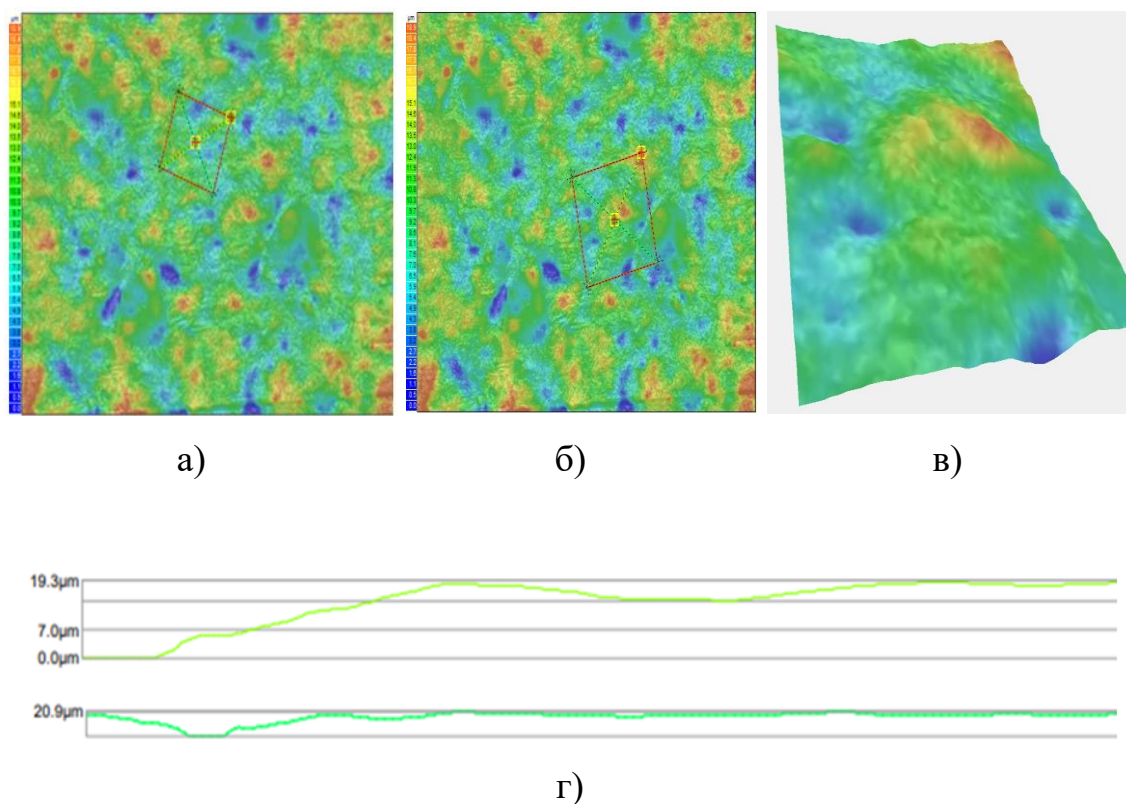
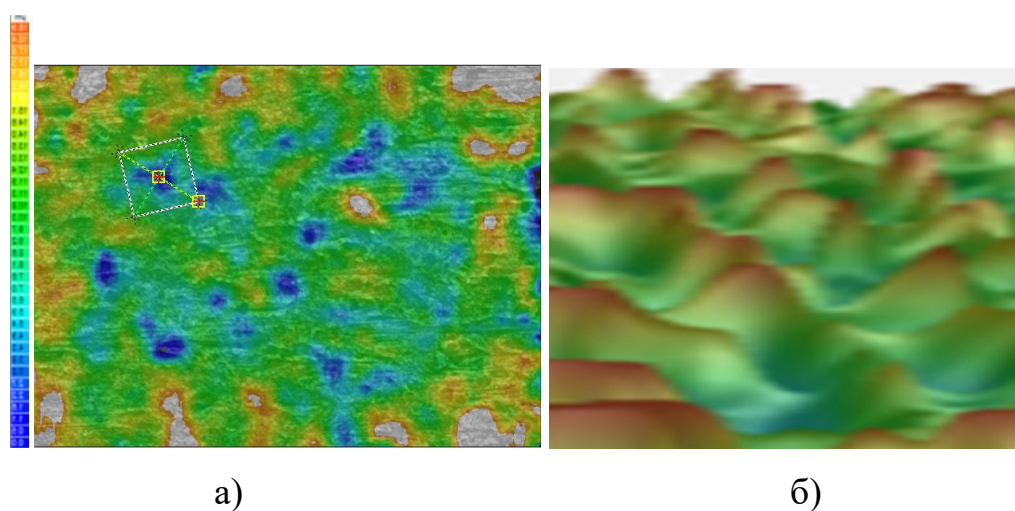
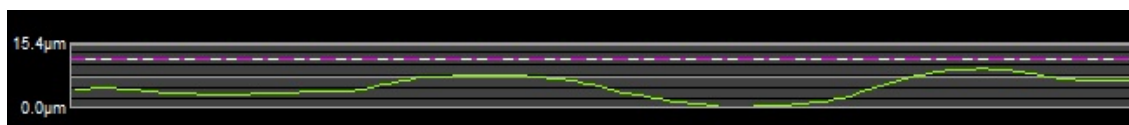


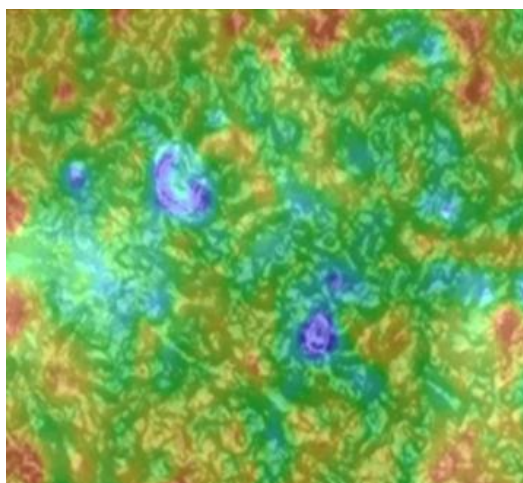
Рис.4.2. Мікрофотографії топографії поверхні фрагменту зображення відбитка лазерного друку на папері UPM Digi Color до (а) і після ламінування плівкою ВОРР з товщиною 24 мкм (б), її 3D модель (в) та профіль (г)

На рис. 4.3 показано мікрофотографії топографії поверхні відбитка струменевого друку на папері UPM Digi Color до і після ламінування плівкою ВОРР з товщиною 24 мкм. Ламінаційна плівка повторює топографію поверхні відбитка (профіль змінюється від 12,9 до 15,4 μm).

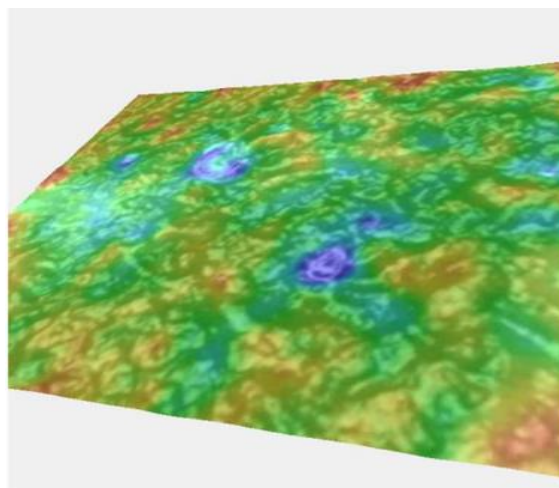




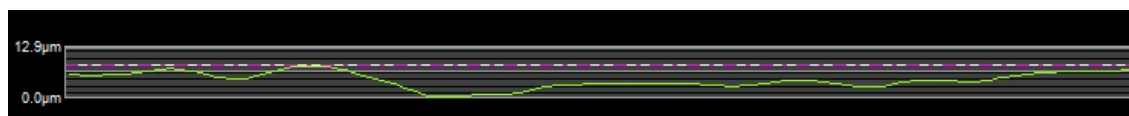
в)



г)



д)



е)

Рис. 4.3. Мікрофотографії топографії поверхні відбитка струменевого друку на папері UPM Digi Color до (а) і після ламінування плівкою BOPP з товщиною 24 мкм (г), її 3D модель (б, д) та профіль (в, е)

Аналіз топографії відбитка лазерного друку на картоні Arktika (рис. 4.4) показує, що профіль поверхні після ламінування змінюється від 9,9 до 10,4 μm.

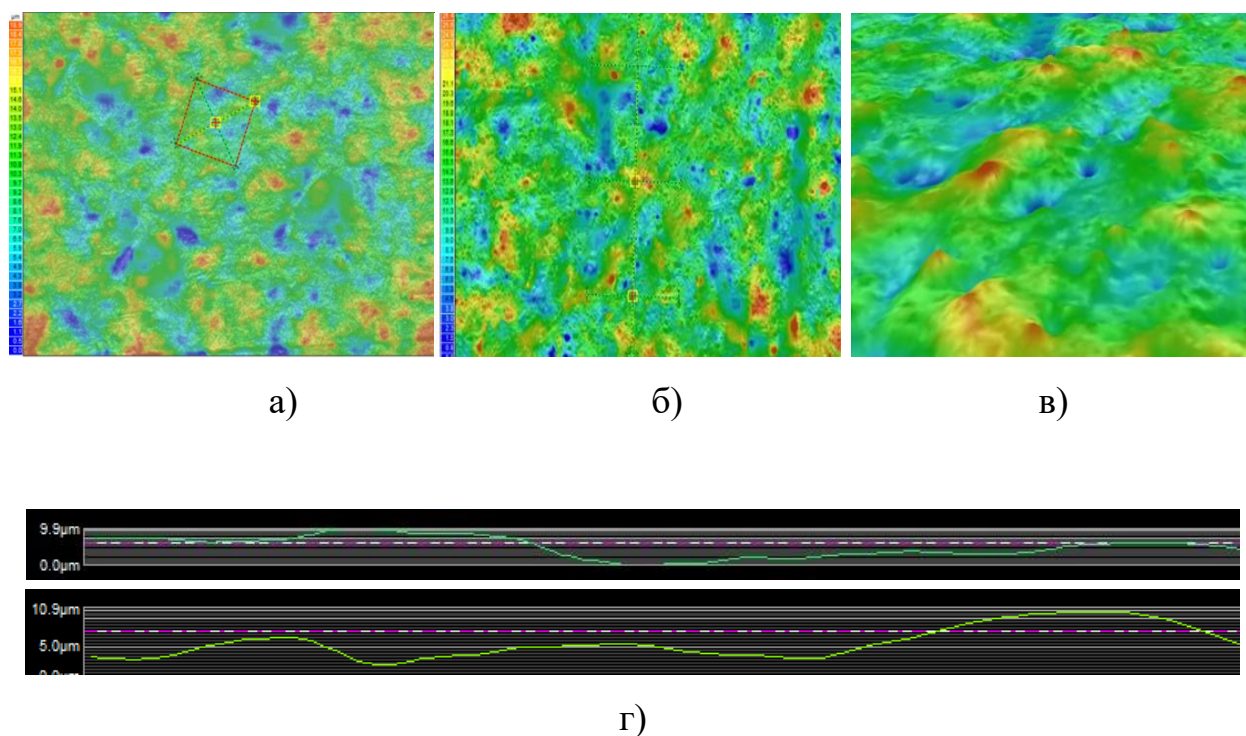
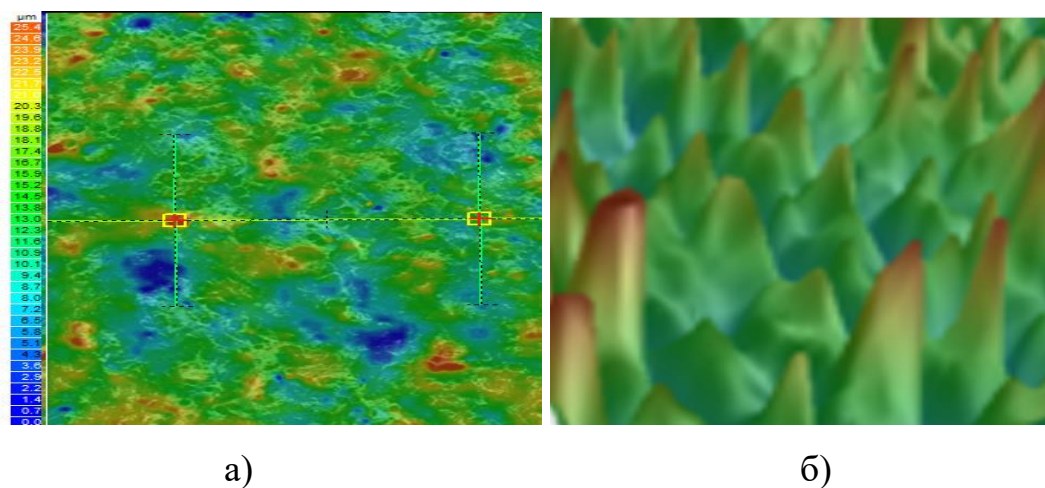
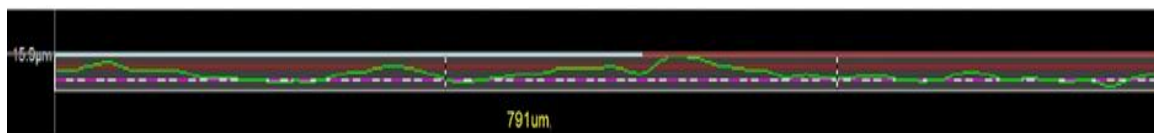


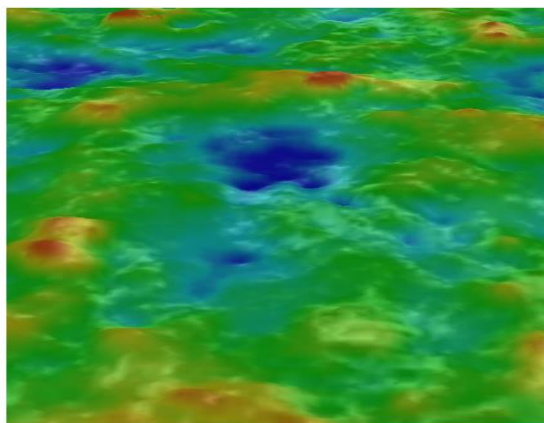
Рис. 4.4. Мікрофотографії топографії поверхні відбитка лазерного друку на картоні Arktika до (а) і після ламінування плівкою VOPP з товщиною 24 мкм (б), її 3D модель (в) та профіль (г)

Представлені на рис. 4.5 мікрофотографії топографії поверхні відбитка струменевого друку на картоні Arktika підтверджують гіпотезу про те, що структура поверхні ламінованого відбитка повторюється аналогічно до відбитків. Профіль поверхні відбитка після ламінування змінюється від 16,0 до 12,4 μm .

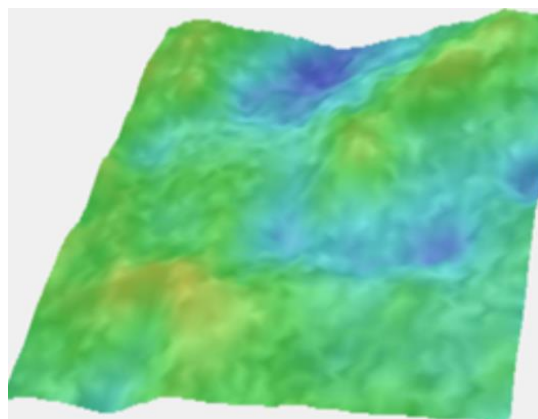




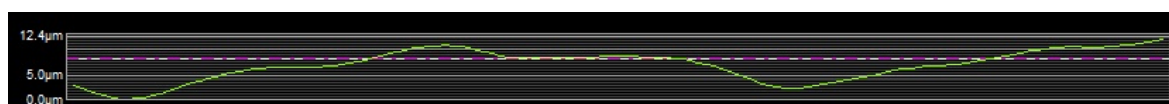
в)



г)



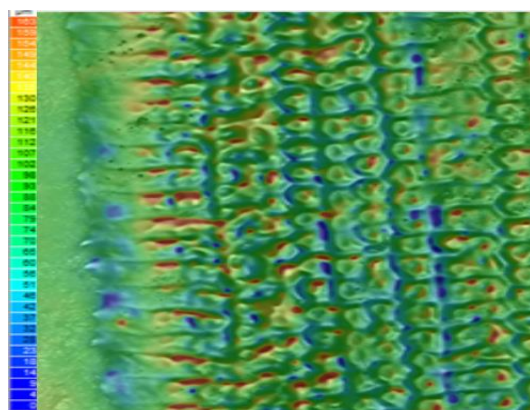
д)



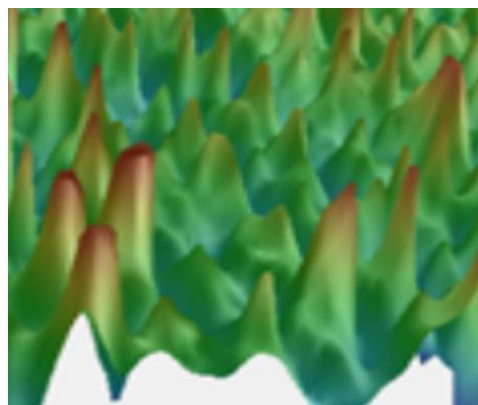
е)

Рис. 4.5. Мікрофотографії топографії поверхні відбитка струменевого друку на картоні Arktika до (а) і після ламінування плівкою BOPP з товщиною 24 мкм (г), їх 3D модель (б, д) та профіль (в, е)

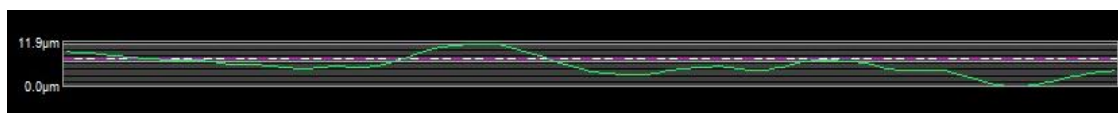
Аналіз топографії відбитка струменевого друку на фотопaperі Varwa (рис. 4.6) показує, що профіль поверхні після ламінування змінюється від 11,9 до 13,4 μm.



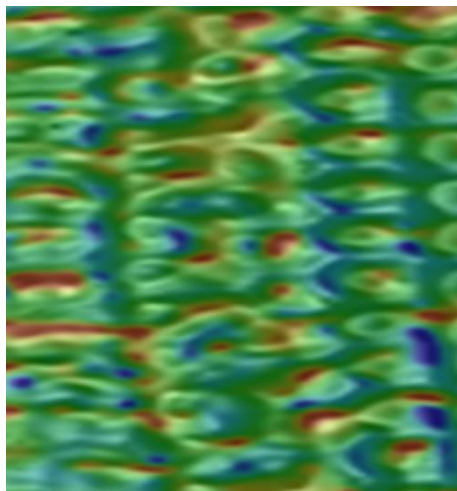
а)



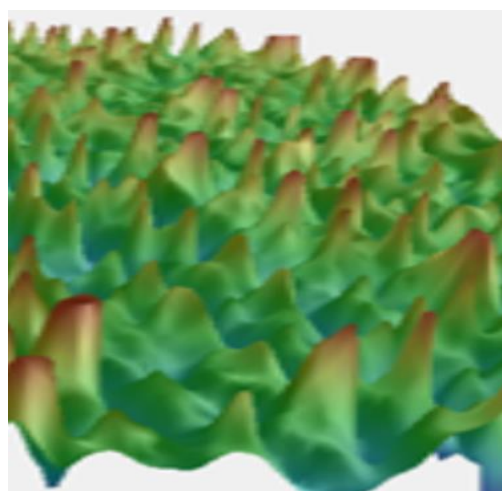
б)



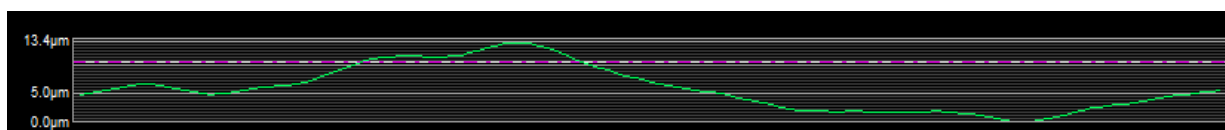
в)



г)



д)



е)

Рис. 4.6. Мікрофотографії топографії поверхні відбитка струменевого друку на фотопапері Barwa до (а) і після ламінування плівкою BOPP з товщиною 24 мкм (г), її 3D модель (б, д) та профіль (в, е)

У результаті досліджень топографії поверхні відбитків підтверджено суттєвий вплив характеристик поверхні матеріалу на якість ламінування. Дослідження показали, що після припресування плівки поверхня відбитка дещо згладжується, стає більш рівномірною, проте в цілому повторює свій мікрорельєф.

4.2. Мікроскопічні дослідження взаємодії друкарських відбитків та плівок під час ламінування

Однією з проблем та необхідною умовою отримання якісного відбитка в усіх способах друку є дотримання певних технологічних вимог щодо підбору властивостей задрукованих матеріалів, зокрема їх поверхні. Властивості поверхні задрукованої основи є одним із найважливіших факторів, що впливають на повноту передачі зображення і зовнішній вигляд відбитка, а також на подальший оздоблювальний процес за допомогою ламінування задля покращення експлуатаційних властивостей.

На основі дослідження [147] встановлено, що на цей процес впливають структура паперу, його товщина, пористість, а також технологічні режими ламінування. Тому важливо провести електронно-мікроскопічні дослідження топографії поверхні задруковуваних субстратів до та після ламінації.

Було проведено мікроскопічні дослідження плівки Lamiroll Glossy. Аналіз мікроскопічної структури плівки Lamiroll Glossy зі сторони клейового шару на основі EVA наведені на рис.4.7. Одна сторона плівки покрита адгезивом, що забезпечує прилипання її до субстрату під впливом тиску і температури.

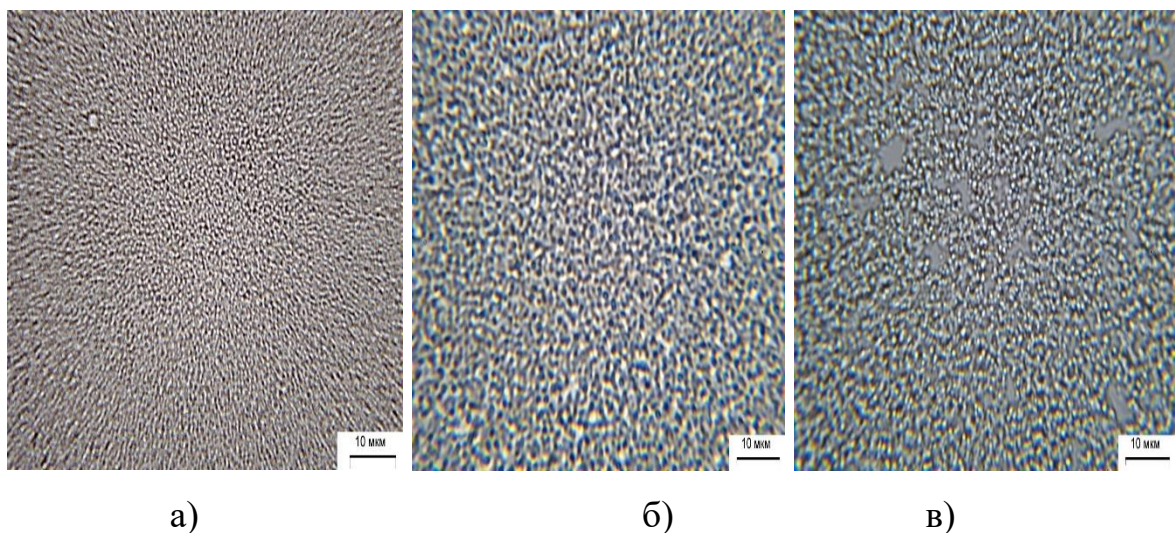


Рис. 4.7. Мікрофотографії плівок зі сторони нанесеного клейового шару товщиною: а) – 24 мкм; б) – 34 мкм; в) – 50 мкм

Аналіз мікрофотографій показав, що здебільшого шар клею нанесено рівномірним шаром, що забезпечує добру адгезію плівок до відбитків. Однак проведена серія досліджень показала, що зустрічаються незначні дефекти, які проявляються у нерівномірності адгезиву на поверхні плівок (рис. 4.8).

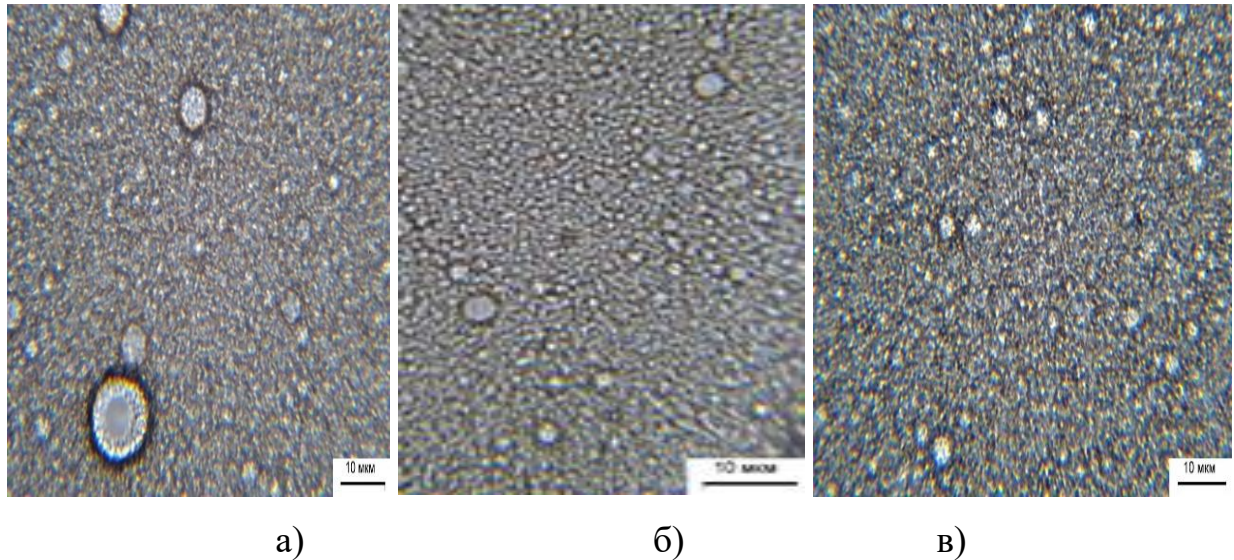
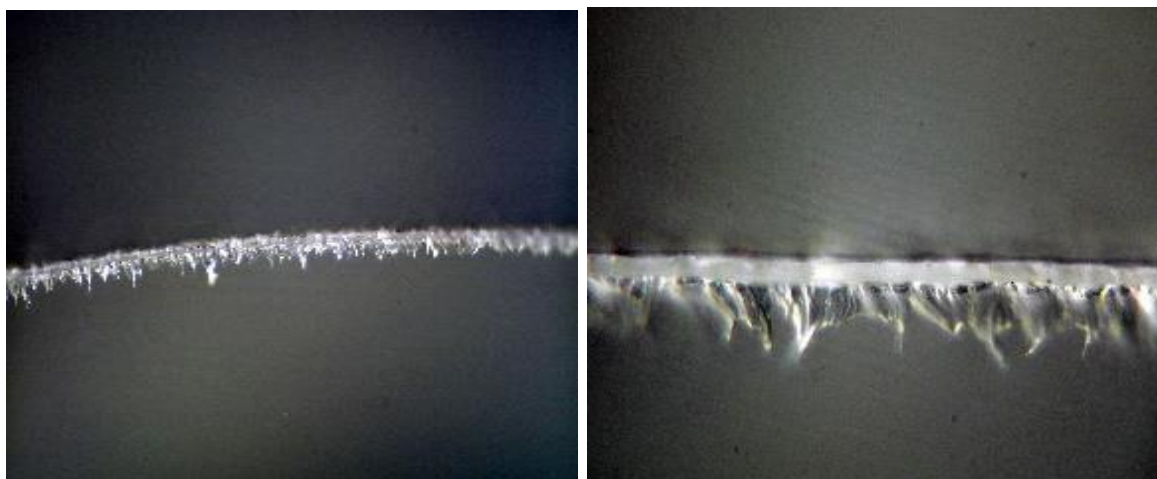


Рис. 4. 8. Мікрофотографії плівок з виявленими дефектами у структурі нанесеного клейового шару (товщина плівок):

а) – 24 мкм; б) – 34 мкм; в) – 50 мкм

Так, найбільші дефекти в клейовому шарі спостерігаються на плівці товщиною 50 мкм. Мікроскопічний аналіз виявив поодинокі плями з відсутністю клейового шару на поверхні (рис. 4.8а). Спостерігаються дрібні пробіли на внутрішній поверхні плівки товщиною 34 мкм, що, очевидно, може мати вплив на міцність припресування плівки до паперового відбитка. На рис. 4.9 наведені поперечні зрізи плівки Lamiroll Glossy.



а)

б)

Рис. 4.9. Мікрофотографії поперечних зрізів плівки Lamiroll Glossy:

а) – збільшення 50 ×; б) – збільшення 200 ×

Аналіз мікрофотографій (рис. 4.10) ламінованого відбитку на фотопапері Fujicolor показав, що між задрукованим відбитком і плівкою спостерігається чітка границя.



1 а)



1 б)



2 а)

2 б)

Рис. 4.10. Мікрофотографії поверхні (а) та поперечного зрізу (б) відбитку на фотопапері Fujifilm до (1) і після ламінування (2)

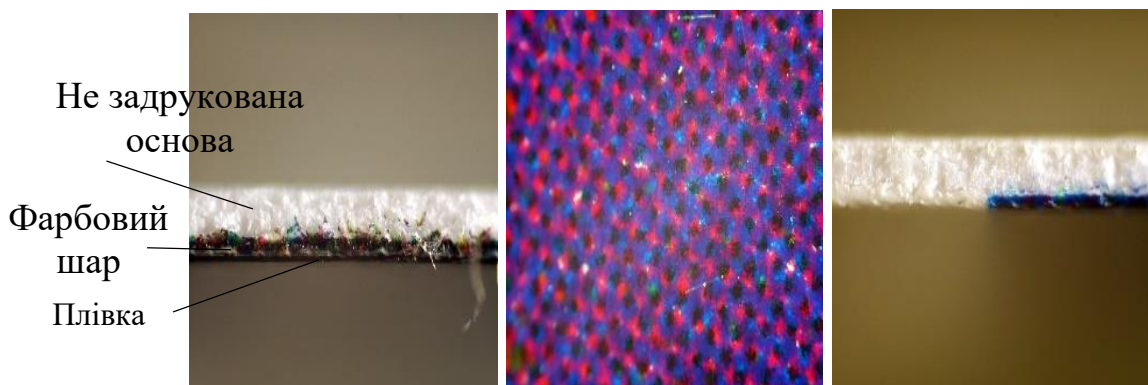
Однією з найважливіших властивостей паперу та картону є його здатність вбирати вологу. Топографія поверхні часто має вирішальне значення для глибини проникнення фарби, яка відіграє важливу роль у визначенні глянцею зображення, оптичної густини відбитка та його зовнішнього вигляду.

Як видно з представлених мікрофотографій (рис. 4.10), структура поверхні фотопаперу складається з кількох шарів, один з яких взаємодіє з барвником (фарбою), фіксуючи його і не даючи розтікатися. Також фотопапір у своїй структурі містить шар галогеніду срібла. На поверхні відбитка фарбовий шар утворює пористу, неоднорідну структуру. Більш щільна структура фотопаперу сприяє утворенню великої кількості між волоконних зв'язків, що робить папір міцним на розрив і продавлювання.

Дослідження механізму взаємодії адгезиву і субстрату полягає у виявленні багатогранних зв'язків між структурою паперу UPM Digi Color та плівки (рис. 4.11), які тісно пов'язані з технологією гарячого ламінування.



а)



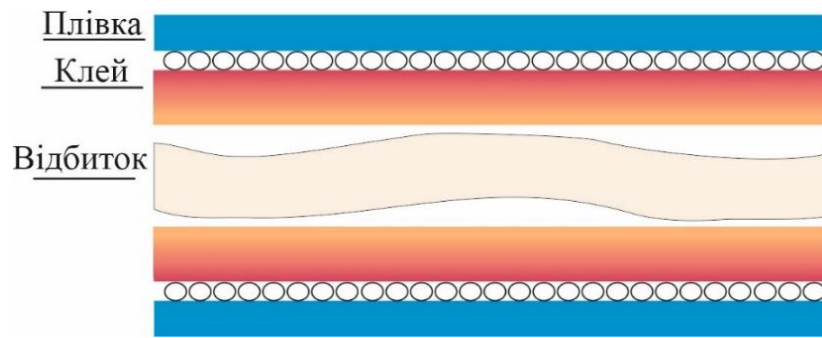
б)

Рис. 4.11. Мікрофотографії структури поверхні та поперечні зрізи паперу UPM Digi Color: а) – без ламінування; б) – з ламінуванням

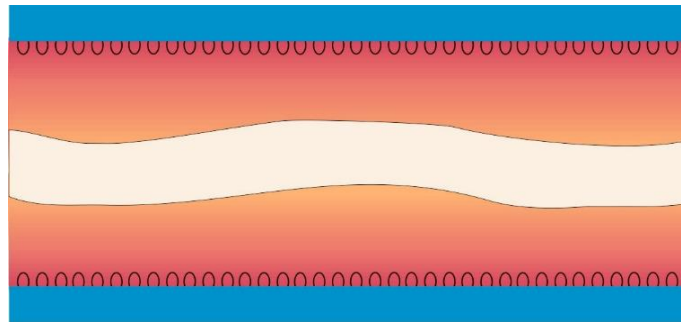
Як видно з мікрофотографій, на задрукованому відбитку спостерігається чітка границя між плівкою та папером, а на відбитках без ламінації, де поверхня більш шорстка, границя розмита.

4.3. Дослідження механізму взаємодії складових системи «плівка – клей – відбиток» при утворенні ламінату

Розглянемо механізм взаємодії клею, плівки і паперового відбитку цифрового друку на основі імітаційного моделювання(рис. 4.12).



а)



б)

Рис. 4.12. Імітаційна модель процесу гарячого ламінування друкарських відбитків: а) – до ламінування; б) – після ламінування

Як видно з рис. 4.12 розігрітий між валиками клей на поверхні плівки проникає в пори паперу і під тиском проникає в його структуру.

Механізм адгезії плівки до паперового відбитка можна пояснити, з одного боку, механічною адгезією, де з'єднання відбувається під дією притискування плівки до паперу у ламінації розігрітими каландрувальними валами, а з другого боку, адгезія клею на внутрішній стороні плівки та паперу відбувається шляхом фізичних і хімічних зв'язків. Клей потрапляє в мікропори паперу і застигає, відбувається механічне з'єднання (рис. 4.13а).

Молекули адгезиву і молекули субстрату притягуються одна до одної в біполярному стані шляхом міжмолекулярних сил. Відбувається молекулярна взаємодія, в результаті чого плівка і відбиток склеюються (рис.4.13б). На наступному етапі утворюються ковалентні або водневі зв'язки між адгезивами та субстратом, внаслідок чого досягається адгезія (рис. 4.13в).

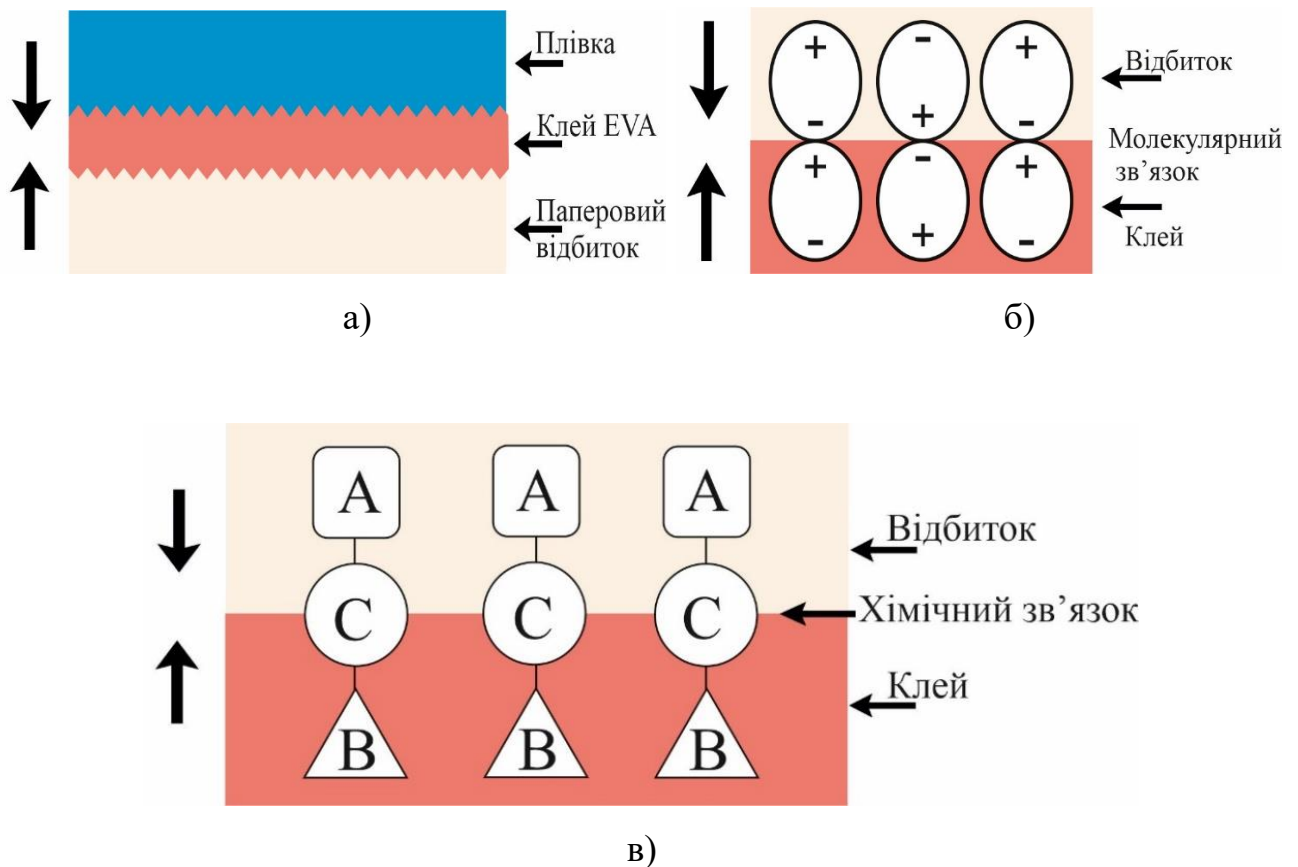


Рис. 4.13. Етапи процесу взаємодії складових системи «плівка – клей – відбиток» при ламінуванні: механічне з'єднання (а); молекулярна взаємодія (б); утворення ковалентних або водневих зв'язків (в)

Плівка для гарячого ламінування виконана з матеріалу, здатного витримувати температуру понад 110°C , тому при впливі гарячих валів на матеріал плавиться тільки клей, а полімер фіксується без дефектів і деформацій. Гарячий розплавлений клейовий склад у момент проходження під першою парою гарячих валів проникає у всі пори картону та паперу. Потім матеріал подається на витяжні вали, де клей застигає, приймаючи перманентний стан та утворюючи надійний фіксуючий шар. Перевагою такої технології є отримання ламінації з високими оптичними характеристиками, завдяки яким продукція має більш насичені та яскраві відтінки.

Дослідження показали, що в ході припресування плівок має місце внутрішня напруженість, яка впливає на рівномірність та міцність з'єднання плівки з паперовою основою. Після експлуатації ламінованих відбитків їх

згинання та скручування можуть призвести до відшарування припресованої плівки від основи. Крім того, плівка при гарячому ламінуванні піддається термоусадці. Відомо, що ступінь термоусадки значно збільшується зі зростанням температури. Очевидно, що під впливом температури й тиску у плівках та їх структурі збільшується кількість кисневмісних реактивно здатних груп (CO , COOH), збільшення яких підвищує адгезію поліпропіленової плівки до паперового відбитка. Тому важливо дотримуватись оптимальної температури й тиску. Задля міцності склеювання полімерної плівки з папером та зменшення величини деформації, щоб уникнути небажаного жолоблення ламінованого матеріалу, варто плівку акліматизувати (витримати не менше двох діб до моменту використання). В процесі припресовування полімерної плівки з папером відбувається взаємодія у вузлах розплавленого клейового шару з поверхнею волокон. Важливою є реальна площа контактної взаємодії плівки з основою відбитка. Якщо вона зменшується, то можливе розшарування ламінованого відбитка.

Застосування плівок для ламінування відбитків струменевого друку (ink-jet) вимагає досконалого вивчення способу їх взаємодії. Незадруковані фотопапери мають переважно кращу адгезію до плівки, ніж відбитки з нанесеним фарбовим шаром. Ламінування задрукованого неосновними кольорами матеріалу є проблематичнішим у порівнянні з основними. Зображення, віддруковані пігментними фарбами, важче піддається ламінуванню, ніж ті, які були задруковані без пігментними фарбами. Сьогодні близько 80% продукції, задрукованої за допомогою струменевого способу друку, підлягає ламінуванню.

4.4. Термогравіметричний аналіз ламінованих відбитків цифрового друку

Одним зі змінних факторів, що впливають на технологічний процес, є температура припресування плівки до задрукованого матеріалу. Оскільки для виготовлення поліграфічної продукції використовують різноманітні

поліпропіленові композиційні матеріали, які підлягають термічній обробці, у дослідженні застосовано термогравіметричний аналіз. Низька температура уповільнює процес розкладання, тоді як підвищення температури може в деяких випадках призвести до руйнування або спалювання матеріалів.

Було проведено термогравіметричні дослідження картону, фотопаперу, глянцевої поліпропіленової плівки (BOPP) і ламінованого фотопаперу.

На рис. 4.17 представлена термограма картону Arktika. Аналіз термограми показує, що втрата маси (5,23%) відбитка на картоні в температурному інтервалі 20–170 °C на першій стадії термолізу відповідає присутньому виділенню летких компонентів. Цей процес супроводжується появою ендотермічного ефекту на кривій DTA, з максимумом за температури 95 °C. Зразок картонного відбитка проявляє незначну втрату маси (0,41%) в області температур 170–217 °C на другій стадії термолізу, що зумовлено протіканням початкових термоокисних процесів найменш термічно стійкої компоненти. Про це свідчать незначний вигин на кривій DTG та відхилення каналу DTA в область екзотермічних ефектів (рис. 4.14).

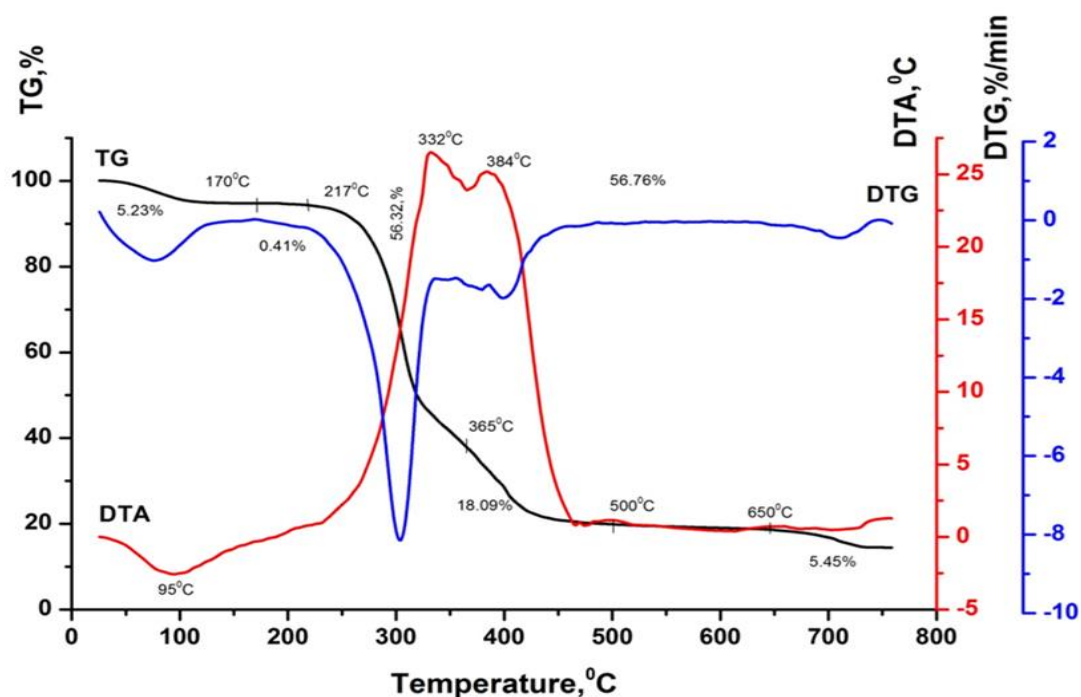


Рис. 4.14. Термограма зразка відбитку на картоні Arktika

Стрімка втрата маси (56,32%) зразка відбитка в температурному діапазоні 217 – 365 °C, що відбувається на третій стадії термолізу, зумовлена протіканням активних деструктивних та термоокисних процесів у целюлозі. Цьому процесу відповідає поява глибокого екстремуму на кривій DTG, з максимумом за температури 303 °C, та високого екзотермічного ефекту на кривій DTA, з максимумом за температури 332 °C. Поступова втрата маси (18,09%) картонного відбитка Arktika в області температур 365 – 500 °C, на четвертій стадії термолізу, зумовлена згоранням піролітичного залишку. На кривій DTA процесу відповідає поява чіткого екзотермічного ефекту (з максимумом за температури 384 °C) та екстремуму на кривій DTG (з максимумом за температури 400 °C).

На п'ятій стадії термолізу в температурному інтервалі 635 – 750 °C відбувається розклад карбонатної складової досліджуваного відбитка, що супроводжується незначною втратою маси картону Arktika (5,45%) та появою неглибокого ендотермічного ефекту на кривій DTA.

Результати термогравіметричного (TG), диференційного термогравіметричного (DTG) та диференціального термічного (DTA) аналізів зразків фотопаперу та плівки у вигляді термограм (рис. 4.15 – 4.17) та табл. 4.1.

Термогравіметричні криві (TG) відображають втрату маси зразка в процесі його нагрівання. Криві диференційного термогравіметричного аналізу (DTG) відображають швидкість втрати маси зразків і є результатом диференціювання кривих TG. Криві диференційного термічного аналізу (DTA) показують теплові ефекти, що супроводжують відповідні перетворення зразків.

Таблиця 4.1

Результати термічного дослідження зразків: фотопаперу, плівки та
ламінованого фотопаперу

Зразок	Температурний інтервал, °C	Втрата маси, %
Поліпропіленова плівка (BOPP)	222 – 302	14,6
	302 – 375	24,8
	375 – 550	58,4
Фотопапір	20 – 210	5,3
	210 – 379	49,1
	379 – 600	19,7
Ламінований фотопапір	20 – 210	5,2
	210 – 258	4,7
	258 – 374	47,3
	374 – 500	19,7

Відповідно до результатів дослідження [110, 111] комплексного термічного аналізу відбитка фотопаперу (рис. 4.15) в температурному інтервалі від 20 до 210 °C спостерігається виділення адсорбованої вологи (5,3%). Цей процес супроводжується появою ендотермічного ефекту на кривій DTA, з максимумом за температури 100 °C.

У температурному діапазоні від 210 до 379 °C відбувається термічний розклад органічної складової відбитка, а також згорання летких продуктів, що утворюються внаслідок розкладу. Цей процес супроводжується швидкою втратою маси відбитка (49,1%) та появою екзотермічного ефекту з максимумом при температурі 342 °C. Максимальній швидкості втрати маси (7%/хв) відповідає температура 300 °C.

В температурному діапазоні від 379 до 600 °C протікає згорання піролітичного залишку відбитка фотопаперу. Цьому процесу відповідає значна

втрата маси відбитка (19,7%) та поява стрімкого екзотермічного ефекту на кривій DTA, з максимумом за температури 432 °С.

Подальше зростання температури вище 600 °С викликає розкладання мінеральних наповнювачів, які входять до складу фотопаперу.

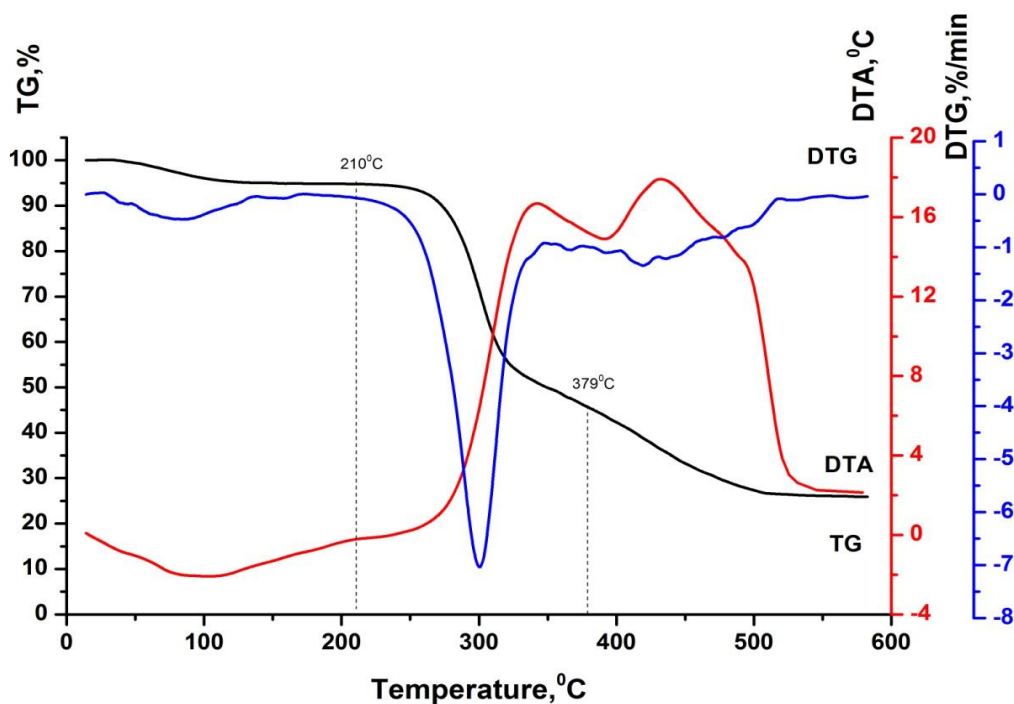


Рис. 4.15. Термограма зразка відбитку на фотопапері

Відповідно до результатів термічного аналізу поліпропіленової плівки (BOPP) (рис. 4.16) поява неглибокого ендотермічного ефекту на кривій DTA в області температур 150 – 195 °С, який відбувається без втрати маси, відповідає процесу плавлення поліпропілену.

Деструктивні зміни в плівці спостерігаються при температурах, що перевищують 222 °С. Втрата маси поліпропіленової плівки (14,6%) в області температур від 222 до 302 °С свідчить про термоокисну деструкцію плівки. Цей процес супроводжується екзотермічним ефектом на кривій DTA, з максимумом при температурі 260 °С, та чітким екстремумом на кривій DTG.

В температурних інтервалах 302 – 375 °С та 375 – 550 °С відбувається згорання продуктів деструкції поліпропілену та піролітичного залишку

поліпропіленової плівки. Цим процесам відповідає поява екзотермічних ефектів на кривій DTA та стрімких екстремумів на кривій DTG. Втрата маси поліпропіленової плівки в області температур 302 – 375 °C і 375 – 550 °C складає 24,8% і 58,4% відповідно.

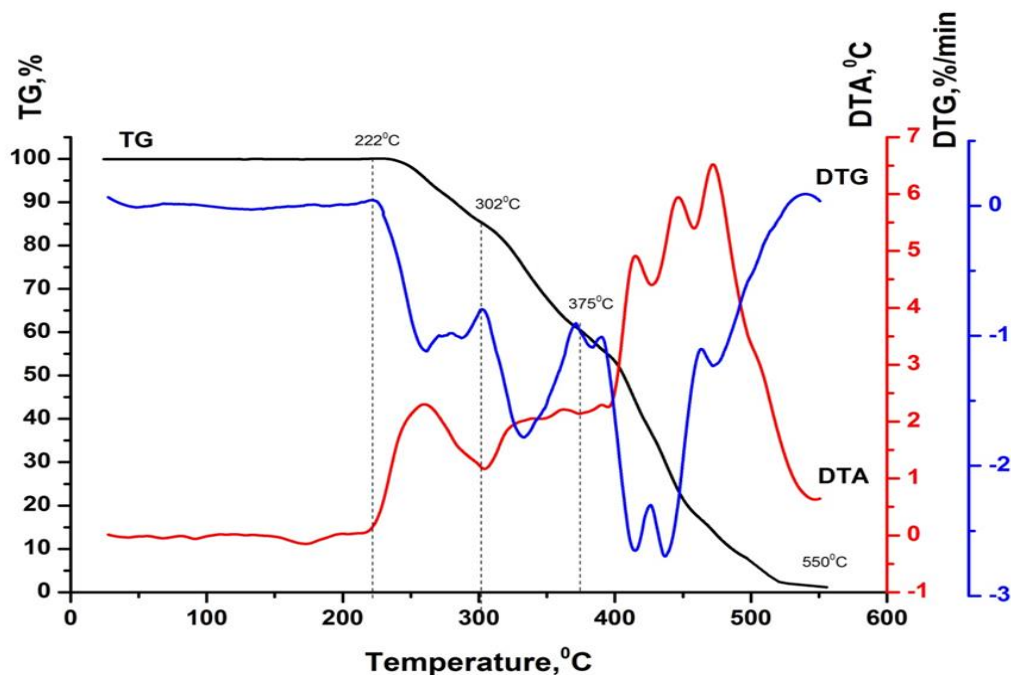


Рис. 4.16. Термограма зразка поліпропілену

Відповідно до результатів термічного аналізу ламінованого фотопаперу (рис. 4.17), втрата маси становить (5,2%) в області температур 20 – 210 °C відповідає виділенню води, адсорбованої зразком. Цей процес супроводжується незначним ендотермічним ефектом на кривій DTA.

Поступова втрата маси (4,7%) ламінованого відбитка в температурному діапазоні 210 – 258 °C свідчить про початок розкладу органічних компонентів фотопаперу, які входять до складу ламінованого фотопаперу, та термоокисній деструкції поліпропілену (BOPP). На кривій DTA в цьому температурному інтервалі спостерігається екзотермічний ефект з максимумом при температурі 235 °C.

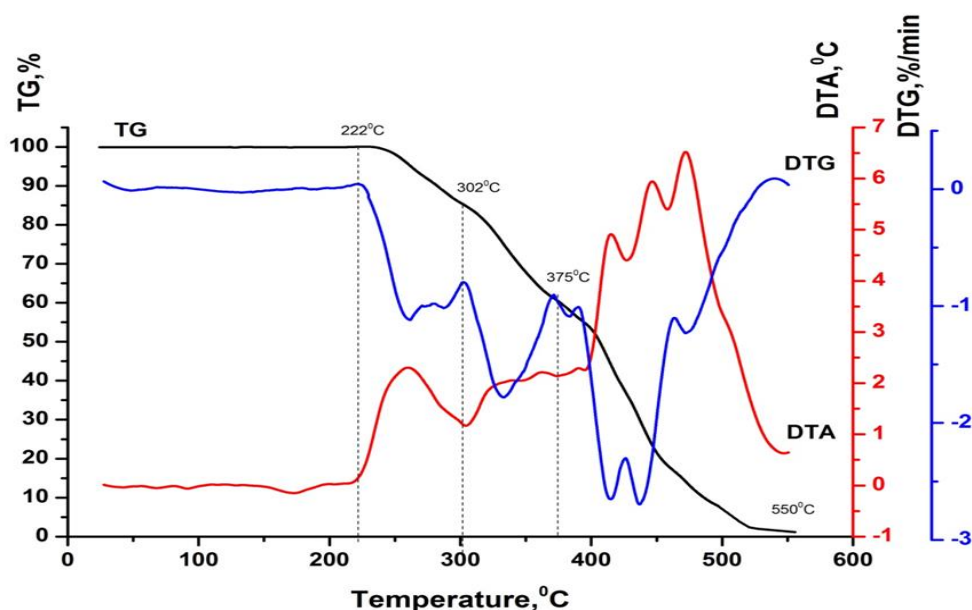


Рис. 4.17. Термограма ламінованого зразка фотопаперу

Значна втрата маси (47,3%) ламінованого фотопаперу в температурному діапазоні 258 – 374 °C відповідає глибокому термоокисленню та згорянню продуктів розкладу компонентів ламінованого фотопаперу. Цей процес супроводжується різким екзотермічним ефектом на кривій DTA, з максимумом при температурі 335 °C. Максимальна швидкість втрати маси (4,4%/хв) спостерігається при температурі 305 °C.

В області температур 374 – 600 °C відбувається згорання піролітичного залишку зразка, якому відповідає стрімкий екзотермічний ефект.

Таким чином, результати термічного аналізу показали, що інтенсивна втрата маси досліджуваного картону Arktika зумовлена протіканням в ньому активних деструктивних та термоокисних процесів при температурах, вищих за 217 °C, що дозволяє безперешкодне якісне виконання процесу ламінування відбитка цифрового друку.

Отже, за результатами термічного аналізу ламінованого та неламінованого фотопаперу втрата маси становить (5,2 %) в області температур 20 – 210 °C, що відповідає виділенню вологи, адсорбованої відбитком. Втрата маси поліпропіленової плівки становить в області температур 302 – 375 °C і 375 – 550 °C складає 24,8% і 58,4% відповідно.

Висновки до розділу 4

1. Дослідження топографії поверхні відбитка вказує, що найбільша різниця профілів спостерігається у відбитку з припресованою плівкою та без на фотопапері Fujicolor (від 7,0 до 12,4 μm), а найменша різниця на картоні Arktika (від 9,9 до 10,4 μm).

2. Аналіз мікрофотографій плівок показав, що здебільшого шар клею нанесено рівномірним шаром, що забезпечує добру адгезію плівок до відбитків. Проведені дослідження показали, що зустрічаються незначні дефекти, які проявляються у нерівномірності адгезиву на поверхні плівок. За допомогою оптичних мікроскопічних досліджень встановлено процес проникнення фарби, що залежить від способу друку та структури задрукованого матеріалу, його товщини, пористості, а також проведено дослідження поверхні задрукованих матеріалів до та після ламінації.

3. На основі теоретичних і практичних досліджень розроблена імітаційна модель взаємодії елементів системи «плівка – клей – відбиток», в результаті чого визначено, що в процесі гарячого ламінування відбувається три етапи: механічне з'єднання, молекулярна взаємодія, утворення ковалентних або водневих зв'язків, які забезпечують міцність утвореного ламінату.

4. За результатами термічного аналізу досліджуваних відбитків слід відзначити, що відбиток фотопаперу Fujicolor із нанесеним поліпропіленом (BOPP) у порівнянні із відбитком фотопаперу Fujicolor без плівки відрізняється меншим вмістом вологи. Слід зазначити, що глибокі деструктивні та термоокисні процеси в зразку ламінованого фотопаперу Fujicolor протікають менш інтенсивно, ніж у неламінованому зразку. Про це свідчить менша швидкість втрати маси ламінованого фотопаперу Fujicolor (4,4%/хв), у порівнянні із неламінованим зразком (7,0%/хв). Відбиток ламінованого фотопаперу Fujicolor відрізняється меншим за величиною екзотермічним ефектом. Таким чином, результати термічного аналізу показали, що інтенсивна втрата маси досліджуваних зразків дозволяє безперешкодне якісне виконання процесу ламінування відбитка цифрового друку.

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛАМІНОВАНИХ ВІДБИТКІВ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЛАМІНУВАННЯ

5.1. Дослідження механічної стійкості ламінованих відбитків до розшарування та продавлювання

На рис.5.1 наведено графіки відшарування плівки товщиною 24 мкм від відбитку, утвореного лазерним та струменевим друком.

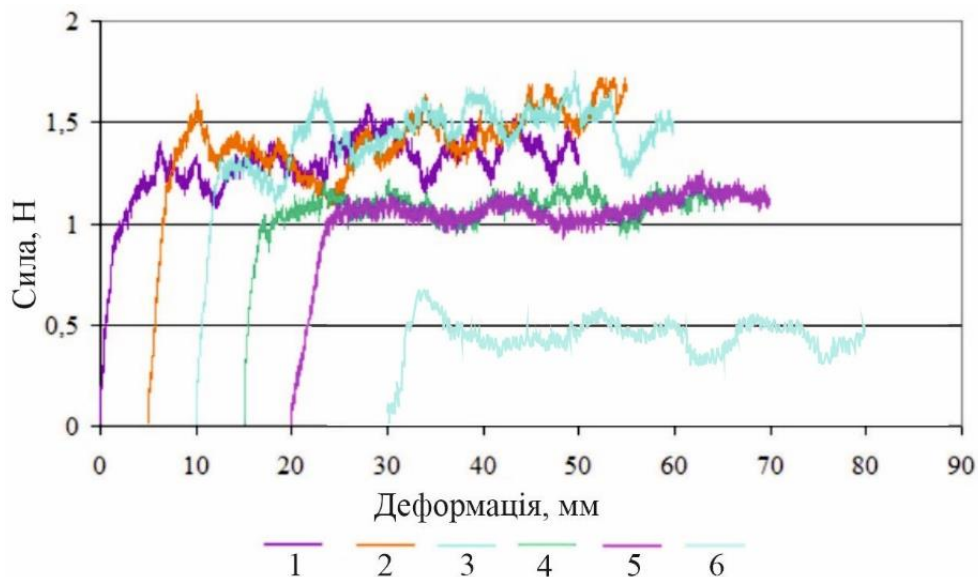


Рис. 5.1. Криві зусиль, необхідних для відшарування плівки товщиною 24 мкм від відбитків лазерного друку: 1 – на папері UPM Digi Color; 2 – на папері Fujicolor; 3 – на картоні Arktika; на відбитка струменевого друку: 4 – на папері UPM Digi Color; 5 – на картоні Arktika; 6 – на папері Barva

Аналіз результатів випробувань на рис. 5.2 показує, що середнє зусилля, необхідне для розшарування, становить 0,47 Н.

Дослідження розшарування ламінованих зразків показали, що відбувається нерівномірний змішаний когезійний зв'язок. У випадку зразків 1 – 3 під час відшаровування плівки волокна з верхнього шару картону виривалися або по

всій поверхні зразка (рис. 5.2а), або лише локально (рис. 5.2б). З отриманих даних випливає, що зусилля, необхідне для розшарування таким чином, становить 1,28 Н, а опір розшаруванню – 45,33 Дж/м².

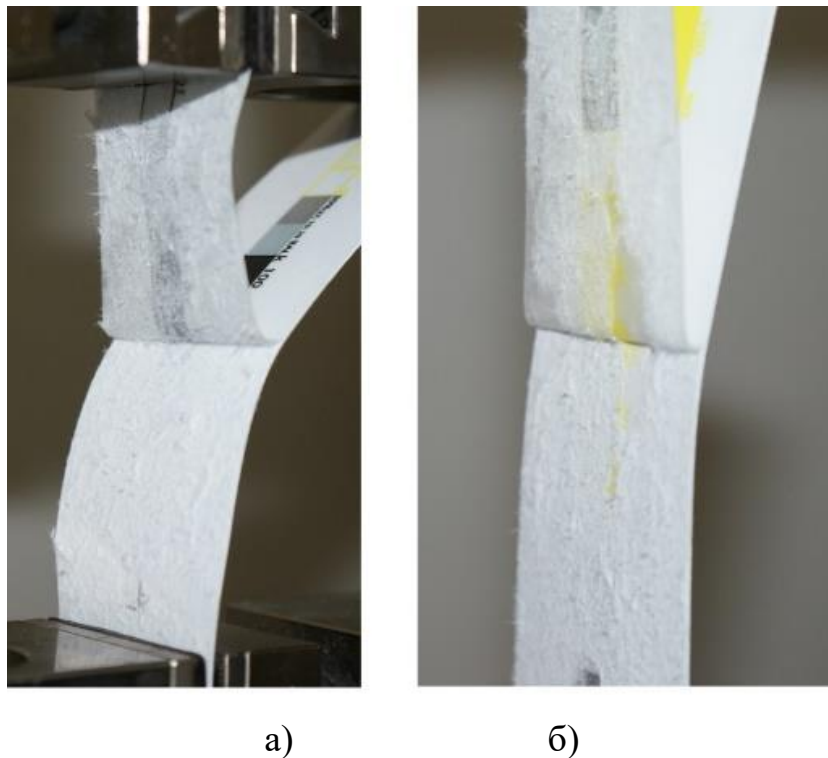


Рис. 5.2. Відшарування ламінаційної плівки від відбитків цифрового лазерного друку на картоні Arktika, що відбувається разом з волокнами: а) – по всій поверхні зразка; б) – локально під час випробування на розшарування

Як видно з рис. 5.3 розшарування відбулося в структурі паперу, де опір розшаруванню склав 35,33 Дж/м².



Рис. 5.3. Розрив ламінованого відбитка лазерного паперу Fujicolor під час тестування на розшарування

З рис. 5.4 видно, що розділення компонентів ламінованого зразка на межі плівки (товщина 34 мкм) – цифровий папір під час тестування на розшарування вимагає опору 16,67 Дж/м².

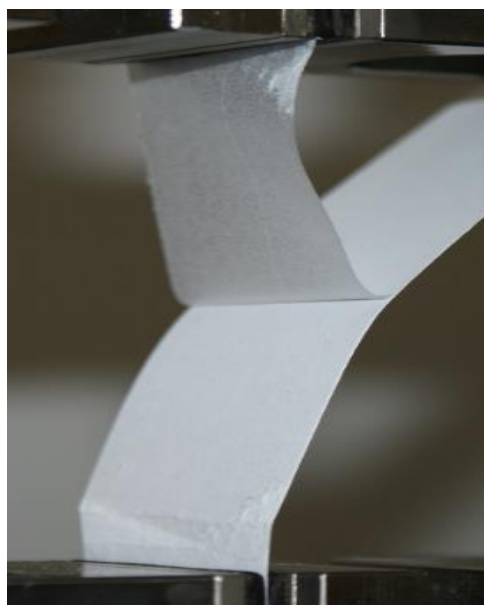


Рис. 5.4. Розділення компонентів на межі плівки-цифровий папір під час тестування на розшарування ламінаційної плівки з товщиною плівки 34 мкм

Відшарування плівки товщиною 34 мкм (рис. 5.5) від цифрових відбитків відбувалося в усіх випадках, причому волокна більшою чи меншою мірою виривалися з поверхні паперу. Для розшарування ламінованого відбитка знадобилося зусилля 1,66 Н, а опір розшаруванню становив 52,67 Дж/м².

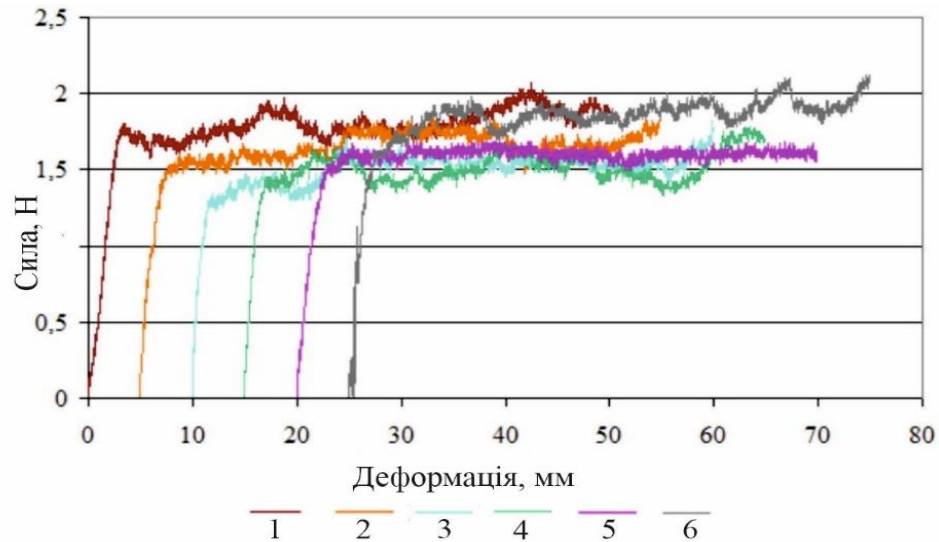


Рис. 5.5. Криві зусиль, необхідних для відшарування ламінаційної плівки (товщиною 34 мкм) від відбитків лазерного друку: 1 – на папері UPM Digi Color; 2 – на папері Fujicolor, 3 – на картоні Arktika; на відбитку струменевого друку: 4 – на папері UPM Digi Color; 5 – на картоні Arktika; 6 – на папері Barva

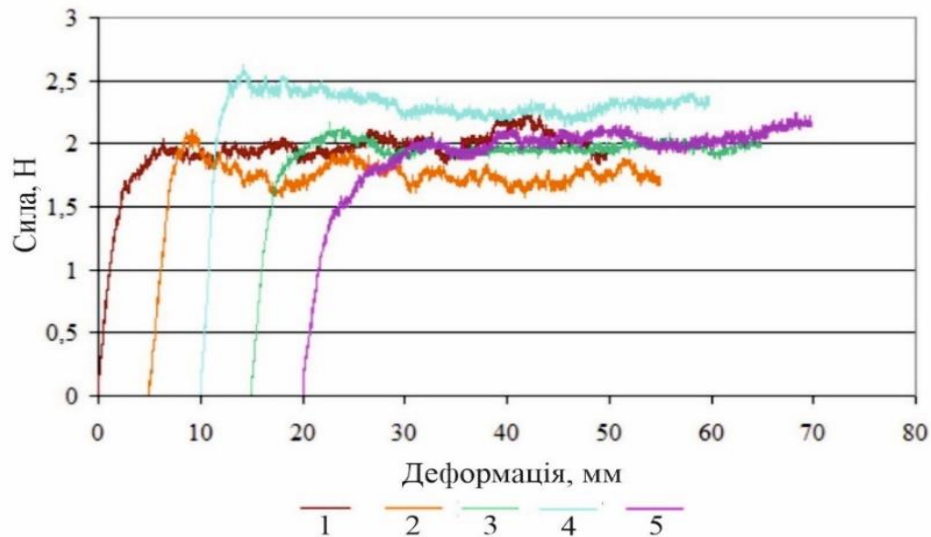


Рис. 5.6. Криві зусиль, необхідних для відшарування ламінаційної плівки (товщиною 50 мкм) від відбитків лазерного друку: 1 – на папері UPM Digi Color; 2 – на папері Fujicolor, 3 – на картоні Arktika; на відбитку струменевого друку: 4 – на папері UPM Digi Color; 5 – на картоні Arktika

У випадку ламінованого відбитка з товщиною плівки 50 мкм (рис. 5.6) процес розшарування полягав у відриві ламінуючої плівки від паперу, але, на жаль, волокна також були вирвані з поверхні паперу. У цьому випадку опір розшаруванню становить 64 Дж/м².

Таблиця 5.1

Зведені дані про зусилля та енергію, необхідні для розриву
ламінованого відбитка

Товщина плівки [μm]	Відшарування плівки від паперу з одночасним розривом волокон				Розшарування волокнистого шару		Відшарування плівки від волокнистого шару					
	сила, Н		робота, Дж		сила, Н		робота, Дж		сила, Н		робота, Дж	
24	проба	1,32	проба	0,70	проба	1,09	проба	0,54	проба	0,49	проба	0,26
		1,42		0,71		1,07		0,52		0,46		0,23
		1,11		0,64		-		-		-		-
	$\bar{x}$	1,28	$\bar{x}$	0,68	$\bar{x}$	1,08	$\bar{x}$	0,53	$\bar{x}$	0,47	$\bar{x}$	0,25
34	проба	1,80	проба	0,87	не спостерігалось		не спостерігалось					
		1,66		0,79								
		1,52		0,75								
		1,52		0,77								
		1,60		0,78								
		1,87		0,78								
	$\bar{x}$	1,66	$\bar{x}$	0,79								
50	проба	1,97	проба	0,96	не спостерігалось		не спостерігалось					
		1,77		0,87								
		2,32		1,05								
		1,97		0,96								
		1,98		0,96								
	$\bar{x}$	2,00	$\bar{x}$	0,96								

Таблиця 5.2

Результати досліджень стійкості до розшарування ламінованих відбитків

Товщина плівки [μm]	Виміряні значення	Відшарування плівки від паперу з одночасним розривом волокон	Розшарування волокнистого шару	Відшарування плівки від шару волокон
24	сила, Н	1,28	1,08	0,47
	робота, Дж	0,68	0,53	0,25
	опір розшарування, Дж/м ²	45,33	35,33	16,67
34	сила, Н	1,66	не спостерігалось	
	робота, Дж	0,79		
	опір розшарування, Дж/м ²	52,67		
50	сила, Н	2,00		
	робота, Дж	0,96		
	опір розшарування, Дж/м ²	64		

Як показали дослідження (табл. 5.1 – 5.2), розшарування ламінованих відбитків відбувалося в усіх випадках за змішаним механізмом адгезійного з'єднання, в результаті чого відшарування ламінуючої плівки разом з відірваними волокнами субстратів. Зі збільшенням товщини ламінуючої плівки зростає стійкість ламінованих відбитків до розшарування. Тільки в поодиноких випадках при застосуванні тонкої ламінуючої плівки (24 мкм) розшарування

ламінітів відбувалося шляхом відривання плівки від відбитка без часткового міцного адгезійного зв'язку.

У результаті проведених експериментальних досліджень [148, 149]. друкарських відбитків, отриманих на папері UPM Digi Color, картоні Arktika і фотопапері Fujicolor визначено здатність зразків до розриву та продавлювання (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Експериментальні значення зусиль розриву й продавлювання
ламінованих відбитків

T, °C	Розривне зусилля, F, кг			Зусилля продавлювання, P, кПа		
	Швидкість ламінування, V, об/хв					
	2.75	3	3.25	2.75	3	3.25
	Відбитки на папері UPM Digi Color 300 г/м ²					
90	10	10.7	10.8	64	66	68
95	10.8	10.9	11	65	67.2	69
116	11.9	12	12.2	79	80	82
125	10.9	11	11.5	75	77	78
130	10.2	10.9	11	70	72	74
Відбитки на фотопапері Fujicolor 200 г/м ²						
90	9.8	10	10.8	165	169	172
95	11.2	11.5	11.7	171	174	179
116	12.7	13	14	199	200	202
125	10.9	11.6	11.8	179	180	183
130	10.5	10.6	11.4	167	170	172
Відбитки на картоні Arktika 200 г/м ²						
90	10	10.6	10.8	164	169	170
95	11	11.2	11.8	168	170	173
116	14.7	14.9	15.6	178	180	184

Продовження таблиці 5.3

125	13.5	14	14.2	166	169	170
130	11	11.8	11.9	166	170	171
Відбитки на картоні Arktika 300 г/м ²						
90	10.4	12	12.3	160	166	167
95	12.4	13.8	16	167.4	168	168.3
116	17.3	17.7	17.9	170	171	173
125	16.7	16.8	16.9	166	168	169
130	16	16.1	16.9	162	165	168

Аналіз отриманих даних показує, що між зусиллям продавлювання ламінованого відбитка і швидкістю ламінування існує певна залежність. При збільшенні швидкості ламінування зростає величина зусилля продавлювання. Ця тенденція характерна для всіх відбитків, незалежно від способу друкування та виду субстрату. Найменші зусилля для продавлювання спостерігаються у ламінованих відбитках на папері UPM Digi Color 300 г/м². Найбільші зусилля для продавлювання та розриву спостерігаються у ламінованих відбитках на фотопапері Fujicolor 200 г/м².

Аналіз мікроскопічних досліджень відбитків на фотопапері Fujicolor після продавлювання (рис. 5.7) показує, що руйнування відбувається поетапно: спочатку руйнується верхній задрукований шар, а потім відбувається розтягування плівки в ламінованих відбитків до руйнування. Окрім того, спостерігається не лише процес розривання зразка в місці продавлювання, але й деформація плівки, причому зі збільшенням прикладених зусиль при продавлюванні зростає деформація ламінату. Наявність шару галогеніду срібла робить відбиток на фотопапері міцнішим і стійкішим до механічних дій.

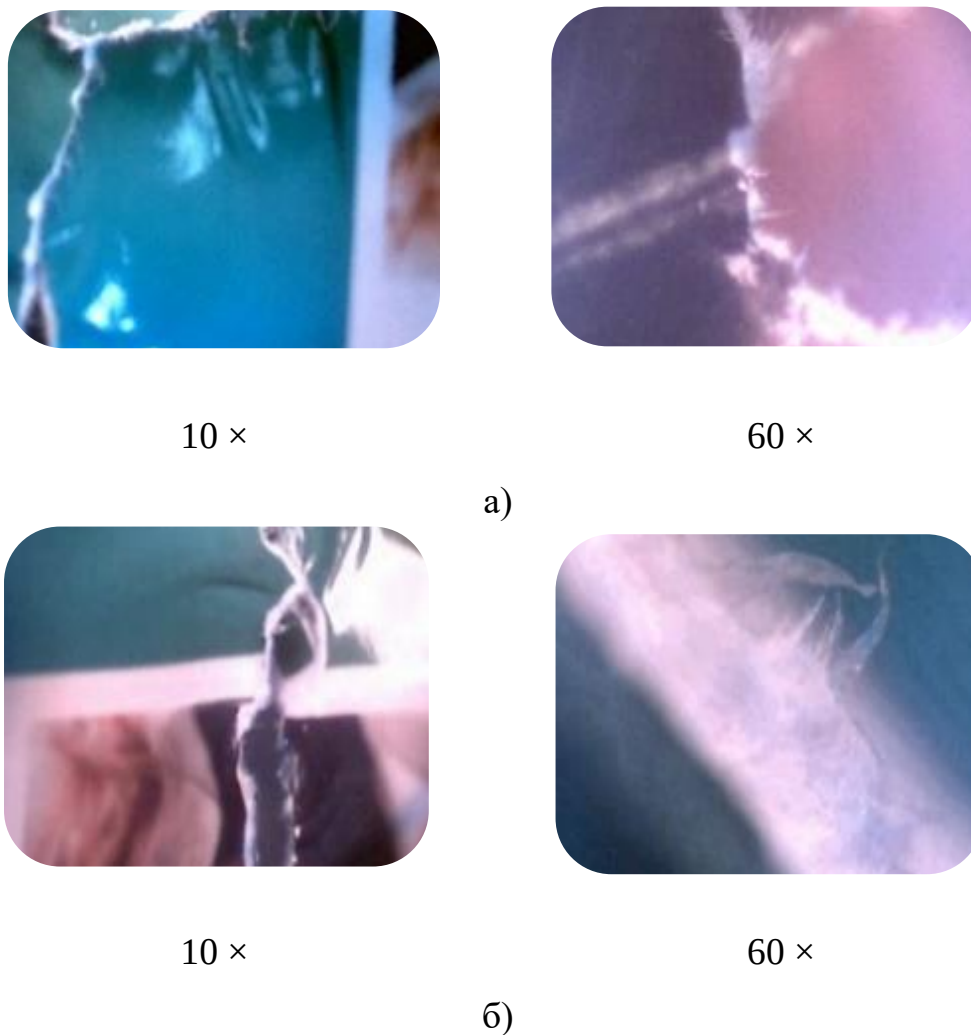


Рис. 5.7. Мікрофотографії (збільшення 10 – 60 ×) відбитків на фотопапері Fujicolor після продавлювання: а) – без ламінування; б) – з ламінуванням

Порівняно з фотопапером Fujicolor, фотопапір Barva має менші зусилля продавлювання та легше розшарування відбитка з плівкою (рис. 5.8а та б). Відшарування плівки між субстратом відбувається за змішаним механізмом: частково плівка відшаровується по клейовій основі, а місцями по заклеєних волокнах фотопаперу. Спостерігається нерівномірний взаємозв'язок плівки та задрукованого матеріалу.

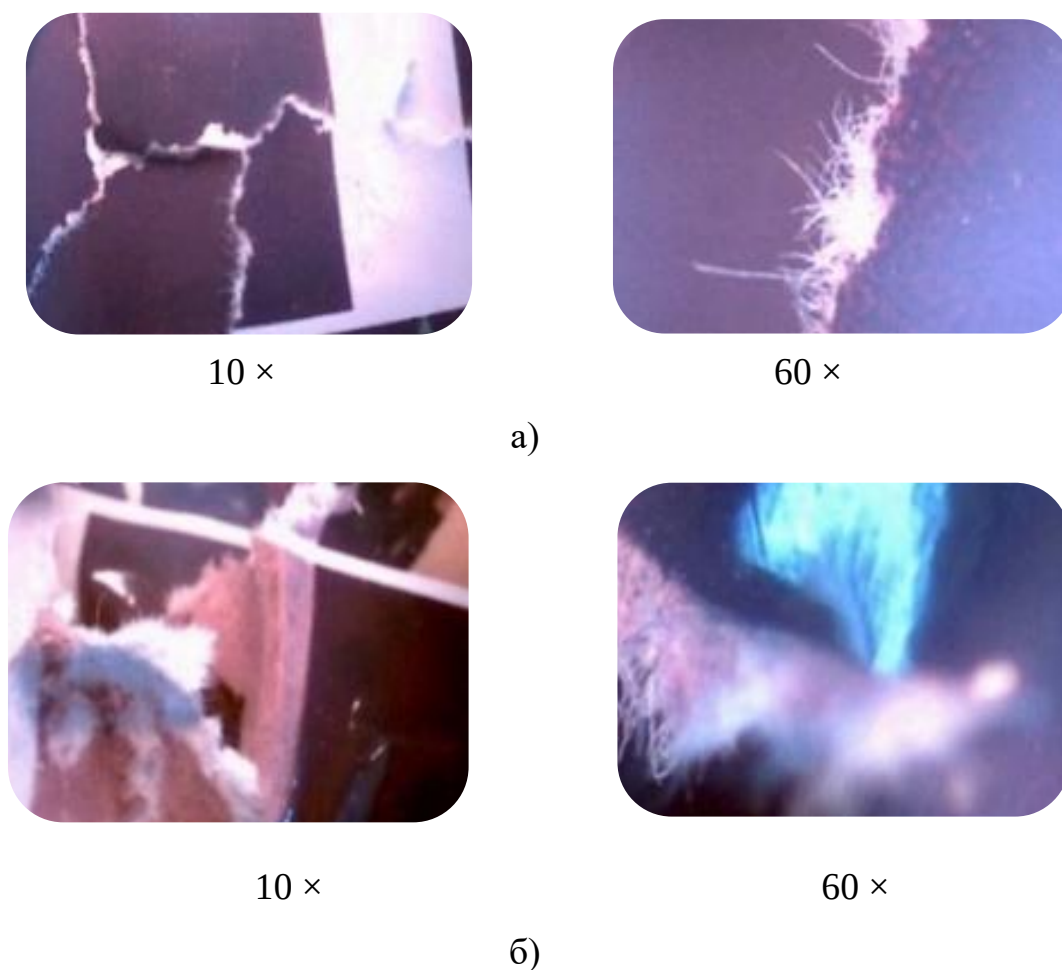


Рис. 5.8. Мікрофотографії (збільшення 10 – 60 ×) відбитків на фотопапері Barva після продавлювання: а) – без ламінування; б) – з ламінуванням

Міцність на продавлювання ламінованих відбитків UPM Digi Color порівняно з неламінованими зростає у 2 рази. На рис. 5.9 наведено мікрофотографії зразків відбитків до і після ламінування. Окрім того, можемо спостерігати подібні результати як у відбитку фотопаперу Barva. При продавлюванні спостерігається розшарування задрукованого верхнього шару від основи даного матеріалу в місці розриву та вищипування країв паперу.



10 ×



60 ×

а)



10 ×



60 ×

б)

Рис. 5.9. Мікрофотографії (збільшення 10 – 60 ×) відбитків на папері UPM Digi Color після продавлювання: а) – без ламінування; б) – з ламінуванням

На рис. 5.10 наведено мікрофотографії відбитків на картоні Arktika 300 г/м² у місцях продавлювання. Руйнування ламінатів відбувається поетапно: спочатку розтягується плівка, картон розривається по всій товщині, а згодом і руйнується сама плівка. Зусилля продавлювання ламінованого картонного відбитка у 4-5 разів більші, ніж без ламінування.



10 ×



60 ×

a)



10 ×



60 ×

б)

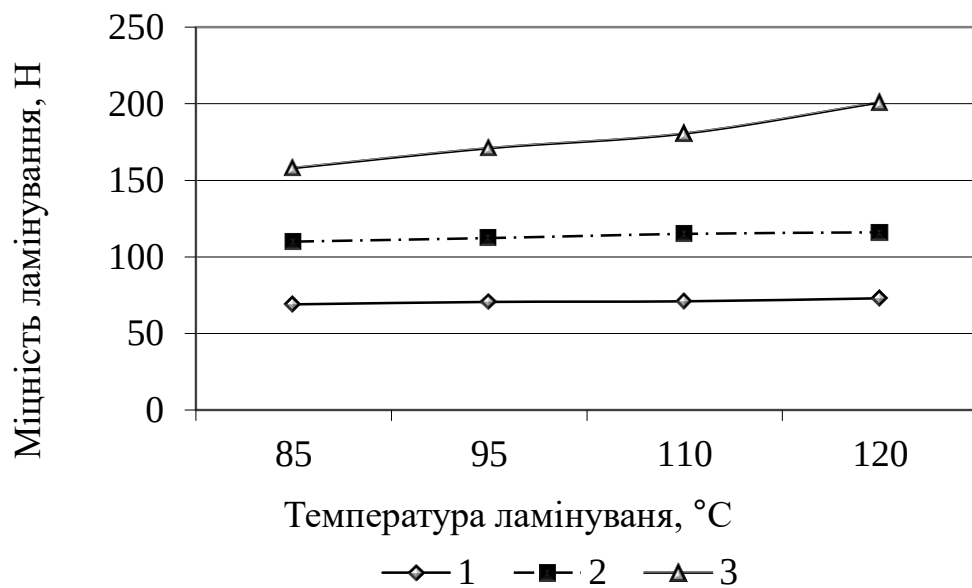
Рис. 5.10. Мікрофотографії (збільшення 10 – 60 ×) відбитків на картоні Arktika 300 г/м² після продавлювання: а) – без ламінування; б) – з ламінуванням

Аналіз мікрофотографій показує, що при продавлюванні ламінованих відбитків на першому етапі відбувається руйнування паперової основи відбитка, а потім настає деформація (або розрив) припресованої плівки. Також важливим показником для продавлювання є зусилля притиску, яке залежить від товщини паперу, адже чим більша товщина, тим більше потрібне зусилля для руйнування.

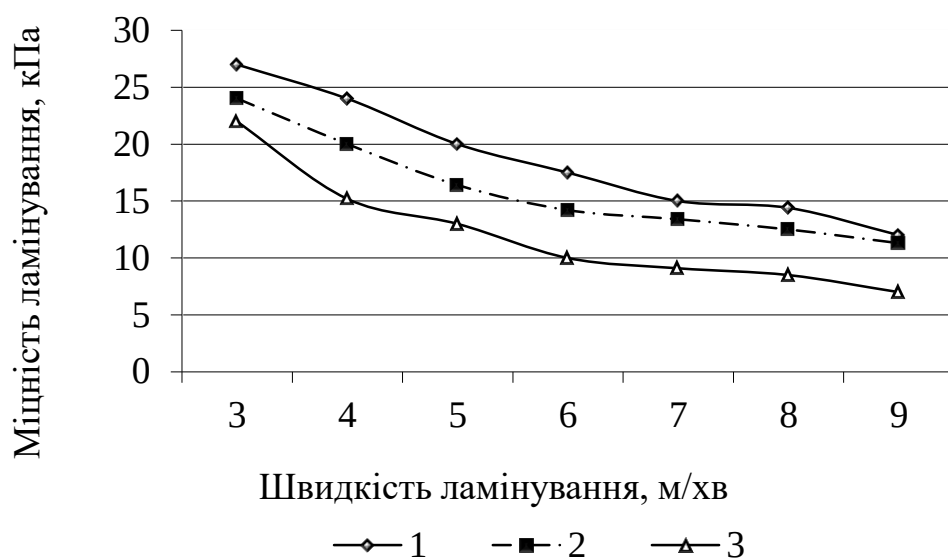
5.2. Дослідження впливу технологічних режимів ламінування на якість ламінатів

Аналіз результатів досліджень показує, що ламінувати відбитки доцільніше в повздовжньому напрямі, оскільки вони мають більші значення розривних зусиль, а отже, міцніші. Залежно від зміни температури прогріву нагрівного елемента відбувається корекція режиму ламінування для плівок та паперів. Збільшення густини плівки і паперу призводить до збільшення температури ламінування. Зворотний процес відбувається при зменшенні густини плівки і паперу (за нормальних умов температура ламінування може змінюватись в межах $7^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$).

Як видно з рис. 5.11а, збільшення температури ламінування призводить до підвищення міцності скріплення плівки з папером, причому на процес суттєво впливає маса субстрату.



а)

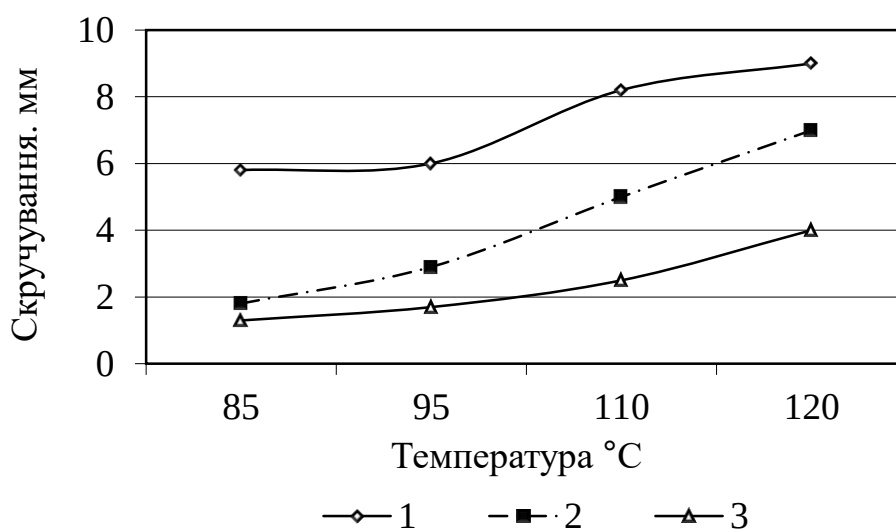


б)

Рис. 5.11. Залежність міцності ламінування відбитків на фотопапері від:
а) – температури; б) – швидкості ламінування; 1 – папір UPM Digi Color,
2 – фотопапір Fujicolor, 3 – картон Arktika

При збільшенні швидкості ламінування (зменшенні часу контакту системи плівка – папір із нагрітою поверхнею валів) міцність ламінування зменшується (рис. 5.11б).

На рис. 5.12 показані графічні залежності скручування ламінату.



а)

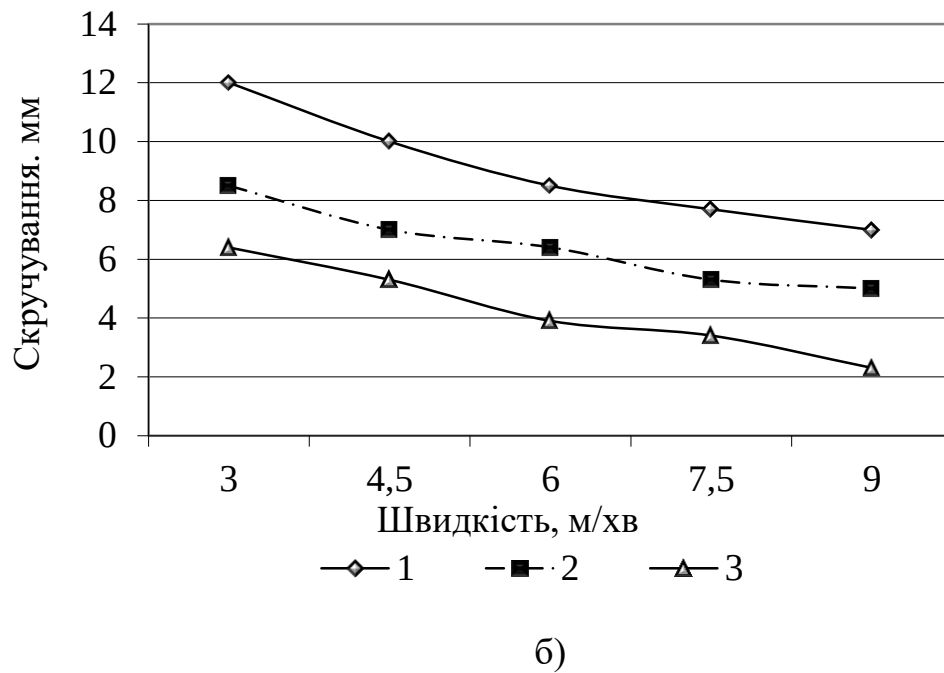


Рис. 5.12. Залежність скручуваності ламінованих відбитків від: а) – температури ламінування; б) – швидкості ламінування; 1 – папір UPM Digi Color, 2 – фотопапір Fujicolor, 3 – картон Arktika

Із залежностей на рис. 5.12а видно, що зі збільшенням температури ламінування підвищується схильність ламінованих відбитків до деформації, і вони починають скручуватися. Причому, чим менша маса паперу, тим більше він деформується. Так, при температурі ламінування 110°C спостерігається скручуваність відбитка на папері UPM Digi Color на 8,2 мм, фотопапері Fujicolor – на 5 мм, а картону Arktika – на 2,5 мм. При збільшенні швидкості ламінування (зменшення часу контакту) деформування ламінованих відбитків зменшується (рис. 5.12б). Так, відбитки на папері UPM Digi Color скручуються на 8 мм, фотопапері Fujicolor – на 6 мм, а картону Arktika – на 4 мм.

Таким чином, оскільки режимні та технологічні фактори мають неоднозначний вплив на якісні показники ламінування (міцність ламінування і скручуваність ламінованого відбитка), для знаходження оптимальних параметрів протікання процесу ламінування в кожному окремому випадку необхідно здійснити його математичне моделювання та оптимізацію.

5.3. Оптимізація технологічного процесу ламінування відбитків цифрового друку

Процес ламінування друкарських відбитків залежить від багатьох факторів. Технологія ламінування з використанням плівок з попередньо нанесеним клейовим шаром найбільше використовується в сучасному виробництві ламінованої продукції.

Технологічні вимоги до ламінованої продукції здебільшого продиктовані споживачами. Серед них значне місце відводиться естетичним показникам, міцності склеювання ламінаційної плівки до відбитку, стійкості їх до впливу зовнішнього середовища тощо.

Формалізація зв'язків між експлуатаційними вимогами до ламінованої продукції та технологічними режимами ламінування, а також їх приведення до загальноприйнятих задач інформатики, дозволяє здійснити оптимізацію процесу для покращення якості ламінування [150, 151].

Формулювання та розв'язування подібної задачі потребує врахування максимальної кількості вихідних параметрів, експертних оцінок їх важливості для впливу кожного з них на ламінований відбиток, а також аналізу взаємозв'язків і взаємодій між цими параметрами. Велика кількість параметрів, що впливають на якість ламінування поліграфічної продукції, створює значну кількість можливих зв'язків між ними.

Проведений аналіз наукових джерел показав, що на процес ламінування впливають різноманітні технічні та експлуатаційні фактори, такі як товщина плівки, топографія друкованої поверхні та спосіб друку, які потрібно враховувати для забезпечення високої якості продукції. Проте важливим аспектом для виробників є встановлення взаємозв'язку між режимами ламінування (температурою, швидкістю ламінування, тиском) і міцнісними властивостями ламінованої продукції. Саме ці експлуатаційні параметри є важливими для багатьох споживачів, які застосовують технологію ламінування для різноманітної пакувальної продукції, зокрема з зображеннями, надрукованими цифровим способом. Тому дуже важливо виявити та

оптимізувати фактори, що впливають на якість процесу ламінування, встановити їх величину для підвищення міцності продукції, а також спрогнозувати її якість, необхідну для задоволення потреб споживачів.

Аналіз проведеного експертного опитування та виокремлення факторів за суттю та ступенем впливу на якість ламінування, дозволив об'єднати їх, виділивши узагальнені параметри, які мають відношення до якості, естетичного рівня ламінатів, їх експлуатаційних характеристик тощо [152].

Сукупність параметрів, що впливають на якість ламінування включає:

- d1 - спосіб ламінування;
- d2- характеристика ламінатора;
- d3 - технологічні режими (швидкість, температура, тиск);
- d4 - структура поверхні відбитку (папір, фотопапір, картон) та їх товщина;
- d5 - характеристики плівок для ламінування;
- d6 – навколишнє середовище;
- d7 - якість ламінування.

На основі виділених параметрів побудовано граф (рис. 5.13) відповідно до методу [153 –155], який показав можливі взаємозв'язки між ними.

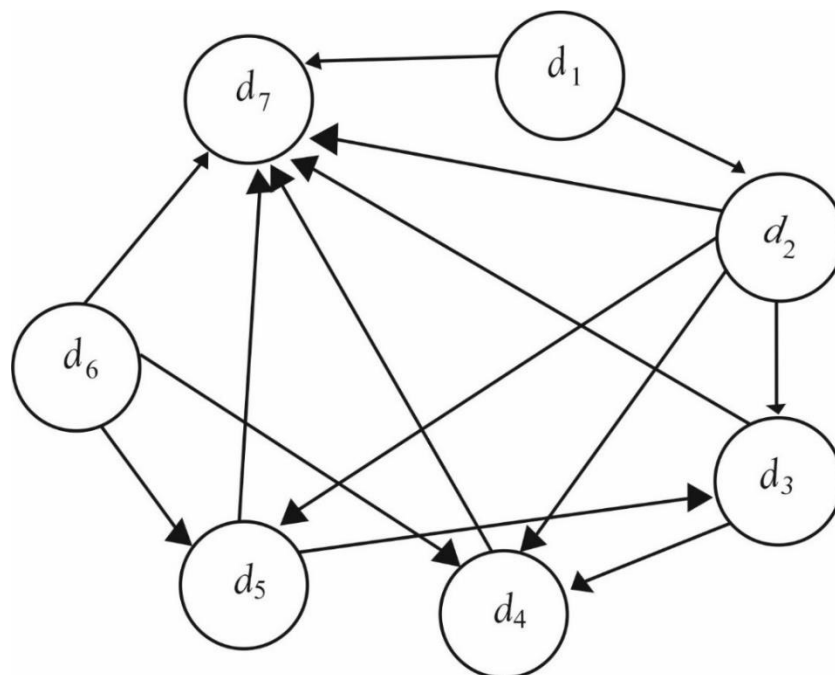


Рис. 5.13. Граф зв'язків між параметрами впливу на якість ламінування

Аналіз графу дозволяє розрахувати ієрархічні рівні та отримати пріоритетність впливу вибраних параметрів на якість ламінування.

З врахуванням думки експертів (фахівців поліграфічної галузі), можна стверджувати, що найвищий пріоритет має структура поверхні паперу цифрового лазерного та струменевого відбитку, режими (температура, тиск і час контакту плівки та відбитку) і спосіб ламінування. На наступному рівні знаходяться характеристики плівки і ламінатора. Суттєвий вплив на якість ламінування має вплив навколишнього середовища, як на етапі виконання процесу (зміна мікроклімату приводить до зміни фізико-механічних характеристик плівки і відбитку), так і на готові ламінати, спричиняючи їх жолоблення, скручування тощо.

Таким чином, моделювання процесу оцінки впливу сукупності параметрів на якість ламінування за допомогою графу та експертного опитування дозволило формалізувати та розв'язати задачу оптимізації режимів та процесу ламінування.

На основі системного аналізу технології оздоблення відбитків методом гарячого ламінування виокремлено її основні складові: матеріали O_m (папір, фотопапір, картон, плівка), технології ламінування O_l , процеси утворення ламінату O_n . Технологічний процес ламінування можна розглядати як самостійно функціонуючу систему, поведінка якої оцінюється за N величинами виходів U_i , які утворюють в певний момент часу t N -вимірний вектор поведінки системи, що змінюється в межах ($j=1, \dots, N$).

Цілеспрямована зміна поля поведінки U_m і підтримка його стабільним при впливі зовнішнього середовища (відносно до системи) в кожний момент часу здійснюється за рахунок управління факторами X_i , які утворюють K -вимірний вектор. Цей вектор можна змінювати всередині області факторного простору, границі якого ($i=1, \dots, K$) визначаються об'єктивними можливостями даного фактора або нормативом.

З точки зору оптимізації всі входи X_i і виходи U_i у технологічному процесі отримання ламінатів доцільно виділити в групи, які охоплюють технологічні та експлуатаційні параметри (рис. 5.14).

На виході системи утворюються чотири ієрархічні групи показників: U_t – технологічні показники, які об’єднують параметри X_j , X_c і X_r . До числа можливих U_t входять показники однорідності складників клею, плівки, ламінатів, оцінки їх властивостей та характеристик субстратів (паперу, фотопаперу та картону).

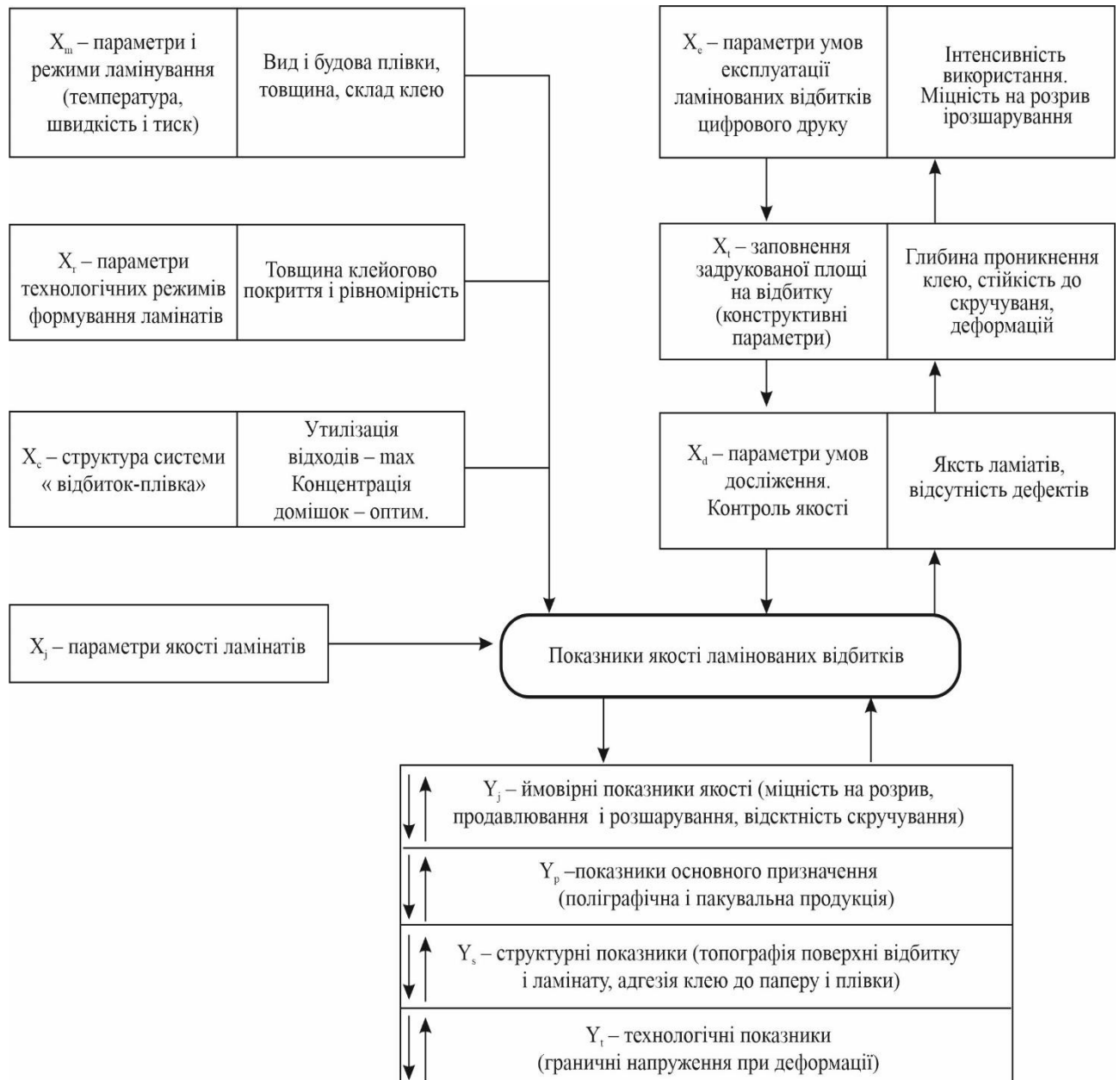


Рис. 5.14. Схема взаємозв'язку між основними компонентами системи технологічного процесу гарячого ламінування друкарських відбитків

U_s – структурні показники, які характеризують адгезійну міцність утвореного ламінату, топографію відбитка до і після ламінування, рівномірність клейового шару на плівці;

U_p – показники основного призначення ламінатів, інтенсивність використання, вплив чинників навколишнього середовища;

U_j – ймовірні показники якості та надійності використання ламінованої продукції;

U_t – технологічні показники, які визначають експлуатаційні показники ламінатів.

Аналіз системи друкарський відбиток-плівка вказує на існування множини факторів X_N , які впливають на функціонування системи в цілому.

Наявність в технологічній групі випадкових змінних (факторів) зумовлює стохастичну поведінку системи і визначає її причинно-наслідкові зв'язки, які повинні враховуватись для забезпечення надійності процесу ламінування продукції.

У результаті проведених експериментальних досліджень з визначення зусиль розриву та продавлювання ламінованих друкарських відбитків, отриманих на папері UPM Digi Color, картоні Arktika і фотопапері Fujicolor отримано числові значення (див. розділ 5.1, табл. 5.3), які лягли в основу визначення оптимальних режимів процесу ламінування методом математичного моделювання.

Встановлено певну залежність між зусиллям продавлювання ламінованого відбитка і швидкістю ламінування, яка показує збільшення при збільшенні швидкості ламінування. Найслабшими виявилися ламінати на основі відбитків на папері UPM Digi Color 300 г/м², а найміцнішими – ламіновані відбитки на фотопапері Fujicolor 200 г/м².

На основі досліджень [149, 156, 157] міцності ламінування відбитків на папері UPM Digi Color 300 г/м² була розроблена поліноміальна модель:

$$F_{UPM}(T, V) = 0.745346173V - 0.00345752982T^2 + 0.76572784T - 32.7039329432, \quad (5.1)$$

яка показує зусилля розриву ламінованого відбитку з абсолютною похибкою 0,26 кг.

Поверхня значень моделі $F_{UPM}(T, V)$, яка описує залежність зусилля розриву ламінованого відбитка на папері UPM Digi Color 300 г/м² від температури та швидкості, представлена на рис. 5.15.

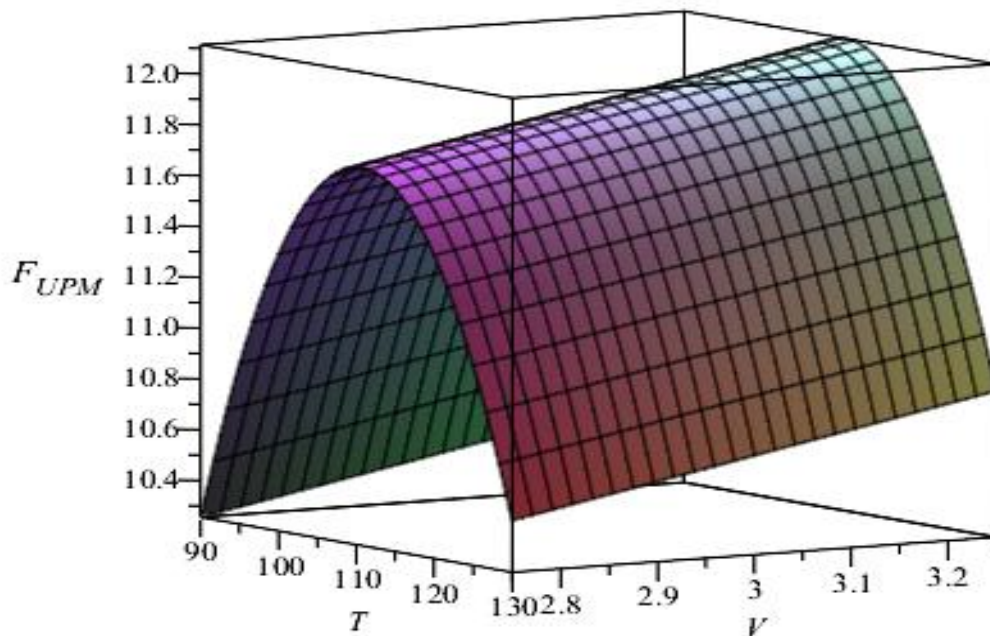


Рис. 5.15. Графік моделі $F_{UPM}(T, V)$

З графіка видно, що значення розривного зусилля ламінованого відбитка на папері для лазерного повноколірного друку UPM Digi Color 300 г/м² збільшується зі зростанням швидкості ламінування. Для визначення координат локального максимуму моделі $F_{UPM}(T, V)$ (5.1) необхідно прирівняти її частинні похідні за температурою і швидкістю ламінування до нуля:

$$\frac{\partial F_{UPM}(T, V)}{\partial T} = 0.76572784 - 0.00691505967T = 0, \quad (5.2)$$

$$\frac{\partial F_{UPM}(T, V)}{\partial T} = 0,745346173. \quad (5.3)$$

Розв'язавши рівняння (5.2), ми отримали значення температури $T=111\text{ }^{\circ}\text{C}$, при якій спостерігається максимальне зусилля розриву ламінованого відбитка. Оскільки частинна похідна за швидкістю є константою, максимальне значення розривного зусилля для ламінованого відбитка паперу UPM Digi Color 300 г/м^2 досягається при температурі $T=111\text{ }^{\circ}\text{C}$ і швидкості ламінування $3,25\text{ об/хв}$.

Для оцінки зусилля продавлювання ламінованого паперу UPM Digi Color 300 г/м^2 була розроблена поліноміальна модель у такому вигляді:

$$P_{UPM}(T, V) = 8.0116808385V - 0.022886292214T^2 + 5.29152654557T - 251.037370898, \quad (5.4)$$

яка показує зусилля продавлювання ламінованого відбитку з абсолютною похибкою $2,15\text{ кПа}$. Вигляд поверхні значень моделі $P_{UPM}(T, V)$ (5.4) представлено на рис. 5.16.

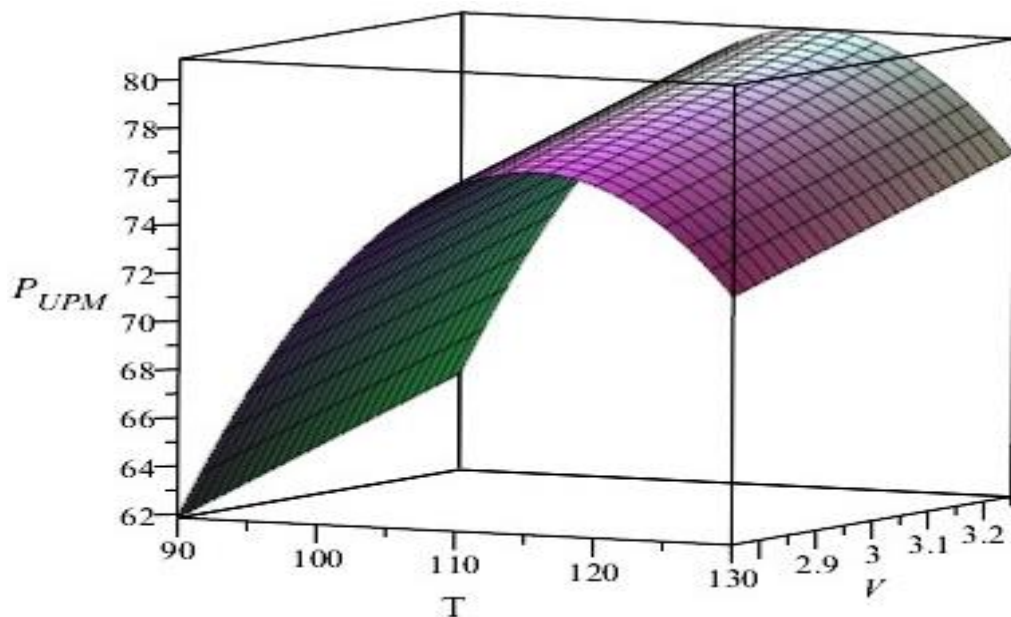


Рис. 5.16. Графік моделі $P_{UPM}(T, V)$

З графіка видно, що значення зусилля продавлення ламінованого паперу UPM Digi Color 300 г/м² також збільшується зі зростанням швидкості ламінування. Оскільки частинна похідна моделі $P_{UPM}(T, V)$ (рис. 5.15) за швидкістю ламінування є константою, то координати локального максимуму моделі, прирівнявши до нуля її частинну похідну за температурою:

$$\frac{\partial P_{UPM}(T, V)}{\partial T} = 5.29152654557 - 0.045772584428T = 0, \quad (5.5)$$

Розв'язавши рівняння (5.5) визначаємо температуру $T=116$ °С, при якій спостерігається максимальне зусилля продавлювання ламінованого відбитка. Оскільки найбільше зусилля продавлювання ламінованого відбитка на папері UPM Digi Color 300 г/м² досягається при температурі $T=116$ °С і швидкості ламінування 3,25 об/хв.

Зусилля розриву та продавлювання ламінованого відбитку на папері UPM Digi Color 300 г/м², що відповідають оптимальним значенням температури та швидкості ламінування 325 об/хв, наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Значення зусиль розриву й продавлювання відбитка на папері UPM Digi Color

$T, ^\circ\text{C}$	$F_{UPM}(T, V), \text{кг}$	$P_{UPM}(T, V), \text{кПа}$
110.733367486	12.1142532948	80.32742425
115.6047143	12.0322060437	80.871534221
113	12.0964898102	80.715726028

У третьому рядку цієї таблиці наведені значення зусиль розриву та продавлювання для температури 113 °С, що відповідає заокругленому $F_{UPM}(T, V)$ середньому значенню оптимальних температур, отриманих за моделями й $P_{UPM}(T, V)$. Значення зусилля розриву для ламінованого відбитка при температурі 113 °С відрізняються від оптимального на 0,15%, тоді як зусилля продавлювання – на 0,19%. Таким чином, відповідно до моделей $F_{UPM}(T, V)$ і

$P_{UPM}(T, V)$, ламінований відбиток на папері UPM Digi Color 300 г/м² можна отримати задовільної міцності при температурі 113 °С і швидкості ламінування 3,25 об/хв.

Слід зазначити, що для неламінованого відбитка на папері UPM Digi Color 300 г/м² зусилля розриву становить 10,4 кг, а зусилля продавлювання – 60 кПа.

Для оцінки розривного зусилля ламінованого відбитка на фотопапері Fujifilm 200 г/м² була розроблена поліноміальна модель у такому вигляді:

$$F_{Fuji}(T, V) = 1.79989224821V - 0.00726907831485T^2 + \\ + 1.60248403034T - 80.3536402092. \quad (5.6)$$

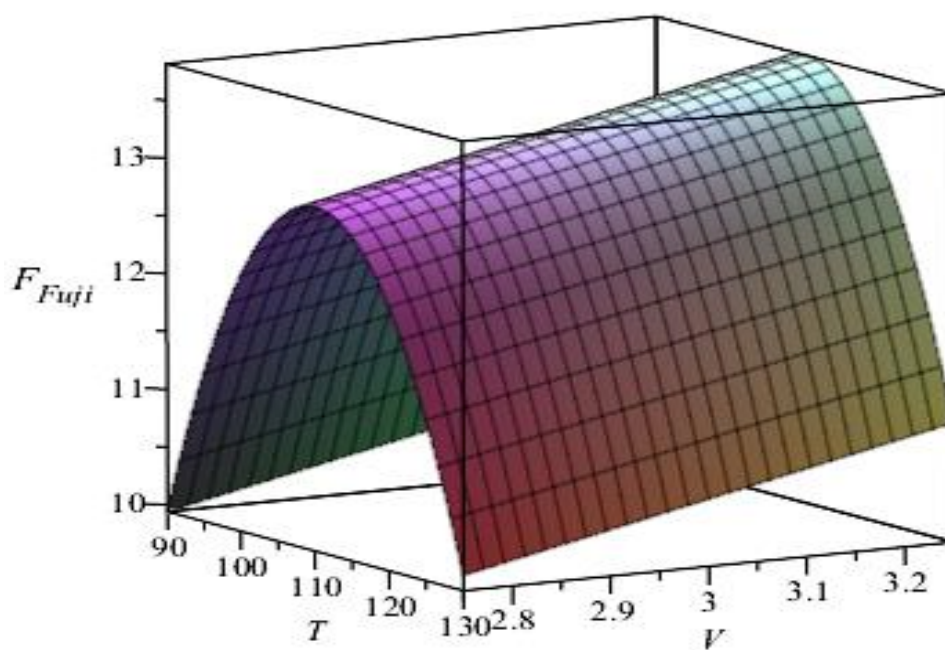
Ця модель демонструє розривне зусилля ламінованого відбитка з абсолютною похибкою 0,428 кг.

Модель для оцінки зусилля продавлювання ламінованого відбитку має такий вигляд:

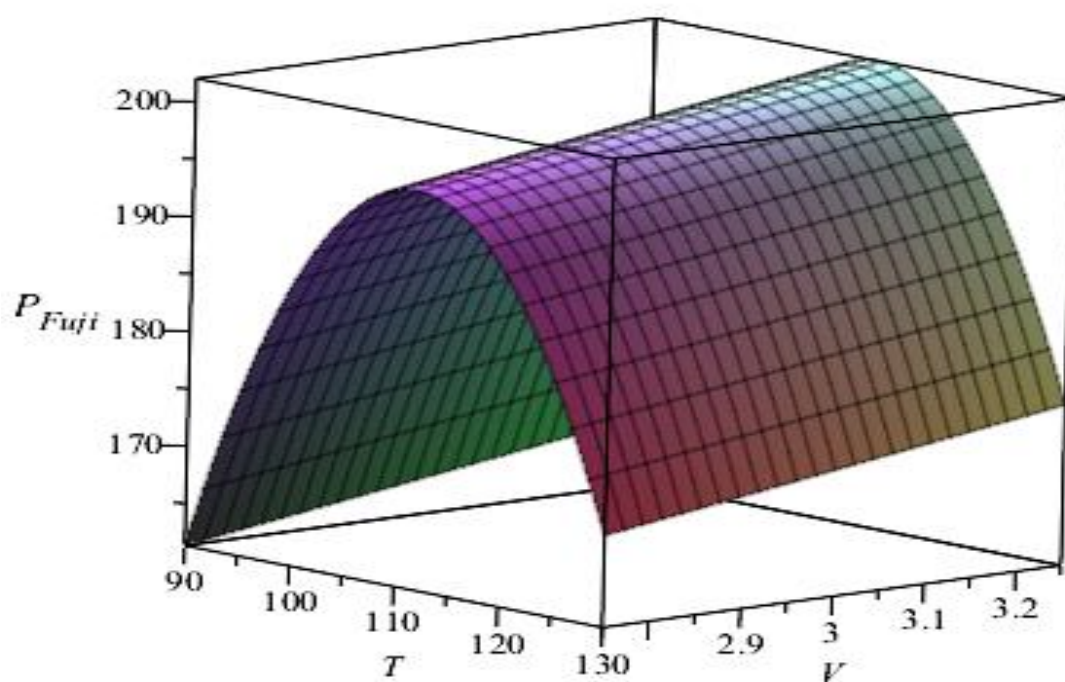
$$P_{Fuji}(T, V) = 12.0179460374V - 0.0764063334879T^2 + \\ + 17.0093150015T - 783.68731303. \quad (5.7)$$

Ця модель показує зусилля, необхідне для продавлювання ламінованого відбитка на фотопапері Fujifilm 200 г/м², з абсолютною похибкою 4,69 кПа.

Поверхні моделей $F_{Fuji}(T, V)$ (5.6) і $P_{Fuji}(T, V)$ (5.7), що представляють залежність розривного зусилля при розриві та продавлюванні ламінованого відбитка на фотопапері Fujicolor 200 г/м² від температури і швидкості ламінування представлено на рис. 5.17.



а)



б)

Рис. 5.17. Графіки моделей: а) – $F_{Fuji}(T, V)$; б) – $P_{Fuji}(T, V)$

З наведених графіків видно, що значення зусиль розриву і продавлювання ламінованого відбитка на фотопері Fujicolor 200 г/м² збільшуються зі

зростанням швидкості ламінування. Оскільки частині похідні моделей $F_{Fuji}(T, V)$ і $P_{Fuji}(T, V)$ за швидкістю ламінування є константам, то координати локальних максимумів цих моделей можна уточнити, прирівнявши їхні похідні частини за температурою:

$$\frac{\partial F_{Fuji}(T, V)}{\partial T} = 1.60248403034 - 0.0145381566297T = 0, \quad (5.8)$$

$$\frac{\partial P_{Fuji}(T, V)}{\partial T} = 17.0093150015 - 0.152812666976T = 0. \quad (5.9)$$

Розв'язавши рівняння (5.8), отримуємо температуру $T=110$ °С, при якій спостерігається максимальне зусилля розриву ламінованого відбитка. З рівняння (5.9) випливає, що температура $T=111$ °С, відповідає найбільшому зусиллю продавлювання ламінованого відбитка. Досліджувані показники міцності ламінованого відбитка на фотопaperі Fujifilm 200 г/м² досягають своїх максимальних значень при визначених температурах і швидкості ламінування – 3,25 об/хв.

Зусилля, які необхідні для розриву та продавлювання ламінованого відбитка на фотопaperі Fujicolor 200 г/м², що відповідають розрахованим оптимальним значенням температур та швидкості ламінування 3,25 об/хв, наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Значення зусиль розриву й продавлювання ламінованого відбитка на фотопaperі Fujicolor 200 г/м²

$T, ^\circ\text{C}$	$F_{Fuji}(T, V), \text{кг}$	$P_{Fuji}(T, V), \text{кПа}$
110.226081006	13.8137768671	201.920319711
111.308279203	13.8052636642	202.009803215
111	13.8094230482	202.002541858

У третьому рядку цієї таблиці наведені значення зусиль розриву та продавлювання при температурі 111 °С. Значення зусилля розриву для ламінованого зразка при цій температурі відхиляються від оптимального на 0.032%, а зусилля продавлювання – на 0,074%. Таким чином, згідно з моделями $F_{Fuji}(T, V)$ і $P_{Fuji}(T, V)$ ламінований відбиток на фотопапері Fujicolor 200 г/м² глянцевою плівкою може досягти задовільної міцності при температурі 111 °С і швидкості ламінування 3,25 об/хв.

Для неламінованого відбитка на фотопапері Fujifilm 200 г/м² зусилля розриву становить 10,2 кг, а зусилля вдавлювання – 180 кПа.

Для оцінки розривного зусилля ламінованого на глянцевоїй стороні картону Arktika 200 г/м² була розроблена поліноміальна модель:

$$F_{Arkt200}(T, V) = 1.81126831878V - 0.00898911522817T^2 + \\ + 2.02971492899T - 105.313380544, \quad (5.10)$$

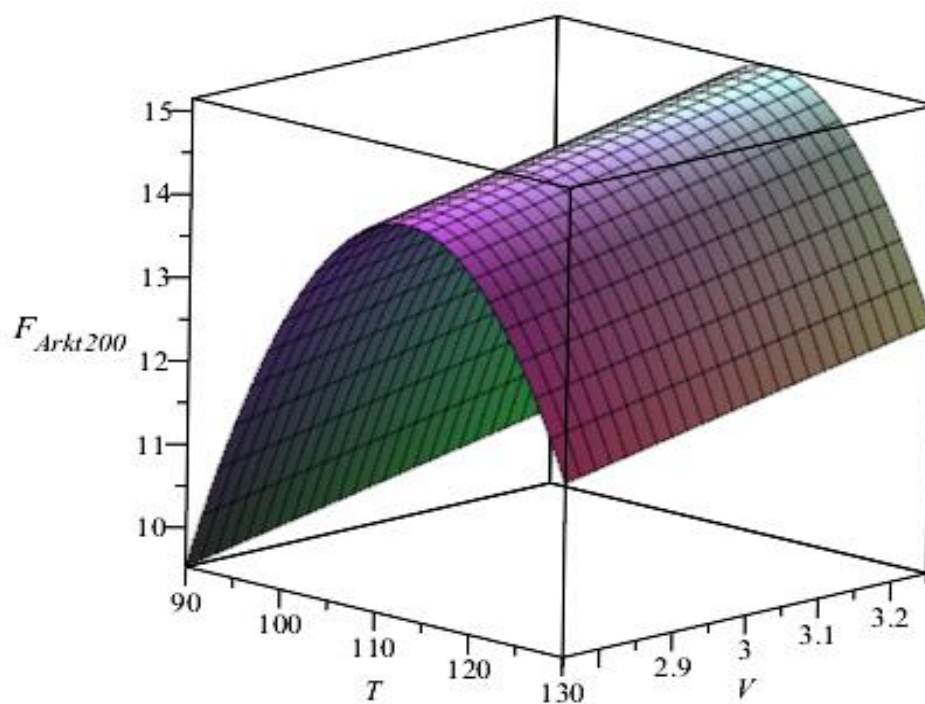
яка показує значення розривного зусилля ламінованого відбитка з абсолютною похибкою 0,62 кг. Модель для оцінки зусилля продавлювання:

Модель для оцінки зусилля продавлювання ламінованого відбитка має такий вигляд:

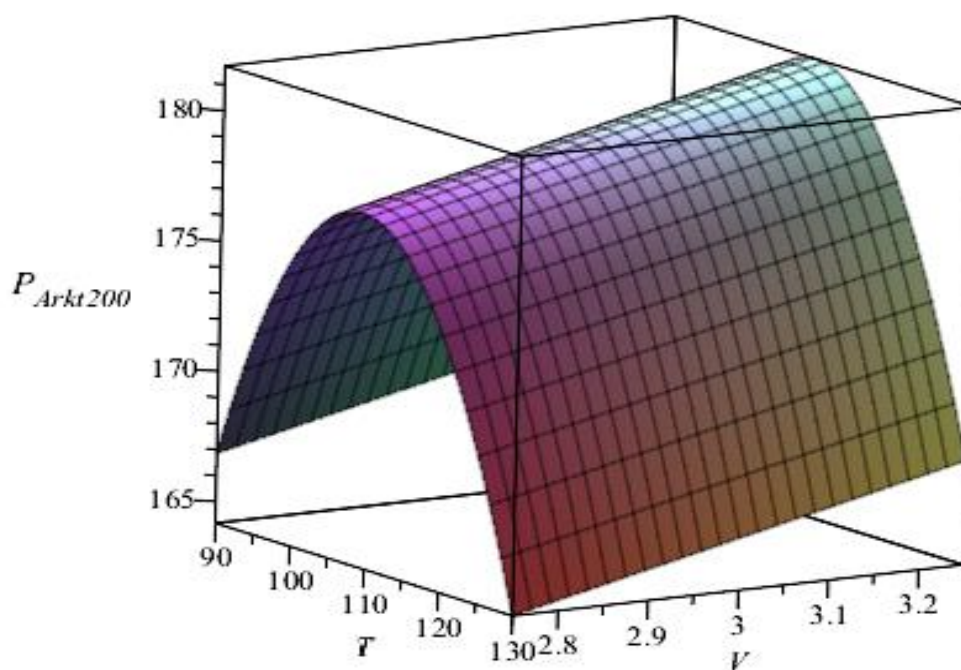
$$P_{Arkt200}(T, V) = 7.97857363747V - 0.030423996316T^2 + \\ + 6.62611263518T - 205.005018419, \quad (5.11)$$

відтворює значення зусилля продавлювання ламінованого відбитка на картоні Arktika 200 г/м² на глянцевоїй стороні з абсолютною похибкою 3,84 кПа.

Поверхні моделей $F_{Arkt200}(T, V)$ і $P_{Arkt200}(T, V)$ (5.10) та (5.11), які представляють залежність розривного зусилля розриву та продавлювання ламінованого картону Arktika 200 г/м² від температури та швидкості представлено на рис. 5.18.



а)



б)

Рис. 5.18. Графіки моделей: а) – $F_{Arkt200}(T, V)$; б) – $P_{Arkt200}(T, V)$

З наведених графіків видно, що зусиль розриву та продавлювання ламінованого відбитка на картоні Arktika 200 г/м² зростають зі збільшенням

швидкості ламінування. Оскільки частині похідні моделей $F_{Arkt200}(T, V)$ і $P_{Arkt200}(T, V)$ за швидкістю ламінування є константою, то можемо визначити координати локальних максимумів цих моделей, прирівнявши їх часткові похідні за температурою:

$$\frac{\partial F_{Arkt200}(T, V)}{\partial T} = 2.2971492899 - 0.0179782304563T = 0, \quad (5.12)$$

$$\frac{\partial P_{Arkt200}(T, V)}{\partial T} = 6.62611263518 - 0.060847992632T = 0. \quad (5.13)$$

Розв'язавши рівняння (5.12) визначаємо температуру $T=113$ °С, при якій спостерігається максимальне зусилля розриву ламінованого відбитка на картоні Arktika 200 г/м². З рівняння (5.13) визначено, що температура $T=109$ °С, відповідає найбільшому значенню зусилля продавлювання. Досліджувані показники міцності ламінованого відбитка на картоні Arktika 200 г/м², досягають своїх максимальних значень при обчислених температурах і швидкості ламінування – 3.25 об/хв.

Зусилля розриву та продавлювання ламінованого відбитка на картоні Arktika 200 г/м², що відповідають оптимальним значенням температури та швидкості ламінування 3,25 об/хв, наведені в табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Значення зусиль розриву й продавлювання ламінованого відбитка на картоні
Arktika 200 г/м²

$T, ^\circ\text{C}$	$F_{Arkt200}(T, V), \text{кГ}$	$P_{Arkt200}(T, V), \text{кПа}$
112.898482079	15.149108761	181.217101268
108.896158255	15.005115755	181.704450972
111	15.116709884	181.569789799

У третьому рядку цієї таблиці наведено значення зусиль розриву та продавлювання при температурі 111 °С. Зусилля розриву ламінованого відбитка при цій температурі 111 °С відхиляються від оптимального на 0,021%, тоді як зусилля продавлювання – на 0,074%. Таким чином, відповідно до моделей $F_{Arkt200}(T, V)$ і $P_{Arkt200}(T, V)$ ламінований відбиток на картоні Arktika 200 г/м² можна отримати задовільної міцності при температурі 111 °С і швидкості ламінування 3,25 об/хв.

Слід зазначити, що для неламінованого відбитка на картоні Arktika 200 г/м² зусилля розриву становить 9,5 кг, а зусилля продавлювання – 100 кПа.

Зусилля розриву ламінованого відбитка на картоні Arktika 300 г/м² описується моделлю:

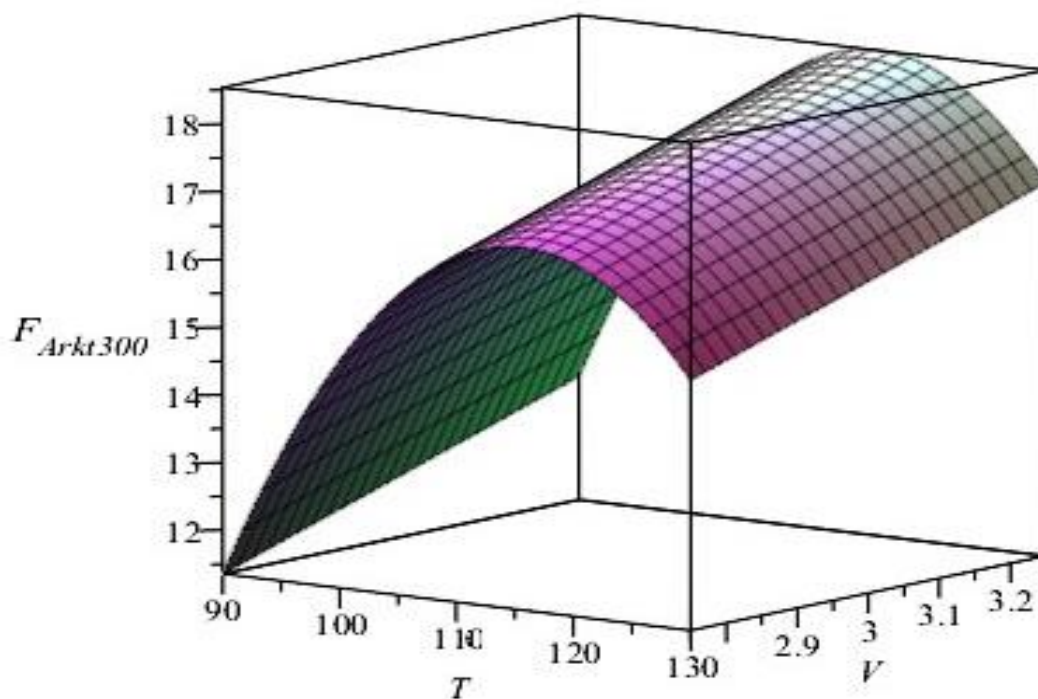
$$F_{Arkt300}(T, V) = 3.66217733505V - 0.0811092333411T^2 + 1.87663962305T - 101.91480453, \quad (5.14)$$

яка показує значення зусилля розриву з абсолютною похибкою 0,96 кг. Для оцінки зусилля продавлювання ламінованого картонного відбитку була розроблена поліноміальна модель у такому вигляді:

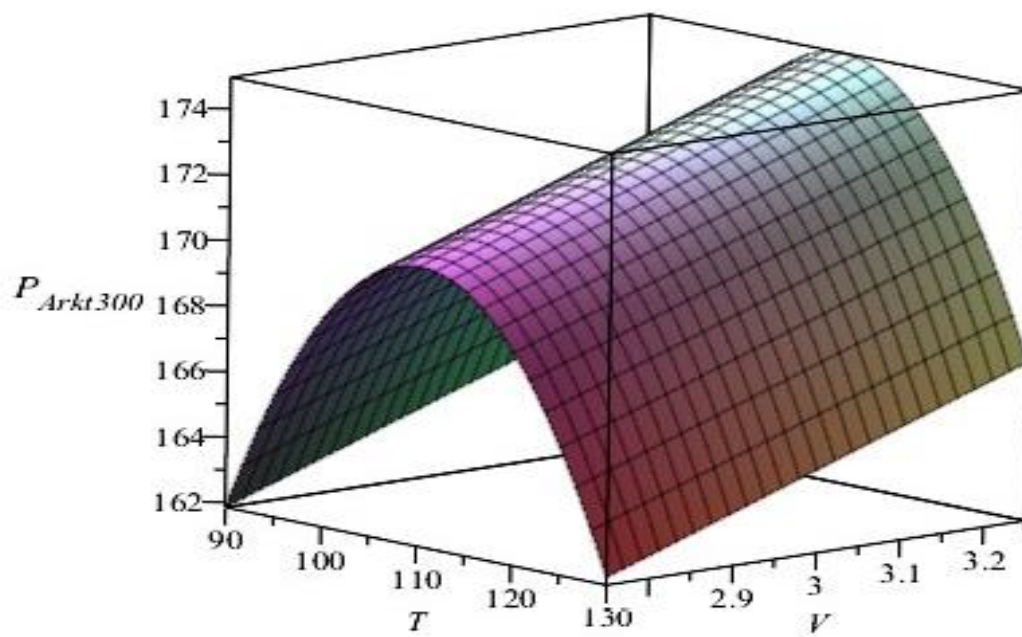
$$P_{Arkt300}(T, V) = 9.19968582297V - 0.0209860410444T^2 + 4.62271798501T - 109.507455368, \quad (5.15)$$

яка показує зусилля продавлювання ламінованого відбитка з абсолютною похибкою 1,85 кПа.

На рис. 5.19 представлені поверхні значень моделей $F_{Arkt300}(T, V)$ і $P_{Arkt300}(T, V)$, які підтверджують залежність розривного зусилля при розриві та продавлюванні ламінованого відбитка на картоні Arktika 300 г/м² від температури та швидкості.



а)



б)

Рис. 5.19. Графіки моделей: а) – $F_{Arkt300}(T, V)$; б) – $P_{Arkt300}(T, V)$

З графіків представлених на рис. 4.8 видно, що значення зусиль розриву та продавлювання ламінованого відбитка на картоні Arktika 300 г/м² також

зростають зі збільшенням швидкості ламінування. Оскільки частинні похідні моделей $F_{Arkt300}(T, V)$ і $P_{Arkt300}(P, V)$ за швидкістю ламінування є константами, то координати локальних максимумів моделей (5.16) та (5.17), прирівнявши частинні похідні за температурою до нуля:

$$\frac{\partial F_{Arkt300}(T, V)}{\partial T} = 1.87663962305 - 0.0162218466682T = 0, \quad (5.16)$$

$$\frac{\partial P_{Arkt300}(T, V)}{\partial T} = 4.6227198501 - 0.0419720820888T = 0. \quad (5.17)$$

Розв'язавши рівняння (5.16) визначаємо температуру $T=116$ °С, при якій спостерігається максимальне зусилля розриву для ламінованого відбитка на картоні Arktika 300 г/м². З рівняння (5.17) отримали температуру $T=110$ °С, що відповідає найбільшому зусиллю продавлювання. Досліджувані показники міцності ламінованого картону Arktika 300г/м² досягають своїх максимальних значень при розрахованих температурах і швидкості ламінування – 3,25 об/хв.

Зусилля розриву та продавлювання ламінованого відбитка на картоні Arktika 300 г/м², що відповідають обчисленим оптимальним значенням температур і швидкості ламінування 3,25 об/хв наведені в табл. 5.7.

Таблиця 5.7

Значення зусиль розриву й продавлювання ламінованого відбитка на картоні
Arktika 300 г/м²

$T, ^\circ\text{C}$	$F_{Arkt300}(T, V), \text{кГ}$	$P_{Arkt300}(T, V), \text{кПа}$
115.685942632	18.537683695	174.313843414
110.137923947	18.288025327	174.959804487
113	18.479169161	174.787897767

У третьому рядку цієї табл. 4.12 наведені значення зусиль розриву та

продавлювання для температури 113 °С, що відповідає середньому оптимальному значенню температур, отриманому з моделей (4.19) і (4.20). Значення зусилля розриву для ламінованого відбитка при температурі 113 °С відрізняється від оптимального на 0.021%, тоді як зусилля продавлювання – на 0.098%. Таким чином, відповідно до моделей $F_{Arkt300}(T, V)$ і $P_{Arkt300}(T, V)$ ламінований відбиток на картоні Arktika 300 г/м² можна отримати задовільної міцності при температурі 113 °С і швидкості ламінування 3,25 об/хв.

Слід зазначити, що для неламінованого відбитка на картоні Arktika 300 г/м² зусилля розриву становить 12 кг, а зусилля продавлювання – 140 кПа.

Отже, в результаті аналізу показників міцності ламінованих відбитків, виготовлених на різних матеріалах, були отримано поліноміальні моделі, що описують очікувані значення зусиль розриву та продавлювання залежно від температури й швидкості процесу ламінування. Задовільну міцність ламінованих зразків на глянцевої поверхні картону Arktika 300 г/м² та на папері UPM Digi Color 300 г/м² можна досягти при температурі 113 °С. Для відбитків на фотопапері Fujicolor 200 г/м² оптимальна температура становить 111 °С, при однаковій швидкості ламінування 3,25 об/хв.

Параметри цих моделей були обчислені за допомогою чебишевського наближення функцій багатьох змінних, що забезпечує високу точність відтворення результатів спостереження. Точність, з якою моделі відтворюють значення зусиль розриву і продавлювання ламінованих зразків, дозволила визначити оптимальний режим ламінування для досліджуваних відбитків.

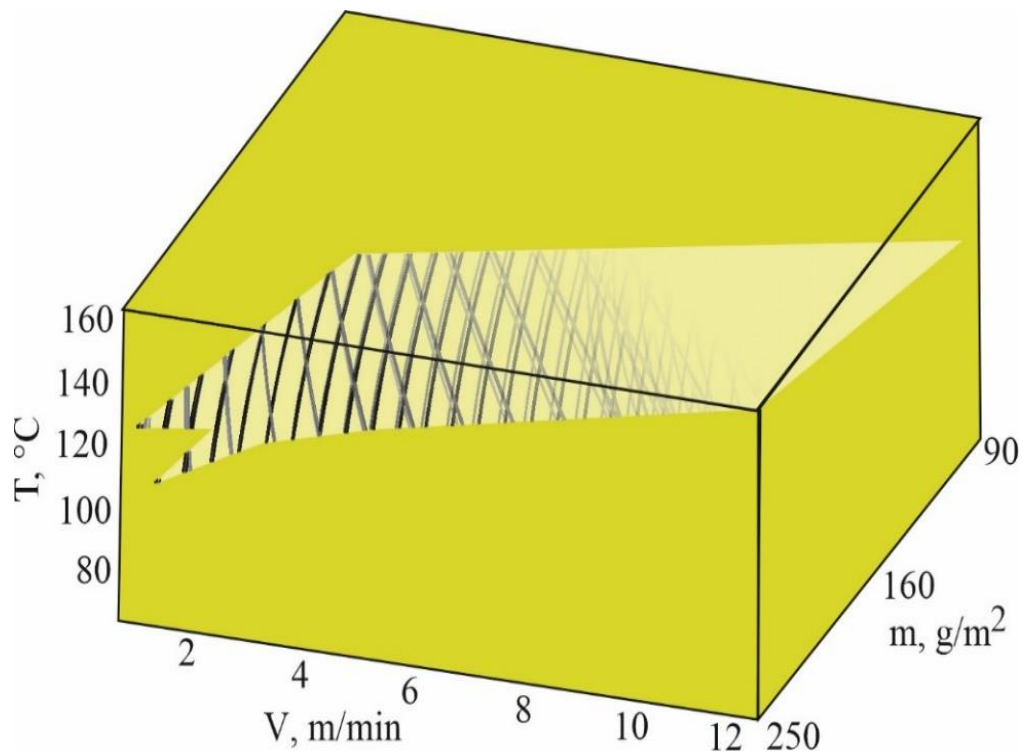


Рис. 5.20. Модель залежності між масою відбитка, температурою та швидкістю ламінування

Проведено оптимізацію процесу ламінування, в результаті якої побудовано тривимірну модель взаємозв'язку між режимними та технологічними факторами (рис. 5.20). Якісне ламінування забезпечується в діапазоні допустимих значень температури, в залежності від базової маси паперу та робочої швидкості, графічно обмеженому поверхнями $T_{\min}(m, V)$ та $T_{\max}(m, V)$, які показані на рис. 5.19 (діапазон допустимих температур знаходиться нижче поверхні $T_{\max}(m, V)$ і вище $T_{\min}(m, V)$). З наведеного графіка випливає, що не при всіх швидкостях можна досягти якісного ламінування для паперу певної щільності. Можливі допустимі значення швидкості обмежені кривою перетину поверхонь і визначаються умовою $T_{\min}(m, V) < T_{\max}(m, V)$, з якої можна визначити максимально допустиму швидкість, температуру для якісного ламінування відбитків з різною масою [155].

Висновок до розділу 5

1. У результаті досліджень встановлено, що розшарування ламінованих відбитків, відбувається за змішаним механізмом адгезійного з'єднання. Виявлено, що зі збільшенням товщини плівки зростає стійкість ламінованого зразка до розшарування, а саме: при збільшенні її товщини з 34 мкм до 50 мкм, зусилля відшарування зростає від 1,25 Н до 2,00 Н, опір розшаруванню – від 45,33 Дж/м² до 64 Дж/м² відповідно. Найменші зусилля продавлювання спостерігаються у ламінованих відбитках на папері UPM Digi Color, а найбільші – на фотопапері Fujicolor.

2. Виявлено, що між зусиллям продавлювання ламінованого відбитка і швидкістю ламінування існує певна залежність: при збільшенні швидкості ламінування зростає величина зусилля продавлювання для всіх відбитків, незалежно від способу друкування та виду субстрату. Встановлено, що найменші зусилля продавлювання характерні для ламінованих відбитків на папері UPM Digi Color 300 г/м²; найбільші зусилля – у ламінованих відбитках на фотопапері Fujicolor 200 г/м², що підтверджується аналізом мікрофотографій зруйнованих ламінованих відбитків, де на першому етапі відбувається руйнування паперової основи, а потім настає деформація та розрив припресованої плівки.

3. Підтверджено, що зі збільшенням температури ламінування підвищується схильність ламінатів до деформації, а саме при температурі ламінування 110 °С спостерігається скручуваність відбитка на папері UPM Digi Color на 8,2 мм, фотопапері Fujicolor на 5 мм, а картону Arktika на 2,5 мм.

4. На основі аналізу результатів експертного опитування фахівців поліграфічної галузі визначено параметри впливу на якість ламінування, їх пріоритетність. Виявлено, що найвищий пріоритет має структура поверхні паперу цифрового лазерного та струменевого відбитка, режими (температура, тиск і час контакту плівки та відбитку) і спосіб ламінування; на другому рівні знаходяться характеристики плівки і ламінатора; на нижчому рівні на якість ламінування має вплив навколишнє середовище (зміна мікроклімату приводить

до зміни фізико-механічних характеристик плівки і відбитку та готових ламінатів, спричиняючи їх жолоблення, скручування тощо).

5. За результатами аналізу показників міцності ламінованих друкарських відбитків, отриманих на папері UPM Digi Color, фотопапері Fujicolor та картоні Arktika отримано математичні моделі, які описують залежність зусиль розриву і продавлювання від температури й швидкості ламінування. Задовільну міцність ламінованих зразків на глянцевої поверхні картону Arktika 300 г/м² та на папері UPM Digi Color 300 г/м² можна досягти при температурі 113 °С. Для відбитків на фотопапері Fujicolor 200 г/м² оптимальна температура становить 111 °С, при однаковій швидкості ламінування 3,25 об/хв. Точність відтворення значення зусиль розриву і продавлювання ламінованого відбитка запропонованими моделями забезпечила можливість визначення оптимального режиму ламінування для досліджуваних відбитків.

6. Розроблено поліноміальну модель, яка визначає технологічні та режимні параметри впливу на якість ламінованих відбитків. Проведено оптимізацію процесу ламінування, в результаті якої побудовано тривимірну модель взаємозв'язку між режимними та технологічними факторами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне науково-прикладне завдання удосконалення технології оздоблення друкарських відбитків методом гарячого ламінування шляхом виявлення взаємовпливу технологічних параметрів і режимних факторів, топографії поверхні субстратів, дії зовнішніх факторів на денситометричні, колориметричні, термогравіметричні та експлуатаційні показники зображень, утворених струменевим та лазерним способом друку на папері, фотопапері та картоні, що уможливлює оптимізацію технологічного процесу ламінування за вагомістю факторів впливу на якість продукції.

При цьому отримано такі нові результати:

1. На основі аналізу тенденції розвитку ринку поліграфічної продукції в Україні та світі, визначено класифікаційні ознаки сучасних технологій для оздоблення поліграфічної продукції з паперу, фотопаперу і картону методом ламінування, наведено класифікацію ламінаторів, що дозволило розвинути теоретичні засади системного підходу до формування якісних ламінованих відбитків цифрового друку з врахуванням взаємозв'язку між структурними, технологічними та експлуатаційними показниками.

2. Визначення оптичних та колориметричних характеристик ламінованих відбитків показали вплив режимів ламінування, товщини плівки та УФ променів на оптичну густину і різницю кольорів, що дозволило окреслити проблеми технологічного забезпечення якості процесу ламінування та окреслити можливі причини появи дефектів на ламінованих відбитках і методи їх усунення.

3. На основі електронно-мікроскопічних досліджень структури адгезивів і субстратів, топографії досліджуваних відбитків до і після ламінування на фотопапері Fujicolor, папері UPM Digi Color та картоні Arktika та визначення їх профілів виявлено, зменшення мікронерівностей поверхні; найбільша різниця профілів спостерігається на ламінованому фотопапері Fujicolor (від 7,0 до 12,4 μm), а найменша – на картоні Arktika (від 9,9 до 10,4 μm), що підтверджує вплив топографії відбитків на якість ламінатів.

4. Удосконалено імітаційну модель процесу гарячого ламінування відбитків цифрового друку, яка описує механізм взаємодії елементів системи «плівка – клей – відбиток» на основі механічної та молекулярної адгезії, що дозволить забезпечити якісні оптичні та експлуатаційні характеристики ламінатів.

5. Вперше за допомогою термогравіметричного аналізу виявлено межі температур, в яких відбувається інтенсивна втрата маси в друкарських відбитках струменевого друку на фотопапері під час оздоблення методом гарячого ламінування, що дозволило підібрати оптимальні температурні режими для забезпечення адгезійної міцності та покращення якісних показників продукції.

6. Аналіз мікроскопічних досліджень ламінованих відбитків після продавлювання показує, що руйнування відбувається поетапно: спочатку руйнується верхній задрукований шар, а потім відбувається розтягування плівки до її розриву, причому зі збільшенням прикладених зусиль зростає деформація ламінату; найбільшу міцність і стійкість до механічних впливів має відбиток на фотопапері Fujicolor, що підтверджує позитивний вплив наявного шару галогеніду срібла на експлуатаційні характеристики продукції.

7. Вперше розроблено методику визначення міцності ламінованих відбитків лазерного та струменевого друку на основі порівняння величини сили й енергії, затраченої на руйнування системи «відбиток-плівка», виявлено найбільші зусилля продавлювання та розриву у ламінованих відбитках на фотопапері Fujicolor 200 г/м², найменші – на відбитках з паперу UPM Digi Color 300 г/м², що дозволяє спрогнозувати тривалість використання ламінатів та забезпечити покращення якості їх експлуатаційних показників.

8. Удосконалено методику визначення світлостійкості відбитків цифрового друку до і після ламінування, що дозволило встановити вплив часу дії денного світла і товщини плівки на зміну кольорових характеристик надрукованих зображень. Найнижчу світлостійкість показали ламіновані відбитки на папері UPM Digi Color та фотопапері Fujicolor (різниця кольорів $\Delta E^*_{ab} = 6.3$ після першого тижня тестування).

9. Вперше описано математичними поліноміальними моделями зв'язок між температурою і швидкістю ламінування та експлуатаційними показниками ламінатів, параметри який обчислено з використанням чебишовського наближення функцій багатьох змінних, що дозволило оптимізувати технологічний процес оздоблення відбитків струменевого і лазерного друку методом гарячого ламінування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ринок пакування в Україні. Журнал «World of Packaging». (n.d.). Retrieved from <https://www.packaging.com.ua/content/rinok-pakuvannya-v-ukra-n-2767>.
2. Чепурна К. О., & Оліяненко О. С. (2016). Дослідження адгезії поліпропіленових плівок до поверхні відбитків електрографічного друку в процесі ламінування. *Технологія і техніка друкарства*, 4(54), 39–48. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(54\).2016.86446](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(54).2016.86446).
3. Дурняк Б. В., Піх І. В., та Сеньківський В. М. (2022). *Теоретичні основи інформаційної концепції формування та оцінювання якості видавничо-поліграфічних процесів*. Львів: Українська академія друкарства. Retrieved from <https://drive.google.com/file/d/1Dj-YAzRdD7zAAODNfPitRevJ3HXI3tDR/view>.
4. Durnyak B., Lutskevych M., Shepita P., Karpyn R., & Savina, N. (2021). Determination of the optical density of two-parameter tone transfer for a short printing system of the sixth dimension. *CEUR Workshop Proceedings*, 2853, pp. 134-140. Retrieved from <https://ceur-ws.org/Vol-2853/short11.pdf>
5. Сеньківський В. М., Піх І. В., Кудряшова А. В., Сеньківська Н. С., та Калиній І. В., (2021). Оптимізація моделі факторів читацького попиту на книгу. *Поліграфія і видавнича справа*, 1 (81), с. 11–20. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pivs_2021_1_3.
6. Trendy w branży druku komercyjnego. (n.d.). Retrieved from <https://www.rynekpapierniczy.pl/artukul/trendy-w-branzzy-druku-komercyjnego-3810>.
7. Angelski D., Vitchev P., & Mihailov V. (2017). Influences of some factors on adhesion strength between pvc foil and particle board. *Pro Ligno*, 13(4), 302–307. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/322447803_INFLUENCES_OF_SOME_FACTORS_ON_ADHESION_STRENGTH_BETWEEN_PVC_FOIL_AND_PARTICLE_BOARD.

8. Chen H., Jiang B., & Cai Z.-Q. (2015). Preparation and properties of paper-plastic laminating adhesive used for medical packaging materials. *Polymers for Advanced Technologies*, 26 (9), 1065–1069.
9. Кирилюк А. В., & Зоренко О. В. (2011). Дослідження ламінування листівок. *Технологія і техніка друкарства*, (4(34), 46–56. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(34\).2011.33487](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(34).2011.33487).
10. Зигуля С. М. (2018). Дослідження міцнісних характеристик відбитків, припресованих плівкою. *Технологія і техніка друкарства*, 2(60), 33–40. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(60\).2018.152031](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(60).2018.152031).
11. Kozlova A., Kulak, M., & Oleinik R. (2015). The relationship and influence of the parameters of the technological process on the strengthening of paper during lamination. *Publishing and printing, Proceedings of BSTU*, 9, 24-28.
12. Лихолай С. В., & Хохлова Р. А. (2015). Сучасні тенденції технології лакування картонного пакування водно-дисперсійним лаком. *Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій*. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Retrieved from https://www.google.com/search?q=http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/10875/2/ConfATMT_2015v1_Lykholai_S_VCurrent_state_of_coating_22-23.pdf.
13. Ганоцька О. В. (2008). *Дизайн споживчої упаковки в Україні: стандарт та ексклюзив* (Автореф. дис. канд. мистецтвознавства, спец. 17.00.07 "Дизайн"). Харк. держ. акад. дизайну і мистецтв.
14. Senkivskyi V., Babichev S., Pikh I., Kudriashova A., Senkivska N., & Kalynii, I. (2021). Forecasting the reader demand level based on factors of interest in the book. *CEUR Workshop Proceedings*, 3101, pp. 158-175. Retrieved from <https://ceur-ws.org/Vol-3101/Paper12.pdf>.
15. Chepurna K. O. (2018). Research of color indicator changes of electrographic imprints after polypropylene films lamination. *Printing and Publishing*, 2(76), 33–38. <https://doi.org/10.32403/0554-4866-2018-2-76-33-38>.

16. Палюх О., Храпко А., та Стратійчук І. (2021). Дослідження вибіркового флокування в оздобленні картонних паковань. *Технологія і техніка друкарства*, (3 (73)), 42–58. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(73\).2021.251056](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(73).2021.251056).
17. Довганич А. В. (2024). *Дослідження процесу висікання картонних заготовок паковань* (Doctoral dissertation, ТОВ «Друкарня Мадрид»).
18. Гавенко С. Ф., Лазаренко Е. Т., Мамут Б. Г., Самбульський М. В., Циманек, Я., Якуцевич, С., & Ярема С. М. (2003). Оздоблення друкованої продукції: технологія, устаткування, матеріали: К: УН-т «Україна».
19. Roshafima R. A., Wan Abdul Rahman, W. A., Rafiziana M. K., & Ibrahim, N. (2012). Starch Based Biofilms for Green Packaging. *International Journal of Chemical, Materials and Biomolecular Sciences*, 5 (10). <https://doi.org/10.5281/zenodo.1332418>.
20. Nabels-Sneiders M., Platnieks O., Grase L., & Gaidukovs S. (2022). Lamination of Cast Hemp Paper with Bio-Based Plastics for Sustainable Packaging: Structure-Thermomechanical Properties Relationship and Biodegradation Studies. *Journal of Composites Science*, 6 (9), 246. <https://doi.org/10.3390/jcs6090246>.
21. Коломієць А. О., & Розум, Т. В. (2023). Екологічні аспекти сучасних технологій оздоблення друкованої продукції. *Технологія і техніка друкарства*, (3(81), 35–45. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(81\).2023.287042](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(81).2023.287042).
22. Аналіз ринку ламінованого картону в Україні: більше товарів – більше упаковки. (n.d.). Retrieved from <https://proconsulting.ua/ua/pressroom/analiz-rynka-laminirovannogo-kartona-v-ukraine-bolshe-tovarov-bolshe-upakovki>.
23. The Business Research Company. (n.d.). *Packaging Printing Global Market Report 2025*. Retrieved from <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/packaging-printing-global-market-report>.
24. Laminated paper market. (n.d.). Retrieved from <https://pmarketresearch.com/chemi/laminated-paper-market/>.

25. U.S. Coated & Laminated Paper Market Size & Share Analysis - Emerging Trends, Growth Opportunities, Competitive Landscape, and Forecasts (2025 - 2032) (n.d.). Retrieved from <https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/us-coated-laminated-paper-market>.

26. Офіційний сайт Konica Minolta // Прогнози розвитку галузі продуктивного друку у 2022 році. Бачення Konica Minolta. (n.d.). Retrieved from <https://www.konicaminolta.ua/uk-ua/news/production-printing-prediction-2022>.

27. Tunçel O. (2019). Dijital Çağda Baskı Teknolojileri. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, (23), 361-377. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sanatvetasarim/issue/46013/578681>.

28. Методи цифрового друку для пакування та їх переваги. (n.d.). Retrieved from <https://domino-kiev.com.ua/news/metodi-tsifrovogo-druku-dlya-pakuvannya-ta-ikh-perevagi>.

29. Smithers. (n.d.). *The Future of Digital Printing to 2032, digital equipment markets and forecasts*. 183.

30. Які бувають технології друку. (n.d.). Retrieved from <https://photoboom.ua/ua/stati/fotobumaga-i-fotopechat/kakie-byvaiut-tehnologii-pechaty>.

31. Smithers. (n.d.). *The Future of European Printing to 2027*. 96.

32. Printed Cardboard Packaging – What Are Your Options? (n.d.). Retrieved from <https://www.gwp.co.uk/guides/printed-cardboard-packaging/>.

33. Przyszłość druku na opakowaniach do 2027 roku. Poligrafika. (2022). (n.d.). Retrieved from <https://poligrafika.pl/2022/08/19/przyszlosc-druku-na-opakowaniach-do-2027-roku/>.

34. How sustainable is digital printing really? (n.d.). Retrieved from <https://www.konicaminolta.eu/eu-en/ipp-blog/sustainability/how-sustainable-is-digital-printing-really/>.

35. Digital Printing Market Size, Share & Trends Report, 2030. (n.d.). Retrieved from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/digital-printing-market-report>.

36. Digital Printing Packaging Market Size, Trends, Share, and Innovations 2034. (n.d.). Retrieved from: <https://www.towardspackaging.com/insights/digital-printing-packaging-market-size>.
37. Бернацек В. В., & Мартинюк М. С. (2020). Критерії вибору способу друку при виготовленні паковань. *Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. працівн. і аспір.* Львів: УАД. с 29.
38. Kokhanovskiy V., Zorenko O., & Khokhlova R., (2023). Factors that determine the need of the printing enterprise in basic technological equipment. *Технологія і техніка друкарства.* (1(79)), 71-76 [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(79\).2023.278136](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(79).2023.278136).
39. Lamination Systems Market Size, Share, Competitive Landscape and Trend Analysis Report, by Type, by Technology, by Application: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2023-2032. (n.d.). Retrieved from <https://www.alliedmarketresearch.com/lamination-systems-market-A15480>.
40. Laminating Machines Market Trends, Size and Insights 2032. (n.d.). Retrieved from <https://www.coherentmarketinsights.com/industry-reports/laminating-machines-market>.
41. Nosarka A. (2017). Packaging review. *South African Food Review*, 44 (6), 31-32.
42. Toppinen A. M. K., Pätäri S., Tuppurä A., & Jantunen A. (2017). The European pulp and paper industry in transition to a bio-economy: A Delphi study. *Futures*, 88, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.02.002>.
43. Кирилюк А. В., Зоренко О. В., & Розум Т. В. (2011). Технологічні особливості ламінування листівок. *Поліграфія і видавнича справа*, (4), 90–101. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pivs_2011_4_15.
44. Технології друку та нанесення на сувеніри у Львові. (n.d.). Retrieved from <https://liderm.com.ua/stati-pro-druk/>.
45. Як вибрати ламінатор для певних завдань. Типи ламінування, вид ламінатора, технічні характеристики. (n.d.). Retrieved from

<https://lube.ua/news/yak-vibrati-laminator-dlya-pevni-h-zavdan-tipi-laminuvannya-vid-laminatora-tehnichni-harakteristiki>.

46. Tedesco T. J., Clossey D., Hershey J-M., *Procesy introligatorskie i wykończeniowe współczesnej poligrafii*, COBRPP, Warszawa, 2008.

47. Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej «Wykończenie produktów introligatorskich», zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu technik poligraf. (n.d.). Retrieved from https://informatyka.2ap.pl/ftp/dtp/materia%C5%82y/klasaIII/technik.poligraf_311%5B28%5D_z4.02_u.pdf.

48. Jones P. (2017). The forest, paper and packaging industry and sustainability. *International Journal of Sales, Retailing and Marketing*, 6 (1), 3–21.

49. Попадинець Н. М. (2011). Ринок целюлозно-паперової промисловості: тенденції, проблеми та напрямки розвитку. *Науковий вісник НЛТУ України*, (8), 10-16.

50. Curling po laminowaniu? Słabe laminowanie i zanieczyszczenia? Czy zauważyłeś któryś z tych problemów?. (n.d.). Retrieved from <https://pl.yucaiprinting.com/news/curling-after-lamination-poor-lamination-and-60668572.html>.

51. Шпак В. І. (2017). Поліграфія: книга редактора. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Viktor-Shpak/publication/346399606_Poligrafia_kniga_redaktora/links/5fbfcd0f92851c933f5e0197/Poligrafia-kniga-redaktora.pdf.

52. Мартинюк М. С. (2002). *Удосконалення конструкцій книжкових оправ та оптимізація технології їх виготовлення* (Автореф. дис. канд. техн. наук, 05.05.01). Українська академія друкарства, 19.

53. Палюх О. О., & Воробей В. О. (2023). Дослідження процесів імітаційного моделювання розрахунку міцності інтегральних обкладинок. *Технологія і техніка друкарства*, (3(81), 15–34. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(81\).2023.295442](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(81).2023.295442).

54. Палюх О. О., Дзядик Є. А., Воробей В. О., & Палюх Д. О. (2021). Дослідження особливостей застосування клейового апарата лінії для

виготовлення півжорстких обкладинок. *Технологія і техніка друкарства*, (4 (74), 79–94. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(74\).2021.261117](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(74).2021.261117).

55. Палюх О. О., & Воробей В. О. (2023). Розробка та аналіз конструктивних варіантів просторової конфігурації інтегральних обкладинок для оптимізації їх ергономічності. *Технологія і техніка друкарства*, (4 (82), 70–92. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(82\).2023.300131](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(82).2023.300131).

56. Paliukh O., Kyrychok P., Shtefan Y., & Titov A. (2022). Development of information support for simulation of the process of deformation of root polymer plate in book blocks sewed with threads. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(1 (119), 62–73. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265869>.

57. Tsimer, O., Repeta, V., & Myklushka, I. (2020). Analysis of quality factors for digitization process of old books. *Journal of Graphic Engineering and Design*, 11(2), 5–10. <http://doi.org/10.24867/JGED-2020-2-005>.

58. Оси́ка В., Комаха В., Шульга О. (2019). Світовий ринок паперових пакувальних матеріалів. *Товари і ринки*, (2) 30), 5–17.

59. Шендерівська Л. П., Савенок Д. А. (2016). Тенденції розвитку ринку упаковки України. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія: Економіка і менеджмент*, (16), 97–101. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvmgu_eim_2016_16_23.

60. Deshwal G. K., Panjagari N. R., & Alam T. (2019). An overview of paper and paper based food packaging materials: health safety and environmental concerns. *Journal of Food Science and Technology*, 56 (10), 4391–4403. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03950-z>.

61. Оцінка ProConsulting. (n.d.). Retrieved from <https://pro-consulting.ua/>.

62. Кривошей В. М. (2023). Ринок, споживач, упаковка. *Упаковка*, (2), 24–27.

63. Data Bridge Market Research. (n.d.). *North America Paper and Paperboard Packaging Market – Industry Trends and Forecast to 2029*. Retrieved from <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/north-america-paper-paperboard-packaging-market/>.

64. Що відноситься до пакувальних матеріалів. (n.d.). Retrieved from <https://evopack.com.ua/shho-vidnosytsya-do-pakuvalnyh-materialiv/>.
65. Криховець, О. В., & Репета, В. Б. (2024). Реставраційні заходи з покращення стану збережених друкованих видань. *Поліграфія і видавнича справа*, 87(1), 140–147. doi: 10.32403/0554-4866-2024-1-87-140-147.
66. Марчук І. В., & Золотухіна К. І. (2022). Перспективні напрями розвитку поліграфічних матеріалів та технологій їх задруковування. *Технологія і техніка друкарства*, (4 (78), 111–120. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(78\).2022.275291](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(78).2022.275291).
67. Семюк С. Є., Голодюк Г. І., & Гургула Н. М. (2020). Сучасний стан і проблеми українського ринку целюлозно-паперової продукції. *Товарознавчий вісник*, (1(13), 216–228. <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2020-13-18>.
68. Телетов О. С., & Шатова В. М. (2014). Упаковка як об'єкт інноваційного маркетингу. *Маркетинг і менеджмент інновацій*, (2), 11–20.
69. Довганич В. В., & Довганич А. В. (2022, 27-30 вересня). *Аналіз тенденцій розвитку паперових санітарно-гігієнічних виробів*. Тези доп. І Міжнародної науково-практичної конференції «Current trends in the development of modern scientific thought», Хайфа, Ізраїль. с. 475-477.
70. Кривошей В., & Халайджі В. (2019). Тенденції розвитку світового пакування. *Продовольчі ресурси*, 7 (13), 95–105. <https://doi.org/10.31073/foodresources2019-13-09>.
71. Погожих М. І., & Софронова М. С. (2020). Аналітичний огляд стану світового ринку пакувальної індустрії. *Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг*, 1 (31), 211–226. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3932788>.
72. Довганич А. В., & Довганич В. В. (2022, 27-30 вересня). Аналіз досліджень тенденції розвитку та виготовлення паперової пакувальної продукції. Тези доп. І Міжнародної науково-практичної конференції «Current trends in the development of modern scientific thought», Хайфа, Ізраїль. с. 472–474. Retrieved

from <https://isg-konf.com/wp-content/uploads/2022/09/Current-trends-in-the-development-of-modern-scientific-thought.pdf>.

73. Azevedo A. R. G., Alexandre J., Xavier G. de C., & Pedroti L. G. (2018). Recycling paper industry effluent sludge for use in mortars: A sustainability perspective. *Journal of Cleaner Production*. 192, 335–346. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.011>.

74. Al-hamdani M. (2017). Plain packaging policy: Preventing industry innovations. *Canadian Journal of Public Health / Revue Canadienne de Santé Publique*, 108 (1), 98–100. <https://doi.org/10.17269/cjph.108.5828>.

75. Piergiovanni L. (2016). Introduction to Food Packaging Materials. *Food Packaging Materials*, 1-3.

76. Papier i tekstura w Europie. (n.d.). Retrieved from <https://rynek-ksiazki.pl/aktualnosci/papier-i-tekstura-w-europie/>.

77. Європейська паперова промисловість зазнала різкого скорочення виробництва паперу та картону в 2023 році. (2024). Retrieved from <https://bulletin.com.ua/europa/evropejska-paperova-promyslovist-zaznala-rizkogo-skorochennya-vyrobnytva-paperu-ta-kartonu-v-2023-roczy/>.

78. Аналіз ринку паперової та картонної упаковки для харчових продуктів (первинної, вторинної, транспортної) в Україні. (2024). Retrieved from <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-bumazhnoj-i-kartonnoj-upakovki-dlya-pishevyh-produktov-pervichnoj-vtorichnoj-transportnoj-v-ukraine-2024-god>.

79. Laminating Machines Market Trends, Size and Insights 2032. (n.d.). Retrieved from <https://www.coherentmarketinsights.com/industry-reports/laminating-machines-market>.

80. Аналіз ринку пакувальної продукції в Україні. (n.d.). Retrieved from <https://inventure.com.ua/uk/analytics/investments/analiz-rinku-pakuvalnoyi-produkciyi-v-ukrayini>.

81. Photo Paper Market Size, Share, Growth, and Industry Analysis, By Type (Silver Halide Photographic Paper & Inkjet Photographic Paper), By Application (Civil

Field & Professional Field), Regional Forecast To 2032. (n.d.). Retrieved from <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/photo-paper-market-100414>.

82. Repeta V., Myklushka I., Zhydetskyi V., Slobodanyk V., Pylypiuk V. (2021). Models of the influence of factors on the process of digital inkjet printing of photographic images. *CEUR Workshop Proceedings*, 2917, 107–116. Retrieved from <https://ceur-ws.org/Vol-2917/paper10.pdf>.

83. Скрипка М. В., Хмілярчук О. І., & Лотоцька О. І. (2012). Папір для друкування фотографій: структура, властивості, класифікація. *Технологія і техніка друкарства*, (2 (36), 68–74. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(36\).2012.32549](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(36).2012.32549).

84. Види фотопаперу: Який буває фотопапір. (n.d.). Retrieved from <https://fotoink.com.ua/vidi-fotopaperu.html>.

85. Як вибрати фотопапір для принтера? (n.d.). Retrieved from https://mak.trade/info/articles/2023/yak_vibrati_fotopapir_dlya_printera/?srsltid=AfmBOop1PpQ_8BJLXRjuR_nAWeCfmBk4Sy6--EoUnMC5ysWgq9s-Nxip.

86. Penichon S., Jürgens M., & Murray A. (2002). Light and dark stability of laminated and face-mounted photographs: a preliminary investigation. *Studies in Conservation*, 47 (3), 154-159. DOI: 10.1179/sic.2002.47.s3.032.

87. Repeta V., Kukura Y., Shibanov V., Myklushka I., & Kukura, V. (2020). Influence of properties of materials for solventless lamination on the bonding strength of multilayer packaging: DOI 10.14622/JPMTR-2001. *Journal of Print and Media Technology Research*, 9 (3), 177–184. Retrieved from <http://www.jpmttr.net/index.php/journal/article/view/10>.

88. Полімерні плівки для припресовування. (n.d.). Retrieved from <https://proizvodim.com/>.

89. A Comprehensive Guide to the Types of Lamination Film. (n.d.). Retrieved from <https://stretchwrappingfilm.com/types-of-lamination-film/>.

90. Які бувають види ламінації та чим вони відрізняються. (n.d.): Retrieved from <https://copycentr.org.ua/yaki-buvayut-vidi-laminaczii-ta-chim-voni/>.

91. Jašúrek B., Vališ J., & Šrámková M. (2022). Lamination of electrophotographic prints. In the 11th International Symposium on Graphic Engineering and Design. University of Novi Sad, Faculty of technical sciences, Department of graphic engineering and design, 107-113. <https://doi.org/10.24867/grid-2022-p10>.
92. Global Laminating Adhesives Market - Industry Trends and Forecast to 2029. (n.d.). Retrieved from <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-laminating-adhesives-market>.
93. Бернацек, В. В., Конюхова, І. І., Мартинюк М. С., & Рибка Р. В. (2013). Особливості використання адгезивів у виробництві паковань: каширування, ламінування, флокування. *Квалілогія книги*, (1), 58-61. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Kk_2013_1_13.
94. Гавенко С. Ф., & Мартинюк, М. С. (2008). *Технологія ламінування друкарських відбитків*: навч. посібник. Укр. акад. друкарства., 80.
95. Бараускене О. І., & Зигуля С. М. (2023). Особливості кольоровідтворення при цифровому друці на крейдованому папері. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: Тези доовідей. VIII міжнародної науково-технічної конференції*. (с. 195–197). Харківський національний університет електроніки. (конференція відбулася 16 – 20 травня 2023 р.).
96. Савченко К. І. (2012). Колірне охоплення відбитків струменевого друку. *Технологія і техніка друкарства*, 2 (58), 113–120.
97. Durnyak B., Nakonechnyi M., Lutsiv M., Polishchuk V., Shepita P. (2023). Definition of Optical Density of Digital Images for Print Equipment Control Systems. *CEUR Workshop Proceedings*, 3538, pp.320-327. Retrieved from https://ceur-ws.org/Vol-3538/Short_4.pdf.
98. Довганич А. В. (2022). Вплив процесу ламінування на оптичну щільність зображення надрукованого цифровим друком на картоні. *Квалілогія книги*, 2 (42), 41-47. doi: 10.32403/2411-3611-2022-2-42-41-47.

99. Довганич А. В. (2023, January). Дослідження оптичної щільності ламінованих відбитків отриманих струминним друком. In *The 2th International scientific and practical conference "Modern education using the latest technologies"* (January 17-20, 2023) Lisbon, Portugal. International Science Group. 2023. 504 p. (p. 442).
100. Zorenko O., Zorenko Y., Kupalkina-Luhova I., Skyba V., & Khokhlova R. (2021). Influence of the surface characteristics of corrugated cardboard on the quality of inkjet printing . *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (1 (114)), 47–55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.244617>.
101. Зоренко О. В., Стефанишена О. Б., Хохлова Р. А., (2021). Трибологічний аналіз системи «друкарська форма глибокого методу друку-відбиток». *Технологія і техніка друкарства*. (1(71), с. 37-50. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(71\).2021.228973](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(71).2021.228973).
102. Durnyak B., Lutskiv M., Shepita P., Sheketa V., Karpyn R., & Pasyeka N. (2022). Analysis of Transfer of Modulated Ink Flows in a Short Printing System of Parallel Structure. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2022. 134, p.17 – 26.
103. Durnyak B., Lutskiv M., Shepita P., & Polishchuk I. (2023). Modeling the Logarithmic and Exponential Transformation Algorithms for Optical Density in Decision Support Models and Methods. *CEUR Workshop Proceedings*, 3538, pp. 304-311. Retrieved from https://ceur-ws.org/Vol-3538/Short_2.pdf.
104. Степанець В. В., & Кушлик Б. Р. (2008). Вплив технологічних факторів на кольоровідтворення при опорядженні картонного пакування. *Технологія і техніка друкарства*, (2 (20), 34–42. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(20\).2008.59142](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(20).2008.59142).
105. Najczęściej popełniane błędy w technikach laminacji. Retrieved from <https://www.signs.pl/najczesciej-popelniane-bledy-w-technikach-laminacji,10543,artykul.html>.
106. Havenko S. F., Bernatsek V. V., labetska M. T., & Dovhanych A.V., (2022). Study of the influence of lamination on the quality of digital imprints.

Технологія і техніка друкарства, 1 (75), с. 15–23. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(75\).2022.255484](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(75).2022.255484).

107. Мартинюк М. С., Бернацек В. В., Лабєцька М. Т., Довганич А. В. (2023). Дослідження експлуатаційних показників відбитків цифрового друку на фотопапері. *Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. працівн. і аспір., Львів: УАД.*, с. 55.

108. Бернацек В. В., Лабєцька М. Т., Довганич А. В. (2023). Дослідження якості відбитків цифрового друку на фотопапері. *Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. працівн. і аспір., Львів: УАД.*, с. 53.

109. Гавенко С. Ф., Довганич А. В., Савка А. Л. (2023). Вплив технологічних режимів ламінування картонних відбитків цифрового друку на їх експлуатаційні показники. *Modern problems of science, education and society. Proceedings of the 9th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua"*, Kyiv, Ukraine с. 320-322.

110. Довганич А. В., Гавенко С. Ф., Кочубей В. В. (2024). Термогравіметричні дослідження ламінованих друкарських відбитків. *VII International Scientific and Theoretical Conference «Advanced discoveries of modern science: experience, approaches and innovations»*. Amsterdam, The Netherlands. – pp. 65 – 66. <https://doi.org/10.36074/scientia-29.11.2024>.

111. Довганич А. В., & Кочубей В. В., (2024). Термогравіметричні дослідження ламінованих відбитків. *Квалілогія книги*, 2 (46), 23-30. doi: 10.32403/2411-3611-2024-2-46-23-30.

112. Репета В. Б., Гаврилишин О. Б., Криховець О. В. та Жидецький В. Ц., (2023). Встановлення оптимального параметра картону як фактора мінімізації відходів пакувального виробництва. *Наукові записки УАД*, 2 (67), 229–238.

113. What Is Print Lamination? (n.d.). Retrieved from <https://orchiddigitals.com/what-is-print-lamination/>.

114. Луців А. (2023). Аналіз сучасного стану підприємств таропакувальної галузі в Україні та виклики ринку. *Економіка та суспільство*, (58). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-58-48>.

115. UPM Digi Color Laser. Retrieved from <https://lumitex.by/product/upm-digi-color-laser/>.

116. Photos that outshine reality. Fujicolor Crystal Archive Digital Paper Type DII. Retrieved from https://www.freestylephoto.com/static/pdf/product_pdf/fujifilm/Fujicolor_Crystal_Archive_RA-_Color_Print_Paper_Type_II-Technical-Specs.pdf.

117. Фотопапір глянцевий 200 г/м², original barva (ip-c200-t02). (n.d.). Retrieved from <https://barva.ua/product/fotopapir-glyanceviy-200-g-m2-a4-20-ark-original-barva-ip-c200-t02>.

118. Фотопапір для принтерів. Retrieved from <https://zmey.ua/ua/a392157-fotobumaga-dlya-printerov.html>

119. Arktika. Retrieved from <https://www.paper.co.uk/PremierPaper/media/Graphical-Board/Arktika.pdf>.

120. Ламінатор рулонний RL360. (n.d.). Retrieved from <https://bestprint.ua/ua/p25222757-laminator-rulonnyj-rl360.html>.

121. Обладнання типографії Кловер. (n.d.). Retrieved from <https://clover.com.ua/our-company/nashe-oborudovanie.html>.

122. Плівка для ламінування Lamiroll Glossy (n.d.). Retrieved from https://elmir.ua/ua/lamination_film/laminating_film_lamiroll_glossy_320_mm_200_m_32_mkr_digital_3210016.html.

123. Cosmo Films: Specialty Films for Packaging, Lamination. (n.d.). Retrieved from <https://www.cosmofilms.com/>.

124. ISO 12647-2:2013. (2013). *Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 2: Offset lithographic processes*.

125. ДСТУ EN ISO/CIE 11664-4:2020. (n.d.). *Колориметрія. Частина 4. Колірний простір CIE 1976 L*a*b* (EN ISO/CIE 11664-4:2019, IDT; ISO/CIE 11664-4:2019, IDT)*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91668.

126. Mokrzycki W.S., & Tatol M. (2011). Color difference ΔE : a survey. *Machine graphics & vision*, 383-411.
127. Duvilax BD-20/46. (n.d.). Retrieved from https://www.duvilax.sk/userfiles/downloads/enw_bd_20_46.pdf/.
128. Розривна машина РМБ-30-2м. (n.d.). Retrieved from <https://standart-pribor.com.ua/product/mashina-razryvnaya-rmb-30-2m/>.
129. ДСТУ ISO 1924-3:2010. (n.d.). *Папір та картон. Визначання міцності під час розтягування. Частина 3. Метод розтягування з постійною швидкістю (100 мм/хв) (ISO 1924-3:2005, IDT)*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64264.
130. Установка компресорна УК 25-1,6 М. (n.d.). Retrieved from <https://med-texnika.com/Compressor-installation-UK-25>.
131. AniCAM HD: Precision Anilox Inspection System. Retrieved from <https://www.daetwyler-usa.com/products/all/anicam-hd/>.
132. Intel Play. (n.d.). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Intel_Play#External_links.
133. Портативний професійний цифровий мікроскоп x1600. (n.d.). Retrieved from <https://hapstone.pro/uk/instrumenti/portativniy-cifroviy-mikroskop-h1600>.
134. ДСТУ ISO 2813:2015 *Фарби та лаки. Визначення блиску під кутом 20°, 60° та 85° (ISO 2813:2014, IDT)*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=82000.
135. Malachivskyy P. S., Pizyur Y. V., Malachivskiy R. P., Ukhanska O. M. (2020). Chebyshev approximation of functions of several variables. *Cybernetics and Systems Analysis*, 56, (1), 76–86.
136. Bubela T., Malachivskyy P., Pokhodylo Y., Mykyychuk M., & Vorobets O. (2016). Mathematical modeling of soil acidity by the admittance parameters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (84), 4–9. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.83972>.

137. Malachivskyy P. S., Pizyur Ya. V., Danchak N. V., & Orazov E. B. (2013). Chebyshev Approximation by Exponential-Power Expression. *Cybernetics and Systems Analysis*, 49(6), 877–881.
138. Малахівський П. С., & Пізюр Я. В. (2016). *Розв'язування задач в середовищі Maple*. РАСТР–7.
139. Сеньківський В. М., Піх І. В., & Мельников О. В. (2013). Метод ранжування факторів впливу на якість технологічних процесів. *Поліграфія і видавнича справа*, 1 (2), 33-41. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pivs_2013_1-2_6.
140. Kudriashova A. V. (n.d.). A model of the priority influence of factors on the quality of post-printing processes. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes: Int. sci. and tech. j. of Khmelnytskyi National University*, (1), 187–192.
141. Pamucar D., & Ecer F. (2020). Prioritizing the weights of the evaluation criteria under fuzziness: The fuzzy full consistency method – FUCOM-F. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 18(3), 419-437.
142. Kinay A. O., & Tezel, B. T. (2022). Modification of the fuzzy analytic hierarchy process via different ranking methods. *International Journal of Intelligent Systems*, 37(1), 336-364.
143. Довганич А. В. (2022). Вплив ламінування на якість струменевих відбитків на фотопапері. *Квалілогія книги*, 1 (41), 62–67. <https://doi.org/10.32403/2411-3611-2022-1-41-62-67>.
144. Довганич А. В. (2023). Довганич, А. В. Аналіз якості відтворення зображень на відбитках цифрового друку. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп.*, 23–24.
145. Бернацек В. В., Лабецька М. Т., Довганич А. В. (2023). Дослідження якості відбитків цифрового друку на фотопапері / *Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. працівн. і аспір*. Львів: УАД с. 53.
146. Довганич А., & Довганич В. (2023). Study of the influence of the surface structure of the substrates on the imprints quality. *International scientific-practical*

conference. *Innovations in Publishing, Printing and Multimedia Technologies* Kaunas, Lithuania. Pp. 26–33. <https://doi.org/10.59476/ilpmt2023.26-33>.

147. Довганич А. В. (2022). Дослідження оптичної щільності ламінованого відбитка отриманого цифровим друком. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доповідей VII Міжнар. наук.-техн. конф.*, Харків : ХНУРЕ, Т. 1, с. 22-23. <https://openarchive.nure.ua/handle/document/20429>.

148. Довганич А. В. Гавенко С. Ф. (2023). Дослідження стійкості ламінованих друкарських відбитків до продавлювання : *V Міжнародній науково-практичній конференції студентів, магістрантів та аспірантів Квалілогія книги*, Львів: УАД, с. 53-55.

149. Havenko S., & Dovhanych A. (2023). Optimizing the technological modes of lamination of digital prints. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(1(125)), 81–91. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288518>.

150. Андрусенко Ю. О. (2020). Аналіз основних моделей прогнозування часових рядів. *Збірник наукових праць ХНУПС*, (3), 91–96.

151. Довганич А. В. (2023, January). Удосконалення якості ламінування відбитків на фотопапері. In *The 1th International scientific and practical conference “Current issues of science and integrated technologies” (January 10-13, 2023) Milan, Italy*. International Science Group. 2023. 799 p. (p. 691).

152. Гавенко С. Ф., & Довганич, А. В. (2024). Модель параметрів, які впливають на якість ламінування відбитків. *Технологія і техніка друкарства*, 3(85), 30–37. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(85\).2024.322528](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(85).2024.322528).

153. Сеньківський В. М., & Піх І. В. (2013). Математичне моделювання процесу ранжування факторів. *Моделювання та інформаційні технології*, (69), 142–146.

154. Kondratenko Y. P., & Kondratenko N. (2018). Real-Time Fuzzy Data Processing Based on a Computational Library of Analytic Models. *Data*, 3 (4), 59.

155. Senkivsky V., Pikh I., Babichev, S., Kudriashova A., & Senkivska N. (2021). Modeling of Alternatives and Defining the Best Options for Websites Design.

CEUR Workshop Proceedings, 2856, pp/ 259-270. Retrieved from <https://ceur-ws.org/Vol-2853/paper24.pdf> .

156. Довганич А. В. Гавенко С. Ф., Котмальова О. Г. (2024). Захист поліграфічної і пакувальної продукції методом ламінування. / *Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. працівн. і аспір.*, 53. Львів: УАД.

157. Havenko S. & Dovhanych A., 2021. Research of factors influencing the quality of imprints lamination. *Przegląd papierniczy*, 77 (11), p. 614-617 DOI: 10.15199/54.2021.11.4.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А1. ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Публікації у наукових виданнях, включених до наукометричної бази Scopus:

1. Havenko S. & Dovhanych A. 2023. Optimizing the technological modes of lamination of digital prints. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5, 1(125), p. 81–91. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288518>.

Публікації у зарубіжних наукових виданнях:

2. Havenko, S. & Dovhanych, A., 2021. Research of factors influencing the quality of imprints lamination. *Przegląd papierniczy*, 77 (11), p. 614-617 DOI: 10.15199/54.2021.11.4.

Публікації у фахових наукових виданнях України:

3. Довганич А. В., 2022. Вплив процесу ламінування на оптичну щільність зображення надрукованого цифровим друком на картоні. *Квалілогія книги*, 2 (42) с. 41-47. doi: 10.32403/2411-3611-2022-2-42-41-47.

4. Havenko, S. F., Bernatsek, V. V., labetska, M. T., & Dovhanych, A. V., 2022. Study of the influence of lamination on the quality of digital imprints. *Технологія і техніка друкарства*, 1 (75), с. 15–23. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(75\).2022.255484](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(75).2022.255484).

5. Довганич А. В. 2022. Вплив ламінування на якість струменевих відбитків на фотопапері. *Квалілогія книги*, 1 (41) с. 62–67. URL: <https://doi.org/10.32403/2411-3611-2022-1-41-62-67>.

6. Довганич А. В., & Кочубей В. В., 2024. Термогравіметричні дослідження ламінованих відбитків. *Квалілогія книги*, 2 (46), с. 23-30. doi: 10.32403/2411-3611-2024-2-46-23-30.

7. Гавенко, С. Ф., & Довганич, А. В., 2024. Модель параметрів, які впливають на якість ламінування відбитків. *Технологія і техніка друкарства*, 3(85), с. 30–37. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(85\).2024.322528](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(85).2024.322528).

Публікації у збірниках матеріалів конференцій:

8. Довганич А. В. Дослідження оптичної щільності ламінованого відбитка отриманого цифровим друком. *Поліграфічні, мультимедійні та web-*

технології: тези доповідей VII Міжнар. наук.-техн. конф., 17-21 травня 2022 р. – Харків : ХНУРЕ, 2022. – Т. 1. – с. 22–23.

9. Довганич А. В., Довганич В. В. Аналіз досліджень тенденції розвитку та виготовлення паперової пакувальної продукції // *Current trends in the development of modern scientific thought. Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference*. Haifa, Israel. 2022. Pp. 472–474. URL: <https://isg-konf.com/uk/current-trends-in-the-development-of-modern-scientific-thought/>.

10. Довганич В. В., Довганич А. В. Аналіз тенденцій розвитку паперових санітарно-гігієнічних виробів. *Тези доп. I Міжнародна науково-практична конференція «Current trends in the development of modern scientific thought»*, 27-30 вересня 2022 р., Хайфа, Ізраїль. – с.475-477.

11. Довганич А. В. Удосконалення якості ламінування відбитків на фотопапері. I Міжнародна науково-практична конференція // *Current issues of science and integrated technologies. Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference*. Milan, Italy. 2023. Pp. 691–695. URL: <https://isg-konf.com/uk/current-issues-of-science-and-integrated-technologies/>.

12. Довганич А. В. Дослідження оптичної щільності ламінованих відбитків отриманих струминним друком // *Modern education using the latest technologies. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference*. Lisbon, Portugal. 2023. Pp. 442–444. URL: <https://isg-konf.com/uk/modern-education-using-the-latest-technologies/>.

13. Бернацек В. В., Лабєцька М. Т., Довганич А. В. Дослідження якості відбитків цифрового друку на фотопапері / *Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. працівн. і аспір.* Львів: УАД, 2023. с. 53.

14. Мартинюк М. С., Бернацек В. В., Лабєцька М. Т., Довганич А. В. Дослідження експлуатаційних показників відбитків цифрового друку на фотопапері / *Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. працівн. і аспір.* Львів: УАД, 2023. с. 55.

15. Довганич А. В. Аналіз якості відтворення зображень на відбитках цифрового друку. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези*

доповідей VIII Міжнар. наук.-техн. конф., 16-20 травня 2023 р. - Харків: ХНУРЕ, 2023 - с. 23–24.

16. Dovhanych, A., & Dovhanych, V. (2023). Study of the influence of the surface structure of the substrates on the imprints quality // *International scientific-practical conference. Innovations in Publishing, Printing and Multimedia Technologies*, Kaunas, Lithuania, April 26-27, 2023. Pp. 26–33. URL: <https://doi.org/10.59476/ilpmt2023.26-33>.

17. Гавенко С. Ф., Довганич А. В., Савка А. Л. Вплив технологічних режимів ламінування картонних відбитків цифрового друку на їх експлуатаційні показники // *Modern problems of science, education and society. Proceedings of the 9th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua"*. Kyiv, Ukraine. 2023. Pp. 320-322.

18. Довганич А. В. Гавенко С. Ф. Дослідження стійкості ламінованих друкарських відбитків до продавлювання : *V Міжнародній науково-практичній конференції студентів, магістрантів та аспірантів Квалілогія книги*. Львів: УАД, 2023. с. 53-55.

19. Довганич А. В. Гавенко С. Ф., Котмальова О. Г. Захист поліграфічної і пакувальної продукції методом ламінування. / *Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. працівн. і аспір.* Львів: УАД, 2024. с.53.

20. Довганич А. В. Дослідження процесу висікання картонних заготовок паковань / А. В. Довганич // *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології : тези доп. IX Міжнар. наук.-техн. конф., 14–18 травня 2024 р. – Т. 1. – Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2024. – с. 26–27.*

21. Довганич А. В., Гавенко С. Ф., Кочубей В. В. (2024). Термогравіметричні дослідження ламінованих друкарських відбитків. *VII International Scientific and Theoretical Conference «Advanced discoveries of modern science: experience, approaches and innovations»*. Amsterdam, The Netherlands. – pp. 65 – 66. DOI:<https://doi.org/10.36074/scientia-29.11.2024>.

ДОДАТОК А2. ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні результати дисертації доповідались та обговорювались на:

- звітних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів Української академії друкарства (Львів, 2021 – 2025);
- V Міжнародній науково-практичній конференції студентів, магістрантів та аспірантів Української академії друкарства (8 червня 2023 р.);
- VII і VIII Міжнародних науково-технічних конференціях «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» (Харків, ХНУРЕ, 17 – 21 травня 2022 р., 16 – 20 травня 2023 р., Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 14 – 18 травня 2024 р.);
- I Міжнародна науково-практична конференція «Current trends in the development of modern scientific thought» (Хайфа, Ізраїль, 27 – 30 вересня 2022 р.);
- I Міжнародна науково-практична конференція «Current issues of science and integrated technologies» (Milan, Italy, 10-13 січня 2023 р.);
- II International Scientific and Practical Conference «Modern education using the latest technologies» (Lisbon, Portugal, 17 – 20 січня 2023 р.);
- International scientific-practical conference «Innovations in publishing, printing and multimedia technologies» (Kaunas, Lithuania, 26-27 April 2023 p.);
- Modern problems of science, education and society «Proceedings of the 9th International scientific and practical conference» (Kyiv, Ukraine, 2023 p.);
- VII International Scientific and Theoretical Conference «Advanced discoveries of modern science: experience, approaches and innovations» (Amsterdam, The Netherlands, 29 November, 2024 p.).

ДОДАТОК. Б. ЕКСПЕРТНЕ ОПИТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ВПЛИВУ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ ЛАМІНУВАННЯ

У цьому додатку наведено опитування за допомогою Google форми.

[illegible]

ДОДАТОК В. АКТ ПРО ВИКОРИСТАННЯ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор
Інституту поліграфії та медійних технологій
Угрин Я. М.
«19» серпня 2024 р.

АКТ

про використання в навчальному процесі результатів дисертаційної роботи Довганич Анни Василівни

Дисертаційне дослідження аспірантки Довганич А. В. присвячене удосконаленню технологій оздоблення друкарських відбитків методом ламінування.

Результати досліджень використано в лекційних та лабораторних заняттях з дисциплін “Проектування поліграфічної та пакувальної продукції”, “Інженерія якості пакувальної продукції”, які забезпечує кафедра поліграфічних технологій та пакування для студентів спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія».

Викладач, доц., к. т. н.,



Кулік Л. Й.

Заступник завідувача кафедри
поліграфічних технологій та пакування
доц., к. т. н.



Конюхова І. І.

Підписи Кулік Л. Й., Конюхова І. І. засвідчую
Начальник ВК

НУ «Львівська політехніка»



Handwritten signature and date 06.05.2024

ДОДАТОК Д. АКТИ ВИРОБНИЧИХ ВИПРОБУВАНЬ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор

Цифрової друкарні

Еталон-прінт

Устинов О.В.



15 - 17 травня 2023 р.

АКТ

виробничих випробувань процесу ламінування друкарських відбитків на фотопапері.

Ми, представники Цифрової друкарні Еталон-прінт Безуглий Р.М.

з одного боку та представники Української академії друкарства, аспірантка Довганич А. В. склали даний акт про те, що 15 - 17 травня 2023 року пройшла апробації процесу ламінування друкарських відбитків виготовлених з фотопаперу Fujifilm 200 г/м², плівкою Glossy 24 мкр, виробник Lamiroll (Китай) з використанням рулонного ламінатора RL360.

Якість ламінування оцінювали за такими показниками: відсутність бульбашок повітря, рівномірність покриття плівкою відбитку по всій поверхні, зусилля розшарування.

Встановлено, що найбільш суттєвий вплив на якість ламінованих відбитків мають такі технологічні режими: температура $T - 111\text{ }^{\circ}\text{C}$, швидкість – 3.25 об/хв, зусилля розшарування – 202 кПа.

Представник

Української академії друкарства

Аспірантка Довганич А. В.

Представник

Друкар

Безуглий Р.М.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор

ФОП Ган М.М.

травень – червень 2024 р.

АКТ

виробничих випробувань процесу ламінування друкарських відбитків на папері та картоні.

Ми, представник фірми ФОП Ган Микола Миколайович, технолог Пшик Володимир Юрійович з одного боку та представники Інституту поліграфії та медійних технологій, кафедри поліграфічних технологій та пакувань, аспірантка Довганич А. В. з другого боку, склали даний акт про те, що був проведений процес ламінування на ламінаторі Foliat 520 відбитків цифрового друку на картоні отриманих на машині моделі Ricoh Pro C751.

Порівняння денситометричних і колориметричних показників відбитків до і після ламінування засвідчили відмінну якість проведеного процесу з використанням таких оптимальних режимів: температура – 113°C, швидкість – 3.25 об/хв .

Представник

Інституту поліграфії та медійних
технологій

Аспірантка  Довганич А. В.

Представник

ФОП Ган М.М.

Технолог/друкар

Пшик В.Ю.

