

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

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ДОВГАНІЧ ВАЛЕНТИНА ВАСИЛІВНА

УДК 655.3.062:655.326.1:676.252.2

ДИСЕРТАЦІЯ
ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВІДБИТКІВ
ФЛЕКСОГРАФІЧНОГО ТА ЦИФРОВОГО ДРУКУ НА ПАПЕРІ ТИССЮ

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 Валентина Василівна

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

Львів – 2025

АНОТАЦІЯ

Довганич В. В. Технологічне забезпечення якості відбитків флексографічного та цифрового друку на папері тиссю. 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 технологічного забезпечення якості виробів тиссю шляхом виявлення взаємовпливу механізму утворення відбитків флексографічного та цифрового (ink-jet) друку, оздоблення люмінесцентними фарбами на денситометричні та колориметричні показники надрукованих зображень; визначення впливу фізико-хімічних та фізико-механічних властивостей паперу тиссю, його топографії поверхні на експлуатаційні показники продукції; що уможливорює на основі експертного оцінювання факторів впливу на якість виробів, розроблення алгоритму системи обґрунтованого вибору методів друкування та оздоблення для підвищення якості та задоволення запитів споживачів.

У *вступі* обґрунтовано актуальність обраної тематики дослідження, сформульовано її мету, завдання, визначено об'єкт і предмет дослідження, методи дослідження, обґрунтовано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, показано зв'язок з науковими програмами, наведено дані про апробацію результатів роботи та публікації.

У *першому розділі* роботи наведено аналіз сучасного стану та перспектив розвитку технологій оздоблення виробів тиссю в Україні та світі. Здійснено аналіз сучасних технологій виготовлення та оздоблення продукції тиссю. Описані технології друкування на паперах тиссю, які виокремлюють флексографічний, цифровий (ink-jet) та трафаретний способи друку та їх ефективність з врахуванням величини накладу, властивостей матеріалів та

методів оздоблення; наведені санітарно-гігієнічні та функціональні характеристики виробів тиссю.

Наведено аналіз наукових джерел, який показав недостатність глибоких досліджень щодо розв'язання завдань досліджуваної тематики.

У другому розділі обґрунтовано вибір об'єктів дослідження, а саме відбитків флексографічного та цифрового (ink-jet) друку на паперах тиссю з використанням флексографічних водорозчинних фарб фірми Аквафлекс Плюс і цифрових пігментних чорнил СМΥК фірми Hewlett Packard HP.

Теоретичні та практичні дослідження процесу друкування на výroбах тиссю, оцінювання якості відбитків, оздоблення серветок методом люмінесценції здійснено на основі електронно-мікроскопічного, денситометричного, колориметричного, термогравіметричного, енергодисперсійного рентгенофлуоресцентного та органолептичного аналізів, методів імітаційного та математичного моделювання. Для опрацювання експериментальних даних та перевірки їх достовірності використано методи математичної статистики в програмі STATISTICA v.10.

Третій розділ роботи присвячено денситометричним та колориметричним дослідженням відбитків флексографічного і цифрового (ink-jet) друку на паперах тиссю. Виявлено, що оптична густина на відбитку флексографічного друку на 21% більша, ніж на відбитку цифрового друку (при 100 відсотковій насиченості кольорів СМΥК). Здійснено аналіз відтворення шрифтових та графічних елементів на výroбах тиссю, який показав, що товщини ліній на флексографічних відбитках мають менші відхилення від норм, ніж на відбитках цифрового друку. Окреслено дефекти, які виникали при флексографічному та цифровому друці.

На основі дослідження денситометричних, колориметричних показників відбитків здійснено групування їх за певними ознаками, що дозволило розробити структурну схему процесу забезпечення якості відбитків цифрового струменевого друку на папері тиссю.

Наведені дослідження впливу ємності анілокового валика на якість

відбитків флексографічного друку на папері тиссю та встановлено, що найкраще фарбоперенесення забезпечує комірка анілоксового валика ємністю $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$. Використання анілоксового валика з ємністю $5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$, спричинило появу помітних спотворень тонових та графічних зображень.

Вперше запропоновано процес оздоблення виробів тиссю з використанням флексографічних фарб з добавкою люмінофора. За допомогою спектрів свічення модифікованого складу фарби та кола колірного охоплення надрукованих зображень підтверджено ефект люмінесценції на відбитках при його оптимальному вмісті – 30%, яка може підвищити ефективність реклами на паперових санітарно-гігієнічних виробах.

Створено імітаційну модель утворення друкованих зображень на папері тиссю флексографічним і цифровим (ink-jet) друком, яка розкриває механізм взаємодії адгезивів і субстратів, та дозволяє забезпечити якість відбитків.

Визначено вплив фізико-хімічних та фізико-механічних властивостей паперу тиссю на технологічні та експлуатаційні характеристики виробів. Виявлено, що збільшення кількості з'єднаних шарів у папері тиссю та наявність тиснення на його поверхні впливає на міцність виробу.

За допомогою термогравіметричного аналізу паперів тиссю та відбитків на них виявлено, що в температурному інтервалі $20\text{--}195^\circ\text{C}$ відбувається виділення летких компонентів зі досліджуваного зразка тришарової серветки (7,8%).

З використанням електронно-оптичної мікроскопії виявлені типові дефекти відбитків: непродруковування (ефект Pinholing); розтискування; неоднакова передача кольорів СМΥК (інверсна тонопередача).

Проведено імітаційне моделювання механізму взаємодії адгезиву і субстрату в процесі цифрового струменевого і флексографічного друку на паперах тиссю. Створено імітаційну модель механізму утворення друкованих зображень на папері тиссю флексографічним і цифровим струменевим друком, яка дозволяє забезпечити якість виробів.

У четвертому розділі представлені дослідження структури поверхні паперів тиссю та відбитків на них, які показали, що зі збільшенням кількості

шарів паперу величина нерівностей на відбитках збільшується. Так мікрорельєф відбитків цифрового друку на одношарових серветках змінюється в межах від 9,9 до 10,9 μm , на двошарових – від 12,4 до 14,9 μm , на тришарових від 14,9 до 17,9 μm . Профіль поверхні відбитків флексографічного друку змінюється від 9,0 до 19,4 μm .

Проведено аналіз мікрофотографій надрукованих зображень на паперових серветках, який підтверджує рівномірний розподіл флексографічної фарби на поверхні та вказує на тісний взаємозв'язок між її складом та волокнами целюлози. Виявлено, що зі збільшенням шорсткості серветок зростає механічна стійкість до продавлювання.

Наведено результати термогравіметричного аналізу складових системи «флексографічна фарба – люмінофор – папір тиссю – задрукована серветка», за даними якого визначено температурний інтервал 20–195 °С, де відбувається виділення летких компонентів зі зразка серветки (7,8%), який супроводжується появою ендотермічного ефекту на кривій ДТА, з максимумом за температури 60 °С. Початкові термоокисні процеси в зразку фарбової композиції починають розвиватися за температур, вищих 187 °С. Незначна втрата маси (1,1%) зразка композиції зумовлена термоокисленням люмінофора в температурному інтервалі 187 – 236 °С.

Досліджено механізм взаємодії фарби на водній основі під час флексографічного друку та водних чорнил при струменевому друці, топографію поверхні, за допомогою якої показано рівномірність розподілу флексографічної фарби на поверхні волокон паперу.

У п'ятому розділі роботи досліджено експлуатаційні властивості виробів тиссю та встановлено, що їх фізико-механічні характеристики впливають на величину опору продавлювання. Встановлено, що зі збільшенням кількості шарів зростає деформація міцності на розтяг виробів тиссю, зокрема в поперечному напрямку для двошарових серветок збільшилась на 0,4% та тришарових – на 1,7%.

Виявлено, що міцність на розтяг виробів тиссю (у сухому стані) у напрямку MD більша, ніж у напрямку CD і для відбитків флексографічного друку розтяг збільшився на 14,5 N/m, а для відбитків цифрового друку - на 13 N/m. У напрямку MD розтяг виробів тиссю (при вологому стані) більший для незадрукованої серветки, а саме: для одношарової – 58,2 N/m, двошарової – 63,6 N/m та тришарової – 61,7 N/m. На величину міцності на розтяг відбитків у поперечному напрямку (у вологому стані) впливає спосіб друкування: при флексографічному друку для одношарової серветки зросла на 2 N/m, а для двошарової – на 4,5 N/m, для тришарової серветки з цифровим друком – на 4,1 N/m.

Визначено індекс поверхневого всотування для досліджуваних зразків паперових серветок, який відповідає нормативним значенням і залежить від пористості паперу тиссю, його структури.

Окреслено фактори впливу на якість виробів тиссю, визначено їх вагомість, на основі чого побудовано ієрархічну модель пріоритетного впливу, що дозволить удосконалити процесу забезпечити якості продукції. Методом експертного опитування визначено фактори впливу на органолептичні показники виробів тиссю. Розрахований коефіцієнт конкордації Кендалла $W=0,82$ свідчить про сильну узгодженість думок експертів.

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень розв'язано науково-прикладну задачу і отримані такі нові результати:

Вперше:

- запропоновано метод оздоблення виробів тиссю флексографічними фарбами з домішкою люмінофора, встановлено його оптимальний склад і за допомогою спектрів свічення модифікованого складу фарби, побудованого кола кольорового охоплення відбитка, електронно-мікроскопічних досліджень надрукованих зображень на серветках, підтверджено ефект люмінесценції, що забезпечить підвищення ефективності друкованої реклами на паперовій санітарно-гігієнічній продукції інтенсивного використання;

- розроблено структурну схему процесу забезпечення якості відбитків флексографічного і цифрового (ink-jet) друку на папері тиссю з врахуванням їх

фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей, денситометричних, колориметричних та експлуатаційних показників, групування за певними ознаками, що уможливить прогнозування та підвищення споживчих властивостей готових виробів;

- виявлено вплив фарбоємкості анілоксого валика на оптичні та колориметричні показники відбитків флексографічного друку, що дозволить оптимізувати технологічний процес друкування та зменшити появу дефектів у надрукованих зображеннях.

Удосконалено:

- імітаційну модель процесу формування друкованих зображень методом цифрового (ink-jet) та флексографічного друку на паперах тиссю з урахуванням структурної будови адгезивів і субстратів, що дозволить теоретично обґрунтувати механізм їх взаємодії для забезпечення належної якості процесу виготовленої продукції;

- методи дослідження впливу вологи на деформаційні та міцнісні характеристики виробів тиссю, з врахуванням кількості з'єднаних паперових шарів, поперечного і поздовжнього напрямку волокон, що дозволить спрогнозувати їх витривалість при розриві, розтягу і продавлюванні під час використання споживачами.

Дістали подальший розвиток:

- методи експертного опитування з визначення факторів впливу на якість виробів тиссю, які враховують їх органолептичні, технологічні та експлуатаційні показники, на основі чого розроблено ієрархічну модель їх пріоритетного впливу, що дозволить забезпечити прогнозовану якість продукції.

Апробація виробничих випробувань якості відбитків флексографічного друку проводилася в компанії ТОВ Марго (м. Тернопіль), а відбитків цифрового (ink-jet) друку – на фірмі EkoKraft (м. Житомир).

Результати досліджень апробовані в лекційних та лабораторних курсах з дисциплін “Технологія друкарських процесів” та “Інженерія якості пакувальної продукції” кафедри поліграфічних технологій та пакувань, які читалися

студентам спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія». Дані про впровадження підтверджено відповідними документами.

Ключові слова: папір тиссю, флексографічний друк, цифровий (ink-jet) друк, друкарські відбитки, якість відбитків, різниця кольорів, оптична щільність, моделювання, фактори впливу, люмінофор, флексографічна фарба, оптимізація процесу.

ANNOTATION

Dovhanych V. V. Technological assurance of the quality of flexographic and digital imprints on tissue paper. 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 devoted to solving the current scientific-applied task of technological quality assurance for tissue products by identifying the mutual influence of the mechanism of imprint formation by flexographic and digital (inkjet) printing, finishing with luminescent inks on densitometric and colorimetric parameters of printed images; determining the influence of the physico-chemical and physico-mechanical properties of tissue paper, its surface topography on the performance indicators of products; which makes it possible, based on expert assessment of factors influencing product quality, to develop an algorithm for a system of informed selection of printing and finishing methods to improve quality and meet consumer demands.

The **introduction** substantiates the relevance of the chosen research topic, formulates its purpose and tasks, defines the object and subject of the research, outlines the research methods, and substantiates the scientific novelty and the practical significance of the obtained results. Additionally, it shows the connection with relevant scientific programs and provides data on the approval of the work's results and publications.

In the **first chapter** of the work, an analysis of the current state and development prospects of tissue product finishing technologies in Ukraine and worldwide is presented. An analysis of modern technologies for manufacturing and finishing tissue products has been conducted. The technologies for printing on tissue papers are described, which distinguish flexographic, digital (inkjet) and screen printing methods and their effectiveness, taking into account print run size, material properties and finishing methods; the sanitary-hygienic and functional characteristics of tissue products are presented.

An analysis of scientific sources is presented, which showed insufficient in-depth research regarding the resolution of tasks within the studied subject matter.

In the **second chapter**, the choice of research objects is substantiated, namely flexographic and digital (inkjet) imprints on tissue papers using Aquaflex Plus water-soluble flexographic inks and Hewlett Packard HP CMYK digital pigment inks.

Theoretical and practical research of the printing process on tissue products, evaluation of imprint quality, and finishing of napkins using luminescence methods was conducted based on electron microscopic, densitometric, colorimetric, thermogravimetric, energy-dispersive X-ray fluorescence and organoleptic analyses, simulation and mathematical modelling methods. For processing experimental data and verifying their reliability, mathematical statistics methods in STATISTICA v.10 software were used.

The **third chapter** of the work is devoted to densitometric and colorimetric studies of flexographic and digital (inkjet) imprints on tissue papers. It was found that the optical density on flexographic imprints is 21% greater than on digital imprints (at 100% saturation of CMYK colours). An analysis of the reproduction of text and graphic elements on tissue products was conducted, revealing that line thicknesses on flexographic imprints exhibit smaller deviations from standards compared to those on digital imprints. Defects that arise during flexographic and digital printing are outlined.

Based on the study of densitometric and colorimetric parameters of imprints, they were grouped according to certain characteristics, which allowed for the development of a structural scheme for the quality assurance process of digital inkjet imprints on tissue paper.

Studies of the influence of anilox roller capacity on the quality of flexographic imprints on tissue paper is presented, and it was established that the best ink transfer is provided by an anilox roller cell with a capacity of 6 cm³/m². The use of an anilox roller with a capacity of 5 cm³/m² caused the appearance of noticeable distortions in tonal and graphic images.

For the first time, a process for finishing tissue products using flexographic inks with luminophore additive is proposed. Using luminescence spectra of the modified

ink composition and the colour gamut of printed images, the luminescence effect on imprints at its optimal content of 30% has been confirmed, which can enhance the effectiveness of advertising on paper sanitary-hygienic products.

A simulation model for the formation of printed images on tissue paper by flexographic and digital (inkjet) printing has been created, which reveals the mechanism of interaction between adhesives and substrates, and allows for ensuring the quality of imprints.

The influence of physico-chemical and physico-mechanical properties of tissue paper on the technological and operational characteristics of products has been determined. It was found that increasing the number of bonded layers in tissue paper and the presence of embossing on its surface affects the strength of the product.

Using thermogravimetric analysis of tissue papers and imprints on them, it was found that in the temperature range of 20–195 °C, volatile components are released from the studied three-layer napkin sample (7.8%).

Using electron optical microscopy, typical imprint defects were identified: non-printing (Pinholing effect); dot gain; uneven transmission of CMYK colours (inverse tone reproduction).

Simulation modelling of the mechanism of interaction between adhesive and substrate in the process of digital inkjet and flexographic printing on tissue papers was conducted. A simulation model of the mechanism for forming printed images on tissue paper by flexographic and digital inkjet printing was created, which allows for ensuring product quality.

In **the fourth chapter**, studies of the surface structure of tissue papers and imprints on them are presented, which showed that with an increase in the number of paper layers, the magnitude of irregularities on imprints increases. Thus, the microrelief of digital imprints on single-layer napkins varies within the range from 9.9 to 10.9 μm , on double-layer napkins – from 12.4 to 14.9 μm , on triple-layer napkins from 14.9 to 17.9 μm . The surface profile of flexographic imprints varies from 9.0 to 19.4 μm .

An analysis of micrographs of printed images on paper napkins was conducted,

which confirms the uniform distribution of flexographic ink on the surface and indicates a close relationship between its composition and cellulose fibres. It was found that with increasing napkin roughness, mechanical resistance to indentation increases.

The results of thermogravimetric analysis of the components of the "flexographic ink – luminophore – tissue paper – printed napkin" system are presented, according to which the temperature range of 20–195°C was determined, where volatile components are released from the napkin sample (7.8%), which is accompanied by the appearance of an endothermic effect on the DTA curve, with a maximum at 60°C. Initial thermo-oxidative processes in the ink composition sample begin to develop at temperatures above 187°C. The slight mass loss (1.1%) of the composition sample is caused by thermo-oxidation of the luminophore in the temperature range of 187–236°C.

The mechanism of interaction of water-based ink during flexographic printing and water-based inks during inkjet printing, as well as surface topography, has been studied, through which the uniformity of flexographic ink distribution on the paper fibre surface is demonstrated.

In the **fifth chapter** of the work, the operational properties of tissue products are studied and it is established that their physico-mechanical characteristics affect the magnitude of indentation resistance. It was determined that with an increase in the number of layers, the deformation of tensile strength of tissue products increases, particularly in the transverse direction for double-layer napkins it increased by 0.4% and for triple-layer napkins – by 1.7%.

It was found that the tensile strength of tissue products (in dry state) in the MD direction is greater than in the CD direction, and for flexographic imprints the tensile strength increased by 14.5 N/m, whilst for digital imprints – by 13 N/m. In the MD direction, the tensile strength of tissue products (in wet state) is greater for unprinted napkins, namely: for single-layer – 58.2 N/m, double-layer – 63.6 N/m and triple-layer – 61.7 N/m. The magnitude of tensile strength of imprints in the cross direction (in wet state) is influenced by the printing method: with flexographic printing for single-layer napkins it increased by 2 N/m, and for double-layer – by 4.5 N/m, for triple-layer

napkins with digital printing – by 4.1 N/m.

The surface absorption index for the studied paper napkin samples was determined, which corresponds to normative values and depends on the porosity of tissue paper and its structure.

Factors influencing the quality of tissue products are outlined, their significance is determined, based on which a hierarchical model of priority influence was constructed, which will allow for improvement of the product quality assurance process. Through expert survey methods, factors influencing the organoleptic indicators of tissue products were determined. The calculated Kendall's concordance coefficient $W=0.82$ indicates strong agreement among expert opinions.

As a result of the theoretical and experimental research, the scientific and applied problem was solved and the following new results were obtained:

For the first time:

- a method for finishing tissue products with flexographic inks containing luminophore additive has been proposed, its optimal composition has been established, and through luminescence spectra of the modified ink composition, the constructed colour gamut circle of the imprint, and electron microscopic studies of printed images on napkins, the luminescence effect has been confirmed, which will ensure increased effectiveness of printed advertising on paper sanitary-hygienic products for intensive use;
- a structural scheme for the quality assurance process of flexographic and digital (inkjet) imprints on tissue paper has been developed, taking into account their physico-chemical and physico-mechanical properties, densitometric, colorimetric and operational parameters, grouping according to certain characteristics, which will enable forecasting and improvement of consumer properties of finished products;
- the influence of ink capacity of anilox roller cell volume on optical and colorimetric parameters of flexographic imprints has been identified, which will allow for optimisation of the printing technological process and reduction of defect occurrence in printed images.

Improved:

- a simulation model of the process of forming printed images by digital (inkjet) and flexographic printing on tissue papers, taking into account the structural composition of adhesives and substrates, which will allow for theoretical substantiation of their interaction mechanism to ensure proper quality of the finished product process;
- methods for studying the influence of moisture on deformation and strength characteristics of tissue products, taking into account the number of bonded paper layers, transverse and longitudinal fibre direction, which will allow for predicting their durability during tearing, stretching and indentation when used by consumers.

Received further development:

- Expert survey methods for determining factors influencing the quality of tissue products, which take into account their organoleptic, technological, and operational parameters, have been developed. Based on this, a hierarchical model of their priority influence has been developed, which will allow for ensuring predictable product quality.

Approbation of production tests of the quality of flexographic imprints was carried out at Margo LLC (Ternopil), and of digital (inkjet) imprints – at the EkoKraft (Zhytomyr) company.

The research results have been implemented in lecture and laboratory courses for the disciplines "Printing Process Technology" and "Quality Engineering of Packaging Products" at the Department of Printing Technologies and Packaging, which were taught to students of speciality 186 "Publishing and Printing". Relevant documents confirm implementation data.

Keywords: tissue paper, flexographic printing, digital (inkjet) printing, imprints, imprints quality, colour difference, optical density, modelling, influencing factors, luminophore, flexographic ink, process optimization.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Публікації у наукових виданнях, включених до наукометричної бази Scopus:

1. Havenko, S., Dovhanych, V., & Kochubei, V., 2025. Defining features of decorating sanitary-hygienic products by the method of flexographic and digital printing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1, 1(133), p.62–72. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.320495>.

Публікації у зарубіжних наукових виданнях:

2. Havenko S., Dovhanych V. & Labetska M., 2023. Study of operational (consumer) properties of paper napkins. *Packaging Review*. 4, p. 22-27. doi: 10.15199/42.2023.4.3.

Публікації у фахових наукових виданнях України:

3. Довганич В. В., 2022. Дослідження якості друкованих зображень на паперових салфетках. *Квалілогія книги*, 1 (41), с.56-61. doi: 10.32403/2411-3611-2022-1-41-56-61.

4. Довганич В. В., 2022. Дослідження задрукованих салфеток флексографічним друком. *Квалілогія книги*, 2 (42), с.48-53. doi: 10.32403/2411-3611-2022-2-42-48-53.

5. Довганич В. В., 2023. Дослідження капілярного поглинання санітарно-гігієнічних виробів задрукованих флексографічним друком. *Квалілогія книги*, 2 (44), с. 126–132. doi: 10.32403/2411-3611-2023-2-44-126-132.

6. Довганич В. В., 2024. Експертне оцінювання факторів впливу на забезпечення якості надрукованих зображень на виробках тиссю. *Квалілогія книги*, 2 (46), с. 42-51. doi: 10.32403/2411-3611-2024-2-46-42-51.

Публікації у збірниках матеріалів конференцій:

7. Bernatsek, V., Zanko, N., Labetska, M., & Dovganich, V. (17–19 October, 2021). Research of color reproduction in digital printing of packaging using profiles with different level of black generation. Proceedings of VIII International Scientific and Practical Conference «Results of modern scientific research and development», с. 96–99. Retrieved from <https://sci-conf.com.ua/wp->

content/uploads/2021/10/RESULTS-OF-MODERN-SCIENTIFIC-RESEARCH-AND-DEVELOPMENT-17-19.10.21.pdf.

8. Довганич, В. В. (2022). Аналіз якості оздоблення флексодруком виробів тиссю. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доповідей VII Міжнар. наук.-техн. конф.*, 1, с. 24-25. Харків: ХНУРЕ. Retrieved from <https://openarchive.nure.ua/handle/document/20431>

9. Довганич, А. В., & Довганич, В. В. (2022). 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*, 1, с. 472-474. Haifa, Israel. Retrieved from <https://isg-konf.com/uk/current-trends-in-the-development-of-modern-scientific-thought/>.

10. Довганич, В. & В., Довганич, А. В. (2022). Аналіз тенденцій розвитку паперових санітарно-гігієнічних виробів. *Current trends in the development of modern scientific thought. Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference*, с. 475–477. Haifa, Israel. Retrieved from <https://isg-konf.com/uk/current-trends-in-the-development-of-modern-scientific-thought/>

11. Довганич, В. В. (2023). Фактори впливу на якість паперових виробів тиссю. *I Міжнародна науково-практична конференція. Current issues of science and integrated technologies*. Мілан, Італія. с. 697–700. Retrieved from <https://isg-konf.com/uk/current-issues-of-science-and-integrated-technologies/>.

12. Довганич В. В. (2023). Дослідження якості друку виробів тиссю флексографічним способом. *II Міжнародна науково-практична конференція «Modern education using the latest technologies»*, с.445-446. Лісабон, Португалія

13. Dovhanych, A., & Dovhanych, V. (2023). Study of the influence of the surface structure of the substrates on the imprints quality. *Innovations in Publishing, Printing and Multimedia Technologies*, с. 26-33. <https://doi.org/10.59476/ilpmt2023.26-33>.

14. Довганич, В. В. (2023). Оздоблення виробів тиссю методом тиснення. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. VIII*

Міжнародної науково-технічної конференції, 1, с. 25–26. Харків: ХНУРЕ. Retrieved from <https://pmw.nure.ua/download/ukr/Tezisy-konferenciya%20%20PMW-2023.pdf>.

15. Гавенко, С. Ф., & Довганич, В. В. (2023). Дослідження стійкості виробів тиссю до продавлювання. *V Міжнародній науково-практичній конференції студентів, магістрантів та аспірантів. Квалілогія книги*, с. 56-58. Львів: УАД.

16. Гавенко, С. Ф., & Довганич, В. В. (2024). Дослідження механізму утворення кольорових зображень флексографічним способом друку на виробих тиссю. / *Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. працівн. і аспір., 1*, с. 55. Львів: УАД.

17. Довганич, В. В. (2024). Оцінювання якості цифрового друку зображень на паперових серветках. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології : тези доп. IX Міжнар. наук.-техн. конф.* Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид». Т. 1, с. 225-226. Retrieved from <https://pmw.nure.ua/download/ukr/Tezisy-konferenciya%20%20PMW-2024.pdf>.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ОЗДОБЛЕННЯ ВИРОБІВ ТИССЮ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ.....	29
1.1. Аналіз вітчизняного та світового ринку виробів з паперу тиссю	29
1.2. Історичні розвідки про використання виробів з паперу тиссю	37
1.2.1. Характеристика та функціональні властивості санітарно-гігієнічного паперу.....	40
1.3. Аналіз сучасних технологій виготовлення та оздоблення виробів тиссю.....	42
1.4. Санітарно-гігієнічні та нормативні вимоги до якості виробів тиссю.....	55
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	63
РОЗДІЛ 2. ОБ’ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	64
2.1. Об’єкти досліджень.....	64
2.2. Методики досліджень.....	70
2.2.1. Методика дослідження денситометричних та колориметричних показників відбитків на папері тиссю.....	70
2.2.2. Методика дослідження топографії поверхні відбитків на папері тиссю ...	72
2.2.3. Методика проведення оптично-мікроскопічних досліджень.....	73
2.2.4. Методика дослідження експлуатаційних властивостей виробів з тиссю	75
2.2.5. Методика проведення енергодисперсійного рентгенофлуоресцентного та термогравіметричного аналізу	79
2.2.6. Методика дослідження органолептичних показників виробів тиссю.....	80
2.2.7. Методика визначення важливості та пріоритетних факторів впливу на вироби тиссю та узгодженості думок експертів	83
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	86

РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ДРУКУВАННЯ НА ЯКІСТЬ ВІДБИТКІВ НА ПАПЕРІ ТИССЮ.....	87
3.1. Дослідження денситометричних та колориметричних показників відбитків на папері тиссю.....	87
3.2. Дослідження впливу ємності анілоксого валика на якість відбитків флексографічного друку на папері тиссю.....	97
3.3. Дослідження оздоблення відбитків на паперах тиссю люмінесцентними фарбами.....	108
3.4. Дослідження механізму взаємодії фарби з папером тиссю при цифровому і флексографічному друці.....	111
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	117
РОЗДІЛ 4. ЕЛЕКТРОННО-МІКРОСКОПІЧНІ ТА ТЕРМОГРАВІ-МЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ «ПАПІР ТИССЮ – ФАРБА – ВІДБИТОК».....	119
4.1. Дослідження топографії поверхні паперів тиссю і відбитків на них.....	119
4.2. Електронно-мікроскопічні дослідження відбитків на папері тиссю.....	123
4.3. Термогравіметричний аналіз складових системи «флексографічна фарба – люмінофор – папір тиссю – задрукована серветка».....	129
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4.....	134
РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИРОБІВ ТИССЮ ТА АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЇХ ЯКІСТЬ ...	136
5.1. Дослідження експлуатаційних властивостей виробів тиссю.....	136
5.2. Дослідження здатності виробів тиссю до поглинання рідин	141
5.3. Експертне оцінювання факторів впливу на якість виробів тиссю.....	145
5.4. Результати досліджень органолептичних показників виробів тиссю з надрукованим флексографічним та цифровим друком зображення.....	155
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5.....	161
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	163
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	166

ДОДАТКИ	185
ДОДАТОК А1. ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА	186
ДОДАТОК А2. ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ	189
ДОДАТОК Б. ЕКСПЕРТНЕ ОПИТУВАННЯ ФАХІВЦІВ, ЩОДО ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ НАДРУКОВАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ВИРОБАХ ТИССЮ	190
ДОДАТОК В. АКТ ПРО ВИКОРИСТАННЯ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	192
ДОДАТОК Д. АКТИ ВИРОБНИЧИХ ВИПРОБУВАНЬ.....	193

ВСТУП

Актуальність теми. Аналіз ринку санітарно-гігієнічної продукції показав, що у сучасному суспільстві неможливо уявити людину, яка б не користувалася виробами з паперу тиссю, а саме: серветками, паперовими рушничками, хустинками, скатертинами, косметичними та гігієнічними виробами. Популярними способами друкування на výroбах тиссю є флексографічний та цифровий друк. Особливості технології флексографічного друку дозволяють наносити кольорові зображення на папері тиссю з метою їх оздоблення та задоволення запитів споживачів різних вікових категорій. Наявність в фарбо-друкарській системі машин флексографічного друку анілоксового валика є одним із основних інструментів трансферу фарби на папір. Тому при виборі валика-анілокс для конкретного застосування дуже важливо враховувати його основні характеристики, від яких залежить фарбо перенесення і якість відбитка.

Завдяки широким технологічним можливостям, зокрема можливості персоналізації продукції, цифровий (ink-jet) друк на сьогоднішній день набуває зростаючого попиту. Утворення зображень на відбитках відбувається завдяки взаємодії фізичних властивостей пігментних чорнил з задруковуючою основою. Тому важливо провести глибокі дослідження фізико-хімічних, структурних властивостей паперів тиссю для забезпечення денситометричних, колориметричних та експлуатаційних показників якості виробів, відповідно до санітарно-гігієнічних норм і міжнародних стандартів ISO.

Сучасний світ ринку санітарно-гігієнічної паперової продукції постійно зростає, а фірми, що його виготовляють, знаходяться в США, Канаді, Японії, Швеції та Україні. На сьогоднішній день в Україні на внутрішньому ринку целюлозної промисловості працює близько 300 компаній, які виготовляють різні види товару: картон, папір і санітарно-гігієнічні вироби. До лідерів таких компаній належать: Жидачівський та Київський картонно-паперовий комбінат, Рубіжанський картонно-тарний комбінат, Марго, Дніпропетровська паперова фабрика та інші [1]. Щороку в Україні та Європі зростає попит на папір тиссю і вироби з нього. Споживання паперових серветок та туалетного паперу в США

становить 40%, в Україні — 78%. В середньому у світі на туалетний папір припадає 52%, на рушники — 12% (в Україні — 10%), на серветки та носові хустинки — 31% у світі лише 12% в Україні [2].

Вагомий внесок у розвиток санітарно-гігієнічних виробів з паперу тиссю, зосереджується на виявленні та вивченні нових властивостей і класифікаційних ознак, внесли україномовні та закордонні науковці: Л. А. Коптюх, Т. Г. Глушкова, Л. Андрієвська, О. Мокроусова, Е. Касьян, О. В. Калашник, С. Е. Мороз, Н. Є. Кузьо, Н. С. Косар, М. В. Тарасенко, К. В. Мостика, F. P. Morais, J. C. Vieira, A. D. Mendes, A. M. Carta, A. P. Costa, P. T. Fiadeiro, J. M. Curto, M. E. Amaral, A. A. Khan, M. Reczulski, A. Klepaczka та інші.

Над факторами впливу, якістю друкарських відбитків та їх різницею в кольорі, прогнозуванням якості відбитків флексографічного та цифрового друку досліджували в своїх працях М. Верхола, Б. Ковальський, Б. Репета, Т. Киричок, Р. Хохлова, С. Гавенко, В. Сеньківський, О. Козик, І. Кульбич, В. Маршруба та інші.

Проте аналіз наукових робіт вказує на недостатність проведення наукових досліджень щодо виробів санітарно-гігієнічного призначення, даної галузі залишаються до кінця не визначеними та потребують подальшого вивчення щодо забезпечення якості відбитків, отриманих флексографічним та цифровим друком.

Тому, технологічне забезпечення якості виробів тиссю шляхом виявлення взаємовпливу механізму утворення відбитків флексографічного та цифрового (ink-jet) друку і оздоблення люмінесцентними фарбами на денситометричні та колориметричні показники надрукованих зображень; виявлення впливу фарбоємкості анілоксового валика на якість відбитків флексографічного друку; визначення експлуатаційних показників продукції з врахуванням фізико-хімічних та фізико-механічних властивостей паперу тиссю, його топографії поверхні; удосконалення методів оцінювання деформаційних і міцнісних характеристик санітарно-гігієнічної продукції; моделювання та оптимізації факторів впливу на якість виробів тиссю; розроблення алгоритму системи

обґрунтованого вибору методів друкування та оздоблення виробів тиссю для підвищення якості та задоволення запитів споживачів є актуальним науково-прикладним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота безпосередньо пов'язана з тематичними напрямами наукових досліджень Інституту поліграфії та медійних технологій НУ «Львівська політехніка», зокрема кафедри поліграфічних медійних технологій і пакувань. Науково-дослідна робота в рамках госпдоговірної теми №2/2021 р. «Дослідження впливу способів друку на якість відбитків на картоні та гофрокартоні» між УАД та швейцарською фірмою «Амкор».

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є технологічне забезпечення якості відбитків флексографічного та цифрового друку на папері тиссю та оздоблення їх методом люмінесценції.

Для дослідження поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- провести аналіз сучасних технологій виготовлення та оздоблення виробів на папері тиссю, визначити їх переваги й недоліки та накреслити шлях удосконалення;
- дослідити денситометричні та колориметричні показники відбитків флексографічного та цифрового (ink-jet) друку на паперах тиссю;
- удосконалити технологію оздоблення виробів тиссю флексографічними фарбами з додатком люмінофора, визначити його оптимальний вміст для фіксованого ефекту люмінесценції на відбитках;
- здійснити моделювання процесу формування зображень на паперах тиссю флексографічним і цифровим (ink-jet) друком з урахуванням механізму взаємодії адгезивів і субстратів;
- за допомогою оптичної та електронної мікроскопії проаналізувати топографію поверхні паперів тиссю та відбитків на них;
- дослідити експлуатаційні показники відбитків на паперах тиссю та на основі експертного опитування визначити та оцінити вагомість факторів впливу на забезпечення якості готової продукції.

Об'єктом дослідження є технологічний процес флексографічного та цифрового (ink-jet) друку на папері тиссю.

Предметом дослідження є параметри, моделі, методи і засоби оцінювання якості флексографічного та цифрового (ink-jet) друку на папері тиссю і його оздоблення методом люмінесценції.

Методи дослідження: практичні дослідження процесу друкування на папері тиссю, оцінювання якості відбитків, оздоблення їх методом люмінесценції, здійснено на основі денситометричного та колориметричного, електронно-мікроскопічного, термогравіметричного та енергодисперсійно рентгенофлуоресцентного, органолептичного аналізів, методів імітаційного та математичного моделювання. Для опрацювання експериментальних даних та перевірки їх достовірності використано програмний пакет Microsoft Office Excel 2010, методи математичної статистики в програмі STATISTICA v.10.

Наукова новизна одержаних результатів.

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень розв'язано науково-прикладну задачу технологічного забезпечення якості виробів тиссю шляхом виявлення взаємовпливу механізму утворення відбитків флексографічного та цифрового (ink-jet) друку, оздоблення люмінесцентними фарбами на денситометричні та колориметричні показники надрукованих зображень; визначення впливу фізико-хімічних та фізико-механічних властивостей паперу тиссю, його топографії поверхні на експлуатаційні показники продукції; що уможливорює на основі експертного оцінювання факторів впливу на якість виробів, розроблення алгоритму системи обґрунтованого вибору методів друкування та оздоблення для підвищення якості та задоволення запитів споживачів.

Під час виконання дисертаційної роботи отримані такі нові результати:

Вперше:

— запропоновано метод оздоблення виробів тиссю флексографічними фарбами з домішкою люмінофора, встановлено його оптимальний склад і за допомогою спектрів свічення модифікованого складу фарби, побудованого кола

колірного охоплення відбитка, електронно-мікроскопічних досліджень надрукованих зображень на серветках, підтверджено ефект люмінесценції, що забезпечить підвищення ефективності друкованої реклами на паперовій санітарно-гігієнічній продукції інтенсивного використання;

- розроблено структурну схему процесу забезпечення якості відбитків флексографічного і цифрового (ink-jet) друку на папері тиссю з врахуванням їх фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей, денситометричних, колориметричних та експлуатаційних показників, групування за певними ознаками, що уможливить прогнозування та підвищення споживчих властивостей готових виробів;

- виявлено вплив фарбоємкості анілоксогового валика на оптичні та колориметричні показники відбитків флексографічного друку, що дозволить оптимізувати технологічний процес друкування та зменшити появу дефектів у надрукованих зображеннях.

Удосконалено:

- імітаційну модель процесу формування друкованих зображень методом цифрового (ink-jet) та флексографічного друку на паперах тиссю з урахуванням структурної будови адгезивів і субстратів, що дозволить теоретично обґрунтувати механізм їх взаємодії для забезпечення належної якості процесу виготовленої продукції;

- методи дослідження впливу вологи на деформаційні та міцнісні характеристики виробів тиссю, з врахуванням кількості з'єднаних паперових шарів, поперечного і поздовжнього напрямку волокон, що дозволить спрогнозувати їх витривалість при розриві, розтягу і продавлюванні під час використання споживачами.

Дістали подальший розвиток:

- методи експертного опитування з визначення факторів впливу на якість виробів тиссю, які враховують їх органолептичні, технологічні та експлуатаційні показники, на основі чого розроблено ієрархічну модель їх пріоритетного впливу, що дозволить забезпечити прогнозовану якість продукції.

Практичне значення одержаних результатів полягає у формуванні на основі аналізу отриманих результатів практичних рекомендацій щодо ефективного використання: впливу вологи на деформаційні та міцнісні характеристики виробів тиссю, для прогнозування їх витривалості при розриві, розтягу і продавлюванні; оздоблення виробів тиссю флексографічними фарбами з домішкою люмінофора для підвищити ефективності друкованої реклами на паперових санітарно-гігієнічних výroбах; результатів досліджень впливу характеристик анілоксового валика на якість друкованих зображень на паперах тиссю, що дозволить уникнути появи дефектів на відбитках флексографічного друку.

У роботі проводилися випробування процесу друкування на výroбах тиссю методом флексографічного друку в компанії ТОВ Марго (м. Тернопіль) та цифрового ink-jet друку на фірмі EkoKraft (м. Житомир).

Результати досліджень апробовані в лекційних та лабораторних курсах з дисциплін “Технологія друкарських процесів” та “Інженерія якості пакувальної продукції” кафедри поліграфічних технологій та пакувань, які читалися студентам спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія». Дані про впровадження підтверджено відповідними документами.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі літературних даних за темою досліджень, плануванні та проведенні експерименти, обробці експериментальних даних та апробації отриманих наукових результатів на наукових конференціях. А також подання проміжних та остаточних результатів дисертації здійснено здобувачем самостійно. У публікаціях внесок здобувача наступний.

У роботах, які опубліковано у співавторстві, особисто здобувачу належать такі результати: у роботі [1] – визначено та порівняно денситометричні й колориметричні показники відбитків, утворених різними методами друку на výroбах тиссю, проведено термогравіметричний аналіз відбитків на папері тиссю, утворених фарбою з люмінесцентними домішками; у роботах [2, 7, 13] – досліджено експлуатаційні (споживчі) властивостей паперових серветок,

відтворення кольору на пробних відбитках при цифровому друці.

У роботі [3] досліджено якість зображення на výroбах тиссю, а саме проведено денситометричні та колориметричні показники відбитків; [4, 8, 12] – досліджено якість флексографічним способом друку на матеріалі тиссю; [5] – визначили капілярне поглинання вологи санітарно-гігієнічних виробів; [6] – проведено експертне оцінювання факторів впливу на забезпечення якості надрукованих зображень; [9] – досліджено аналіз стану та тенденцій розвитку ринку паперової продукції; [10] – проведений аналіз тенденцій розвитку паперових санітарно-гігієнічних виробів; [14] – проведено аналіз процесу оздоблення виробів тиссю; [15] – досліджено стійкості виробів тиссю до продавлювання; [11, 17] – присвячені експертному дослідженню факторів впливу на якість зображення на výroбах тиссю; [16] – досліджено процес закріплення флексографічних друкарських фарб з добавкою люмінофора на поверхні паперу тиссю.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові теоретичні положення та практичні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися на наукових конференціях та опубліковані в тезах і матеріалах: 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.); Proceedings of VIII International Scientific and Practical Conference «Results of modern scientific research and development» (Madrid, Spain, October 17-19 2021p.); VII і VIII Міжнародній 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 р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 17 наукових праць, 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;
- 4 публікації у наукових фахових виданнях України;
- 11 публікації у матеріалах і тезах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, вступу, п'ятих розділів, висновків, списку використаних джерел і 5 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 194 сторінок, 158 з яких займає основний текст у тому числі 59 рисунки та 38 таблиць, список використаних джерел із 167 найменувань.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ОЗДОБЛЕННЯ ВИРОБІВ ТИССЮ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

1.1. Аналіз вітчизняного та світового ринку виробів з паперу тиссю

Сучасний традиційний ринок санітарно-гігієнічної паперової продукції розділено на такі сегменти: серветки різного призначення (столові, косметичні, а також антисептичні, освіжаючі та гігієнічні тощо), паперові рушники, носові хустинки, скатертини, туалетний папір. Кожен сегмент включає кілька підсегментів на основі стратифікації [3].

За даними Pro Consulting [4], до основних сегментів українського ринку паперу тиссю відносяться туалетний папір і паперові рушники. Продукція надається у високому, середньому та економ сегментах, що впливає на її ціну. Кожен сегмент ринку, в залежності від кількості з'єднаних шарів у виробі, ділиться на одно-, дво- і тришарову продукцію. При цьому виробництво паперу з макулатури дешевше, ніж з первинної сировини, завдяки економії електроенергії (від 30 до 50%), зменшенню забруднення атмосфери та води, що призводить до збереження навколишнього середовища (близько 17 дерев на 1 т макулатури).

Сучасні технології дозволяють також отримувати якісний папір і рушники з високими органолептичними властивостями з вторинної сировини.

Однак всю санітарно-гігієнічну продукцію, представлену на ринку України, можна розділити на 3 основні категорії:

- економічну — виготовляється з вторинної сировини;
- стандартну або середню — використовують високоякісну деревну целюлозу, іноді з додаванням виробничої макулатури;
- преміум — характеризується підвищеною білизною, м'якістю, з тисненням і іноді ароматизована. До класу преміум відноситься імпортна двошарова і тришарова продукція.

За даними дослідницької компанії Pro-Consulting, усі сегменти ринку санітарно-технічних виробів (туалетний папір, паперові рушники, серветки, папір-основа — для виробництва туалетного паперу в Україні) у 2018-2020 рр. зростали: обсяги споживання туалетного паперу збільшувалися приблизно на 6-7% на рік, паперових рушників — на 5-6%, а серветок — на 4-5% щорічно.

Значна частина санітарно-технічних паперових виробів в Україні виготовляється з макулатури, а продукція з целюлози займає не більше ніж 1/3 всього обсягу ринку. 90% обсягів туалетного паперу, виготовленого в Україні, зроблено з макулатури та продається під українськими торговими марками кількох великих виробників. Паперові рушники, косметичні серветки, вологий туалетний папір виготовляють такі компанії, як: Ruta, Обухів, Ecomix, Soffione, Zewa [5]. На ринку паперових рушників та серветок частка імпортової продукції більша, ніж на ринку туалетного паперу, проте все одно не перевищує 20% залежно від сегмента. У сегменті експорту туалетного паперу, серветок та паперових рушників 100% припадає на целюлозну продукцію.

За даними Державного комітету статистики України, виробництво паперової промислової продукції за видами поділяється на такі категорії:

- папір побутового та санітарно-гігієнічного призначення крепований або полотно з волокна целюлозного в рулонах завширшки понад 36 см чи прямокутних (квадратних) аркушах розміром однієї сторони понад 36 см у розгорнутому вигляді, щільністю кожного шару 25 г/м^2 і менше;
- ідентичний попередній позиції, але зі щільністю кожного шару більше 25 г/м^2 ;
- папір побутового та санітарно-гігієнічного призначення інший;
- папір туалетний (у рулонах завширшки 36 см і менше або розрізаний за розміром чи формою);
- хустинки носові, серветки косметичні з маси паперової, паперу, вати целюлозної або полотна з волокна целюлозних;
- рушники для рук з маси паперової, паперу, вати целюлозної або полотна з волокна целюлозного;

- скатертини та серветки для столу з маси паперової, паперу, вати целюлозної або полотна з волокна целюлозного;
- вироби санітарно-гігієнічні з маси паперової, паперу, вати целюлозної або полотна з волокна целюлозного. За підсумками минулого року можна прогнозувати зростання використання паперових серветок, рушників, хусток, скатертин на 1-3% і туалетного паперу на 3-5%.

Компанія Kimberly-Clark (США), яка є світовим лідером у виробництві виробів санітарно-гігієнічного призначення, на українському ринку представляє такі види продукції: одно-, дво-, тришарові серветки для обличчя і рук, для полірування і протирання, професійні та загального призначення; паперові носові хустинки: Kleenex aroma з ароматом полуниці, нектарина, м'яти та ромашки; Kleenex original — білі хустинки, виготовлені з високоякісної первинної сировини; Classic — без ароматизаторів та інших добавок. Німецька компанія Aster, яка присутня на українському ринку з 1994 року, застосовує технологію безхлорового відбілювання паперових виробів, а також натуральні барвники, що гарантує безпечність продукції під час їх використання [3].

Асортимент сучасної продукції виробів тиссю досить широкий і налічує десятки різновидів, які можна класифікувати за такими ознаками: сфера застосування; цінова категорія; основний вид сировини; наявність барвників і ароматизаторів; перфорації; розміри; експлуатаційні характеристики (ступінь водопоглинання та вологостійкості); наявність оздоблення (крепування, тиснення, друкування).

Ринок української продукції тиссю для споживачів включає одно-, дво- та тришарові вироби різних розмірів, з ароматизаторами чи без них. Паперові рушники, в свою чергу, фахівці поділяють на кухонні (виготовлені в основному з вибіленої целюлозної маси або знебарвленої макулатури) і промислові рушники (з вторинної сировини) [6].

Кухонні рушники зазвичай упаковують в рулони, тоді як промислові рушники доступні у форматі аркушів ZZ.

Серветка — багатошаровий виріб з тисненням чи без нього, об'ємний, м'який і вбирний матеріал, який може використовуватися для різних потреб [7].

Косметичні серветки — це багатошарові вироби зі 100% волокон целюлози, які мають високу м'якість, достатню міцність у вологому стані та не містять шкідливих домішок [8].

Ціна санітарно-гігієнічних виробів тиссю залежить від кількості шарів паперу, з яких вони виготовлені (одно-, дво-, тришарові): зі збільшенням кількості шарів зростає ціна. В той час на ціну виробів тиссю також впливає технологія їх виготовлення та поліпшення споживчих властивостей. Оскільки завдання якісного туалетного паперу — бути м'яким і водночас міцним, добре розчинятися у воді.

У роботі [9] автор проводить аналіз ринку санітарно-гігієнічного паперу, зокрема описує технологічний процес виробництва паперу для серветок зі 100 % целюлози, що сприятиме покращенню якості готової продукції.

Покращенню якості паперу-основи для виробів тиссю при зниженні собівартості продукції шляхом встановлення інноваційного обладнання і використання нової сировини присвячена робота [10].

Санітарно-гігієнічна продукція виготовляється як для особистого, так і для комерційного використання, не поступається за споживними властивостями аналогічним виробам із нетканих матеріалів (бавовна, текстиль, хімічні добавки) [11].

За підсумками другого року відновлення економіки України на ринку спостерігалось зростання обсягів у всіх сегментах: туалетного паперу — на 5%, паперових рушників — на 19%, серветок — на 21%. Проаналізувавши ринок вітчизняної та імпортованої продукції у внутрішньому споживанні, було виявлено, що більшість ринку займає продукція вітчизняного виробництва, за винятком багатошарових м'яких виробів тиссю, які представлені провідними світовими брендами [2].

Дослідження, проведені компанією Pro-Consulting показують, що в США споживання паперових серветок та туалетного паперу становить 40%, в Україні 78%. У світі в середньому на туалетний папір припадає 52%, на рушники — 12%

(в Україні — 10%), на серветки та носові хустинки — 31% у світі лише 12% в Україні, що показано на рис. 1.1 [2].

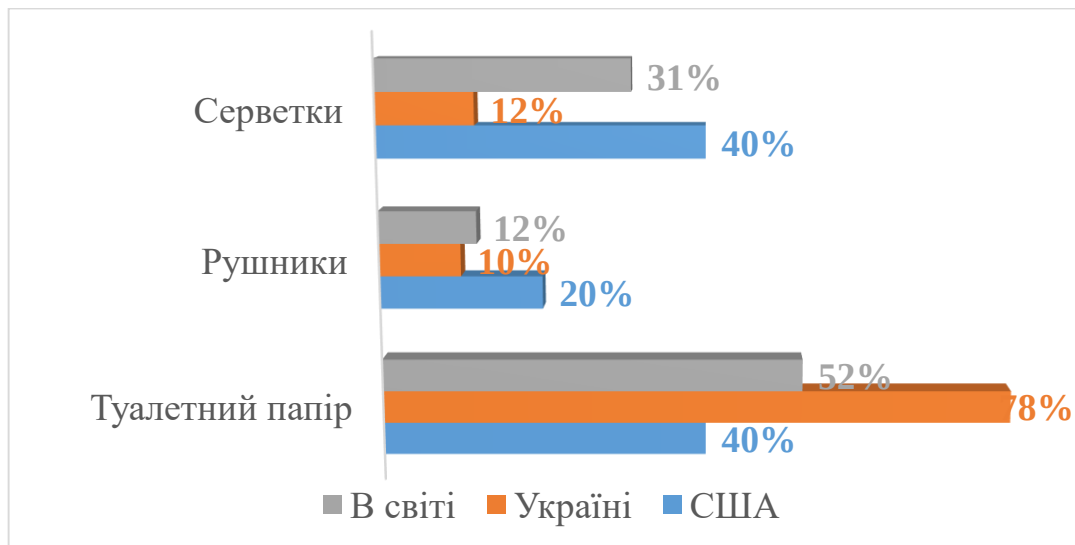


Рис. 1.1. Структура використання целюлозно-паперової промисловості в Україні, США та світі

У статтях [12, 13] розглянуто основні тенденції розвитку підприємств целюлозно-паперової промисловості України, наведено статистичні дані щодо інноваційної діяльності підприємств, які є актуальними сьогодні.

Результати дослідження ринку виробів з паперу тиссю [14] показали, що на ринку України з'явилися передумови для стрімкого зростання досліджуваних сегментів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Динаміка виробництва на ринку паперових виробів тиссю в Україні за ключовим сегментом у 2013, 2017 роках та у першому кварталі 2018 року в натуральному вираженні, тисячі тонн [14]

Показник	2013	2017	1кв. 2017	1кв. 2017
Туалетний папір				
Виробництво	26,8	26,0	6,2	6,2
Темп приросту, %		102, 7%		-0,9%

Продовження таблиці 1.1

Паперові рушники				
Виробництво	2,4	3,7	0,8	1,0
Темп приросту, %		54,2%		51,9%
Серветки				
Виробництво	2,9	2,8	0,5	0,7
Темп приросту, %		-27,2%		126,3%
Основа				
Виробництво	22,3	26,1	5,3	6,2
Темп приросту, %		13,0%		1,6%

Імпортна продукція, яка представляє паперові рушники та серветки в Україні, не перевищує 20% від сегмента за підсумками 2017-2018 років на українському ринку (рис. 1.2). Оскільки дослідження [15] показало, що в Україні зростає споживання макулатурної продукції, основною причиною такого зростання є реальні доходи населення, які дозволили населенню перейти зі споживання макулатурних виробів на вироби з целюлози. Споживання такої продукції має великий спектр збуту, а саме: заклади харчування, аптеки, роздрібна торгівля, товари для дому та інші.

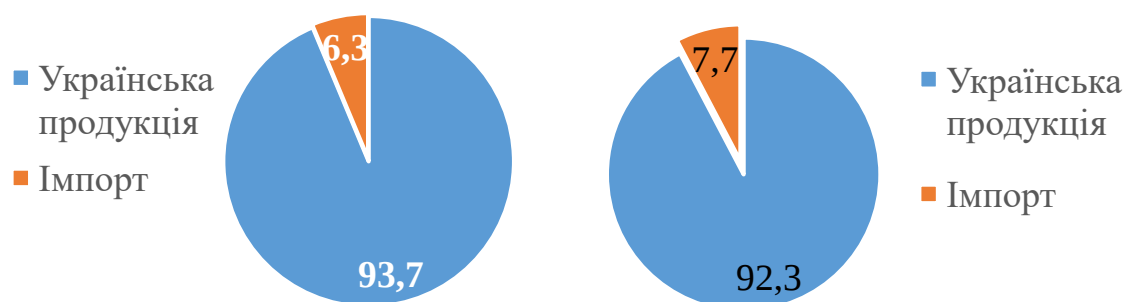


Рис. 1.2. Сегментація ринку туалетного паперу в Україні за 2017 – 2018 рр. в натуральному вираженні, % [15]

Дослідження [16] компанії Pro-Consulting провело аналіз тенденцій розвитку ринку одноразової продукції в Україні в період 2019-2020 років щодо вподобань споживачів продукції (рушники, одноразові простирадла та серветки), які стрімко розвиваються, що насамперед призводить до розширення асортименту та колірної гами виробів. Ринок одноразової продукції набуває все більшого попиту, що призводить до конкуренції серед вітчизняних та міжнародних виробників, окреслюючи такі проблеми розвитку виробів: велика конкуренція; локдаун, спрямований на карантинні обмеження пандемії; зменшення чисельності населення країни та економічна криза.

Основними факторами, які впливають на ринок продукції, є підвищені вимоги до стандартів; пандемія (COVID-19) та дотримання особистої гігієни; зростання обізнаності громадян щодо правил безпеки та гігієни.

Враховуючи обсяги вітчизняного виробництва, в структурі експорту також переважає туалетний папір, це найбільш стабільний товар за споживанням та попитом [17]. Попит на санітарно-гігієнічні паперові вироби зростає через розвиток індустрії гостинності та туризму, які зумовлені змінами споживчих вподобань громадян, акцентуючи увагу на екологічність товару, що визначається не способом виробництва, а терміном служби.

Важливим фактором, що впливає на ринок санітарно-гігієнічних виробів, є споживчий попит на продукцію тиссю (до туалетного паперу це не стосується, оскільки він є предметом першої необхідності та має стабільний попит незалежно від зовнішніх умов). По-перше, населення України скорочується, і, за даними Державної служби статистики України, до 2050 року складе приблизно 30 мільйонів осіб [18].

За даними досліджень польських науковців [19], обсяг санітарно-гігієнічного паперу, виробленого в Польщі у 2020 році, становить 4 933 000 тонн, з яких 16,6% припадає на санітарно-гігієнічний папір, що значно зросло в порівнянні з попереднім роком (16,0% у 2019 році) (рис. 1.3).

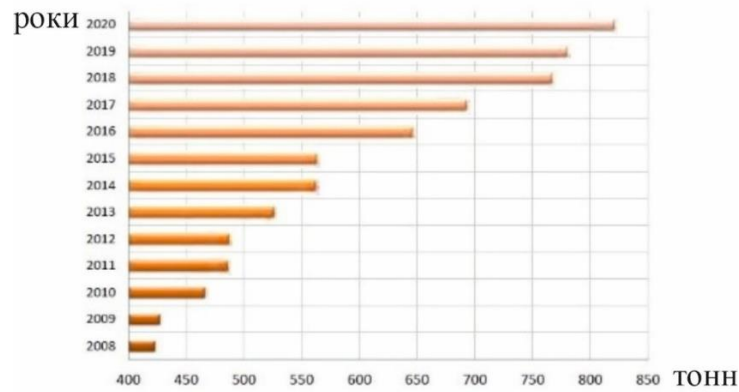


Рис. 1.3. Виробництво санітарно-гігієнічного паперу в Польщі у 2008-2020 рр. [19]

Провідні компанії виробів тиссю працюють над вдосконаленням матеріалів і технологій, а також над підвищенням вологопоглинання паперу, міцністю та м'якістю виробів тиссю. Збільшуючи асортимент паперової продукції та змінюючи дизайн, щоб привертати увагу покупців, створюють дитячі товари, гіпоалергенні та без ароматизаторів, з яскравим упакуванням [20].

Згідно зі звітом компанії Stellar Market Research, автор у своєму звіті [21] надає комплексний аналіз ринку санітарного паперу, пропонуючи модель з п'яти сил Портера для аналізу ринку паперових серветок, висвітлюючи тенденції та можливості зростання, зокрема виробництва спеціальних серветок, таких як глазуровані, декоративні серветки преміум-класу, друковані та інші. Згідно з діаграмою (рис. 1.4), можна побачити попит на вироби з санітарного паперу в 2024 році.

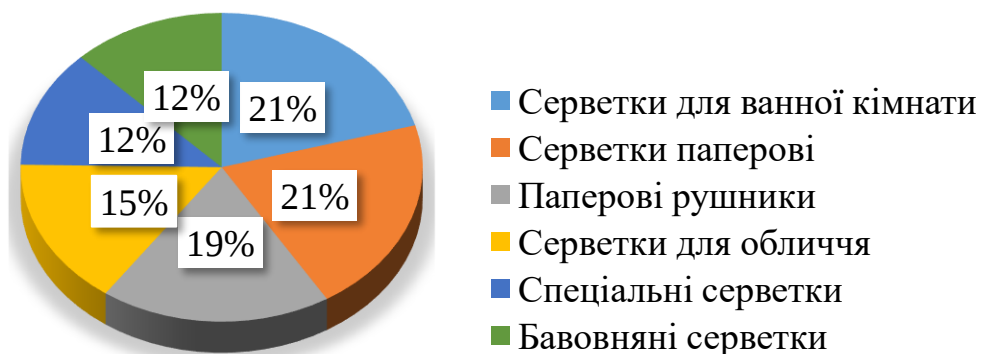


Рис. 1.4. Ринок паперу тиссю в США за видами продукції 2024 року

У звіті компанії MARKET RESEARCH FUTURE [22] окреслюється поглиблена інформація про дослідження ринку вологих серветок і серветок, зосереджуючи увагу на потенційних можливостях зростання ринку на 6,61% у період (2024 - 2032) років (рис. 1.5). Оскільки зростає занепокоєння щодо питань гігієни серед населення в цілому, а попит на використання продуктів без хімікатів зростає в усьому світі.

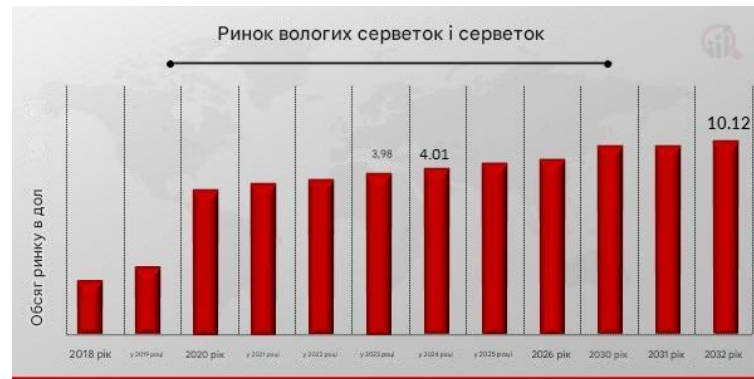


Рис. 1.5. Динаміка зростання серветок у світі в грошовому еквіваленті [22]

Компанія The Business Research Company [23] прогнозує зростання ринку гігієнічного паперу, пояснюючи це інноваціями та різноманітністю продуктів, електронною комерцією та роздрібною торгівлею в інтернеті, глобальними подіями в галузі охорони здоров'я та підготовленістю, переходом до екологічної упаковки, демографічними змінами та старінням населення.

1.2. Історичні розвідки про використання виробів з паперу тиссю

Історія паперу відома майже дві тисячі років. Роль паперу в поширенні знань і культури визнана в усьому світі, і він відіграє дуже важливу роль у дотриманні гігієни. Особливо вироби з нього є актуальними в період пандемії та воєн.

Як відомо, санітарно-гігієнічний папір повинен бути м'яким і вбираючим. Не менш важливим показником є об'єм паперу тиссю, який отримують обережним його крепуванням (зминанням) під час видалення висушеного паперу

з циліндра папероробної машини або шляхом об'єднання двох або трьох полотен в одне багат шарове полотно під час процесу виробництва готового продукту.

Папір використовувався в гігієнічних цілях дуже давно, про що свідчать китайські записи, датовані 5 століттям нашої ери. Туалетний папір вироблявся в Китаї для потреб імператорського двору, тому легко зробити висновок, що в такі далекі часи він не був широко доступним і, ймовірно, розкішним продуктом [24].

У 1857 році Джозеф Гайетті з Нью-Йорка першим випустив на ринок папір, який він рекламував як «ідеально чистий предмет для туалету» [24].

У 19 столітті було започатковано багато нових ініціатив щодо використання паперу в гігієнічних цілях. В Англії Уолтер Алкок, а в Сполучених Штатах Сет Вілер та брати Скотт впровадили рулонний папір замість аркушевого. Ідея була запатентована в 1871 році Сетом Вілером; саме він придумав перфорувати папір (рис. 1.6), розділити його на окремі аркуші та прикрасити їх візерунками.

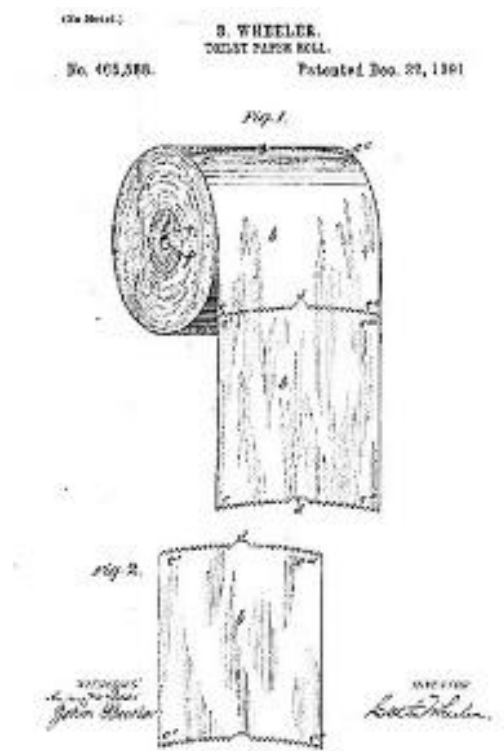


Рис. 1.6. Патент Сета Вілера на рулонний папір [25]

У 1890 році в США на фабриці Артура Скотта почали виробляти рулонний туалетний папір, а згодом, у 1928 році, почали виготовляти рулони з перфорацією [26]. В Україні виробництво туалетного паперу розпочалося ще в 1937 році [27].

Паперові рушники належать до групи товарів, без яких сьогодні важко уявити функціонування в повсякденному житті та підтримку гігієни та порядку. Поява паперових рушників на ринку пов'язана з американською компанією братів Скоттів Scott Paper Company, що спеціалізувалася на продажу туалетного паперу на початку 20-го століття. Гігієнічний папір у такому вигляді дозволяв боротися із застудою, яка була поширена серед дітей того часу. Завдяки цим подіям у 1931 році Scott Paper Company розширила свою пропозицію, включивши кухонні паперові рушники в рулонах [28].

За стандартом ДСТУ 2098-92 [29] паперова продукція поділяється на дві групи:

- папір щільністю до 225 г/м^2 ;
- картон, вагою понад 225 г/м^2 .

Умовна класифікація та діапазон ваги в кожній країні можуть змінюватися:

- щільністю до 28 г/м^2 – санітарний папір;
- вагою від 28 г/м^2 до 160 г/м^2 – папір;
- вагою від 160 г/м^2 до 315 г/м^2 – картон;
- вагою понад 315 г/м^2 – картон.

Поділ паперу за призначенням включає:

- пакувальні папери;
- санітарно-гігієнічні папери;
- спеціальні папери.

Виробництво паперової продукції складається з кількох послідовних процесів. Спочатку целюлозу готують і подрібнюють для отримання водної суспензії волокон певної концентрації (4-6), щоб надати волокнам властивості паперу в спеціалізованих пристроях (млинах). Механічна обробка збільшує еластичність волокон, питому поверхню, а іноді також зменшує довжину

волокон. Завдяки цим модифікаціям створюється папір з однорідною структурою та підвищеною міцністю [30].

Для виробництва паперу використовується волокниста сировина та різні добавки, такі як допоміжні хімічні речовини, зв'язувальні агенти, утримувачі, протипінні агенти та бактеріостатичні речовини.

Після змішування паперової маси та допоміжних хімікатів їх ретельно перемішують, розбавляють, сортують, очищають, вентилують, а потім подають у напірний ящик папероробної машини. Процес виробництва паперового полотна починається з перетворення суспензії паперової маси в структуроване та частково сухе паперове полотно зі ступенем сухості від 15% до 25%. Цей процес перетворення відбувається в ситопротисувальній секції папероробної машини, де рівномірно розподілені у воді волокна проціджують через сито, а ті, що залишаються на ньому, утворюють паперовий шар. Сучасні папероробні машини для виробництва паперу тиссю використовують систему формування полотна на формувальному валу. Потім паперове полотно проходить етап пресування, який служить для подальшого підвищення його сухості в межах від 46% до 48%, а також для збільшення його компактності та гладкості [31]. Саме в секції сушіння паперове полотно досягає своєї остаточної форми. У процесі пресування та сушіння зневоднене полотно перетворюється на звичайний папір з функціональними властивостями.

1.2.1. Характеристика та функціональні властивості санітарно-гігієнічного паперу

У наш час санітарно-гігієнічний папір має широкий спектр застосування, тому його структура та функціональні властивості постійно змінюються. Санітарний папір — це папір з низькою щільністю в межах від 10 г/м² до 50 г/м² [32]. Відповідно до стандарту ISO 12625-1:2016 [33], основні показники, які характеризують поділ паперової продукції, це граматура, параметр, виражений у грамах на квадратний метр.

Санітарно-гігієнічний папір повинен мати певні функціональні властивості відповідно до свого призначення [34]. З перспективи кінцевого користувача до найважливіших властивостей належать: поглинаюча здатність, м'якість поверхні, відповідна механічна міцність та візуальні властивості (білизна, колір). Порядок важливості окремих характеристик чітко залежить від характеру продукту та його цільового використання (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Важливість найважливіших експлуатаційних властивостей для окремих груп санітарного паперу [34]

Група/ Властивості	Властивості міцності	Властивості на мокро (вологи)	М'якість	Вбираюча здатність	Яскравість або колір
Папір туалетний (папір для ванної)	++	+	+++	++	++
Рушники	+++	++	++	+++	+
Серветки гігієнічні	++	+	+++	++	+++
Серветки	+	+	+	+	+++

В роботах [35, 36] автори окреслили якісні характеристики поглинальної здатності гігієнічного паперу, зокрема, як швидко він може поглинати воду. Було впроваджено багато методів вимірювання поглинання, але лише деякі з них були стандартизовані. Оскільки стандартизація методів випробування поглинання необхідна для об'єктивного порівняння продуктів без двозначностей.

Дослідження [37] показало, що водопоглинання можна розділити на два етапи: перший етап — змочування, під час якого рідина прилипає до твердої поверхні. Вимірювання контактного кута зазвичай використовується для оцінки

змочуваності; другий етап — це процес поглинання, під час якого рідина рухається всередині структури матеріалу (поверхня структури паперу набухає, викликаючи структурні зміни).

Зокрема, папір “Lika Premium” може вбирати від 12 — до 18 г води на грам паперу. Оскільки неможливо досягти таких високих показників поглинання за допомогою одного шару паперового матеріалу, сучасні вбираючі папери розроблені з тривимірною та багат шаровою структурою, включаючи різні процеси, такі як крепування, структурне формування і тиснення [38, 39].

Важливими характеристиками для паперу тиссю є його вага, г/м^2 , товщина та об'єм, а також такі властивості як: міцність на розрив, тобто максимальне зусилля на розрив, в Н/м; деформація паперу під впливом зовнішніх навантажень (здатність його до розтягування); відносне видовження; стійкість до розриву; м'якість, яка залежить від якості сировини, кількості та типу складників паперу, процесу виробництва та стану папероробної машини. Вимірювання м'якості часто базується на суб'єктивній оцінці дослідників, які оцінюють продукт на дотик, зовнішній вигляд і запах.

1.3. Аналіз сучасних технологій виготовлення та оздоблення виробів тиссю

На сьогоднішній целюлозно-паперова промисловість є не тільки виробничою галуззю, але все більше асоціюється з наукомісткою працею, зумовленою автоматизацією виробництва, здешевленням продукції та зростанням виробництва [40]. Згідно з [41] дослідженням, показано, що, крім виробів з тиссю, зростає і розвиток та виготовлення пакувальної продукції в Україні та світі.

Для виробництва паперових серветок використовуються різні види волокон, отримані в результаті перероблення целюлози. Кожен виріб тиссю розроблено для певного застосування та ефективності, його основні або функціональні властивості визначаються в першу чергу призначення. М'яка деревина в основному використовується як джерело зміцнення, тоді як тверда

деревина забезпечує м'якість і оксамитове відчуття поверхні. Механічна целюлоза з більш жорсткими волокнами призводить до більш об'ємного паперу, а хімічна целюлоза має гнучкі волокна, що забезпечують кращу здатність зв'язування та м'якість [42].

Для виготовлення виробів тиссю використовується целюлоза деревини твердих і хвойних порід, вода та хімікати. Основні етапи виготовлення санітарного паперу включають обробку целюлозної маси та розмочування, додавання кольору чи інших інгредієнтів, щоб зробити його твердішим або м'якшим, а також збільшити його здатність утримувати воду, а також пресування готового продукту для надання йому потрібної форми. Технологічний процес виготовлення паперу складається з таких операцій [43]:

- підготовка паперової маси;
- виготовлення паперової маси (розведення водою й очищення маси від забруднень, відливання, пресування й сушіння, а також первинна обробка);
- обробка (каландрування, різання);
- сортування та пакування.

Протягом кожної операції можливо вплинути на майбутні властивості паперу через вибір наповнювача паперової маси, проклеюючих або інших добавок. На рис. 1.7 наведено технологічну схему виготовлення паперу.

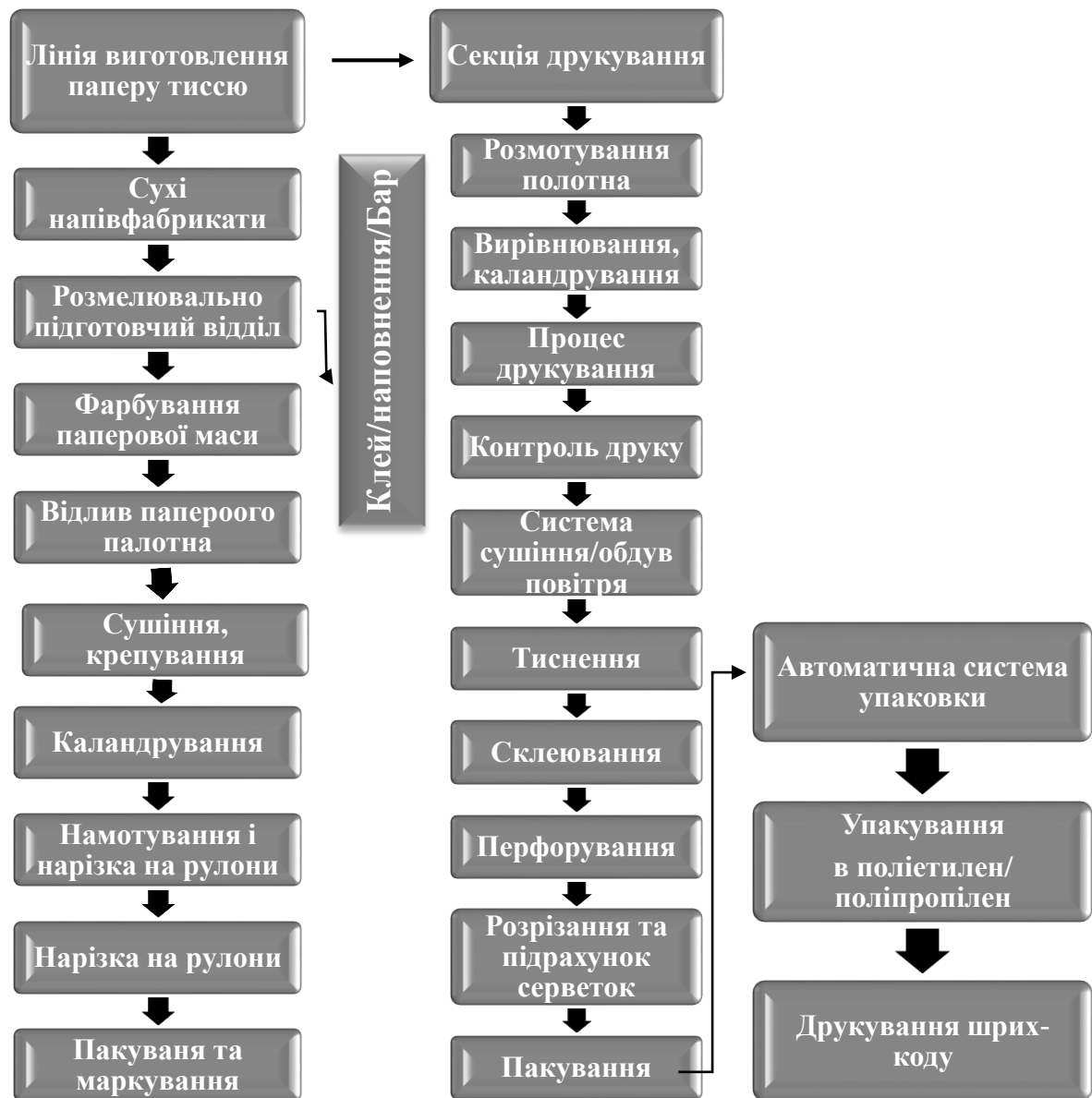


Рис. 1.7. Блок-схема виробництва паперу-основи та процесу друкування для виробів санітарно-гігієнічного призначення [43]

Сучасна целюлоза має унікальні властивості, зумовлені вихідними властивостями деревини та модифікацією волокон під час варіння та відбілювання. Поєднання процесів видалення лігніну, окислення та екстракції призводить до отримання різних типів целюлози [44].

Сучасний споживач висуває підвищені вимоги до оздоблення виробів тиссю. Тому можна часто побачити на паперових серветках таке оздоблення, як тиснення, друкування, висікання, перфорація тощо. Найпопулярнішими способами друкування є (рис. 1.8) флексографічний, цифровий та трафаретний

друк, які використовуються не тільки для оздоблення, але й для рекламних функцій.

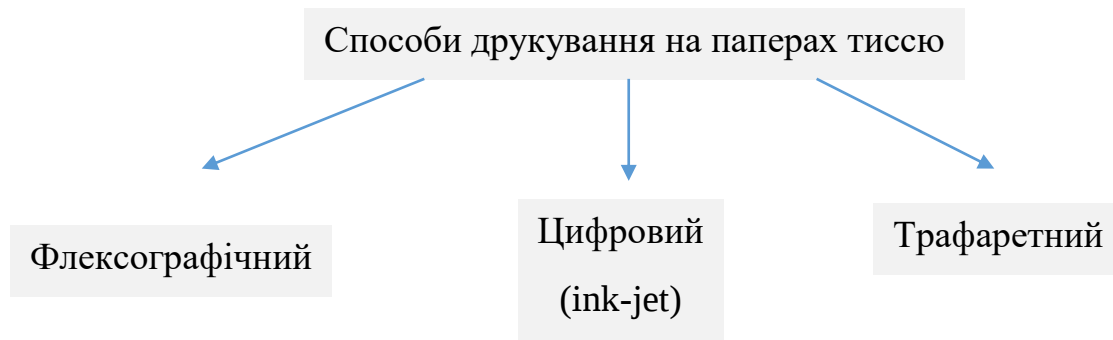


Рис. 1.8. Класифікація способів друку на паперах тиссю

На сьогоднішній день сучасна флексографія є універсальним методом друку, який має значні технологічні можливості та дозволяє працювати з різноманітними матеріалами, і є найбільш поширеним способом задруковування виробів тиссю у світі, забезпечуючи відповідну якість зображення [45]. Тому якість друку є важливим чинником, який приваблює багатьох дослідників.

Так, у роботі [46] автори наводять основні фактори, що впливають на якість процесу друку, і на основі побудованої семантичної мережі визначають залежності між ними. Акцентується увага ролі анілоксового валика, який є однією з ключових складових флексографічного фарбового апарату, і від нього залежить регулювання та дозування фарби, яка подається на фотополімерну друкарську форму, а звідти – на матеріал, що задруковується.

У дослідженні [47] приділено увагу чинникам впливу на властивості та тиражостійкість друкарських форм, від яких залежить якість друкованої продукції, також описуються тенденції розвитку найбільш поширених методів друку та матеріалів.

Експериментальним дослідженням реалізації методів визначення основних параметрів, що впливають на оптичні характеристики відбитків, а також визначенню їх зв'язку з технологічними факторами, присвячені роботи [48, 49].

Проведений аналіз сучасних технологій друкування виробів тиссю

показує, що найбільш популярними є флексографічний та цифровий друк. Тому дослідження властивостей поліграфічних матеріалів та впливу способу їх задруковування для забезпечення якості виробів є актуальним завданням.

У технології друку та оздоблення паперових виробів великий внесок зробили як закордонні, так і вітчизняні вчені, які розробляли теоретичні дані результатів та моделі якості друку та оздоблення санітарно-гігієнічної паперової продукції. Так, аналіз дослідження [50, 51] показує, що правильний кольороподіл залежить від кожного етапу перетворень і впливає на якість надрукованого зображення.

Технологія флексографічного друку має ряд особливостей і складностей (точне дозування фарби, висока швидкість друку), які можуть привести до руйнування тонкого паперу тиссю [52]. У роботі [53] наведено переваги та недоліки флексографічного друку (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Переваги та недоліки флексографічного друку [53]

Переваги	Недоліки
Друк зображення на різних поверхнях: картон, папір, фольгу, плівку, тканину, вініл, пластик тощо	Налаштування флексографічного обладнання може бути складним і займати час
Використовуються нові фарби на водній основі та фарби на основі розчинників, які не є токсичними та не забруднюють навколишнє середовище	Велике значення розтискування точки раstra
Висока якість зображення	Обмежена кількістю кольорів, яку можна використовувати
Можливість об'єднання післядрукарських процесів (фальцювання і склеювання, упакування)	Неможливість друку шрифтів з малими кеглями

Продовження таблиці 1.3

Відносна економічність на досить широкому діапазоні тиражів	Відсутність промислових стандартів
---	------------------------------------

Слід зауважити, що багато з перерахованих недоліків (табл. 1.3) поступово вирішуються завдяки вдосконаленню апаратно-програмних комплексів, які використовуються як у додрукарському, так і в друкарському процесах, а якість відбитків флексографічного друку наближається до якості офсетного друку [54, 55].

Усі паперові вироби санітарно-гігієнічного призначення (паперові рушники, носові хустки, серветки та ін.) мають особливі вимоги до фар, які використовуються для їх задрукування: мінімальна липкість, щоб м'який папір не вищипувався і не налипав на друкарську форму; стійкість та стабільність кольору (фарба в процесі використання серветки не повинна з неї переходити на споживача); мінімальне піноутворення, яке забезпечує стабільний процес друкування.

Сучасні флексографічні фарби для серветок відповідають усім нормам екологічності та безпеки, дають можливість підтримувати високу швидкість друку, без проблем змиваються з друкарського обладнання, дозволяють отримувати складні багатофарбові зображення високої якості. Автори роботи [56] наводять аналіз світових тенденцій щодо обмеження шкідливих речовин під час виробництва спирторозчинних флексографічних друкарських фарб, які часто використовуються для друкування паковань для харчової та фармацевтичної продукції.

Цифровий друк є однією з найперспективніших і швидко зростаючих технологій, що використовується для високоякісного кольорового друку на різних матеріалах. На сьогоднішній день цифровий друк займає близько 15% ринку друку в Європі (близько 20% у США) для виготовлення різноманітної поліграфічної продукції, а також для друку на паперових серветках при малих тиражах [57].

Сьогодні цифровий друк набуває популярності завдяки своїм перевагам, зокрема можливості виготовлення малих тиражів [58], що робить його вигідним для персоналізованих відбитків і тестових зразків. Зображення або текст можна безпосередньо переносити на друкарський матеріал без потреби у традиційних друкарських формах. Цифровий друк дає змогу персоналізувати кожен друкований екземпляр, включаючи індивідуальні дані, друкуючи лише необхідну кількість продукції. Завдяки цьому він є вигідним для невеликих обсягів продукції [59]. У табл. 1.4 наведені переваги та недоліки цифрового друку.

Таблиця 1.4

Переваги та недоліки цифрового друку [60]

Переваги	Недоліки
Можливість виготовити одиничний тираж	Процес не підходить для великих тиражів і великосерійного виробництва
Висока швидкість	Обмежені можливості вибору форматів і паперів
Широкий вибір матеріалів для друку продукції	Дороге в обслуговуванні устаткування
Висока якість друку	Складнощі з післядрукарською обробкою

Чинники, які формують потреби поліграфічного підприємства в основних видах сучасного обладнання з використанням цифрових технологій, їх систематизація, цінова політика, якість, терміни виготовлення замовлення розглядаються в роботі [61].

Розробивши методику комплексного оцінювання якості цифрового друку з використанням тестових відбитків, автори [62] розрахували загальний рейтинг і порівняли результати дослідження з оцінкою експертів.

Існуючі галузеві стандарти контролюють якість друкованої продукції для класичних видів друку. У роботі [63] автори розглянули сучасні підходи до

оцінки якості цифрового друку, розробивши комплексну методику, яка дозволяє за рівних умов прогнозувати якість відбитків і визначати співвідношення ціни та якості для різних цифрових машин. Дослідження [64] зосереджене на створенні власних профілів з різним ступенем зміни тріадних фарб чорного при цифровому способі друку.

На фоні завдань цифрового друку продовжує зростати, в основному завдяки високій якості сучасних цифрових друкарських машин. Крім того, цифровий друк характеризується ефективністю та можливостями виконання, з якими не можуть зрівнятися інші види друку.

Дослідження Маршруба та Яценко [65] показало, що стабільність друку, тобто зміни параметрів друку, таких як оптична щільність, різниця кольорів та тоновий приріст. На основі даних та графічного представлення проведених досліджень можна сказати про нестабільність в процесі друку, яка виникає між невідповідностями якісних показників.

Під час дослідження [66, 67] проаналізовано фактори та властивості, що впливають на якість друку, основні критерії оцінки якості кольоровідтворення струменевих відбитків та величину колірних відмінностей для відтінків основного тону (ΔE).

Технологію трафаретного друку на сьогоднішній день використовують значно менше для друкування паперових серветок, порівняно з попередніми видами друку. Її найчастіше застосовують для задруковування, а саме: на папері, картоні, склі, кераміці та різних виробках з матеріалів [68]. Окреслено переваги та недоліки трафаретного друку в табл. 1.5.

Переваги та недоліки трафаретного друку [60]

Переваги	Недоліки
Широкий вибір матеріалів для друку продукції	Низька роздільна здатність
Використання різних видів фарб	Неможливо друкувати дуже малі об'єкти
Відносна економічність тиражу	Немає можливості відтворити градієнти – відтінки, переходи кольорів

Дослідження [69] показали, що особливості технології трафаретного друку, нанесені зображення на паперові серветки різних виробників, найкраще використовувати з лініатурою растра 140 л/см. Чим менший растр і фарбовий шар на поверхні, але більша криюча здатність, тим важче запобігти повному розтіканню фарби в місцях друку.

Таким чином, флексографічний та цифровий ink-jet мають потенціал для застосування у відтворенні текстових та ілюстраційних зображень на виробі тиссю, гарантуючи високу якість відбитків і задовольняючи вимоги споживачів.

Якість оформлення та маркування серветок залежить від їх призначення та обраних технологій друку, що використовуються для цього. В останні роки друкована реклама стає все більш популярною, зокрема на паперових серветках: логотипи, корпоративна символіка, слогани, рекламні зображення. Тому вдосконалення технології друку на паперах тиссю, підбір екологічних фарб, технологічних режимів та способів оздоблення з використанням новітніх технологій друку є актуальним завданням, які наведені в роботах [70, 71, 72, 73].

Можна побачити, що найчастіше для оздоблення паперових серветок використовують тиснення, оскільки ця технологія надає поверхні рельєфний візерунок на серветці, створюючи виразний та презентабельний вигляд [74].

У роботі [75] розглядається вплив технологічних режимів тиснення фольгою на оптичні показники відбитків, що можуть утворювати нечіткі рвані контури, що також характерно для матеріалів на основі целюлозних волокон.

Тиснення відбувається шляхом розміщення кількох шарів основного

виробу тиссю, проникнення візерунка в кожен шар і утримування їх разом. Візерунки тиснення наносять на виріб тиссю для покращення пористості, гігроскопічності, товщини, гнучкості та властивостей утримання рідини.

При використанні лабораторної системи для тиснення автори в роботі [76] описують, що тиск впливає на основні властивості санітарного паперу. Отримавши оптимальний тиск на рівні 2,8 бар, вони зазначають, що вплив тиску при ущільненні паперового аркуша призводить до збільшення механічної міцності, але не впливає на поглинання рідини.

У роботах [77, 78,] автори дослідили, що тиснення може покращити візуальний вигляд виробу, при цьому використовуючи папір з низьким вмістом вологи. Завдяки цьому процесу можна виготовити папір із красивим малюнком, іноді з метою ідентифікації продукту та вирізнення його з-поміж інших конкурентів.

Кожна волокниста композиція санітарного паперу має визначені межі тиску тиснення, за межами яких міцнісні властивості аркуша руйнуються, що, в свою чергу, погіршує працездатність переробної машини або вимоги до якості готового продукту. Як зазначено в роботі [79], існує оптимальний тиск для процесу тиснення, у якому властивості механічної міцності максимізуються (через ущільнення аркуша паперу) без надто сильного впливу на м'якість і поглинання рідин.

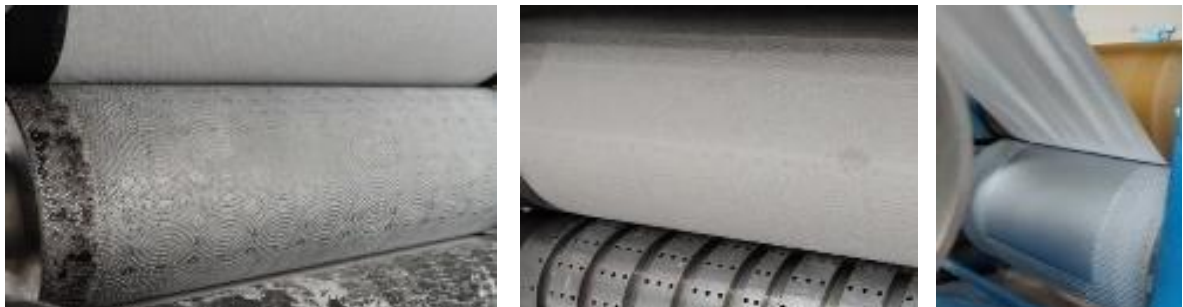


Рис. 1.9. Приклад сталевого рулону в машині для тиснення паперу тиссю

Візерункове тиснення на папері тиссю використовується для покращення абсорбційних властивостей та створення ефекту підняття або опускання зображення на папері. Металевий циліндр (валик для тиснення) притискається до паперу, дивіться на рис. 1.9.

Автори оцінили вплив умов процесу тиснення при виготовленні паперу та його вплив на м'якість, запропонувавши у роботі [80] шкалу оцінювання тактильності паперу за відчуттям на дотик за допомогою оптичної системи. Встановлено, що м'якший і приємніший на дотик папір має (HF) 75,3 одиниці, а інший, більш грубий і менш приємний, має загальне значення на дотик (HF) 68,0 одиниць.

У працях [81, 82] розглянуто процес тиснення малюнка, який суттєво впливає на механічні властивості паперових виробів. Описано інноваційний підхід використання прототипу лабораторного тиснення для розробки та оптимізації санітарного паперу, щоб кількісно визначити вплив «деко» та «мікро» тиснення. Зроблено висновок, що існує оптимальний тиск для процесу тиснення, при якому механічна міцність максимізується без значної втрати значення м'якості.

У роботі [83] було порівняно поглинальну здатність чотирьох різних 2-шарових промислових паперів, а також відповідних паперів-основ за допомогою методу занурення згідно з ISO 12625-8 (2010). Зроблено висновок, що тиснення помітно збільшує товщину та обсяг санітарного паперу. При виробництві виробів тиссю, торгової марки Tischa Papier використовують такі сучасні технології тиснення [84]:

- UltraAirPockets — це техніка клейового тиснення (точка-точка), при якій порожнечі, що виникають між шарами, підвищують здатність до вбирання вологи та надають паперу свіжості, роблячи продукт міцнішим, покращуючи його міцнісні властивості та підвищуючи водостійкість;
- повітряні кишені — це шари паперу, які рельєфно тиснуть і склеюють між собою за допомогою клею. Створюючи повітряні камери між

шарами, де покращується поглинання, виріб стає більш об'ємним, надаючи паперу більшої щільності.

- тиснення "сталь-сталь" — це процес, за допомогою якого папір проходить між двома сталевими валиками, склеюючись між собою в міру висихання (у випадку двох або більше шарів), що покращує поглинання паперу і збільшує його свіжість та об'єм;

- сталь-гума — це техніка тиснення з використанням сталевих і гумових валиків, коли папір проходить між сталевими та гумовими валиками. Візерунок сталевих валиків друкується на папері, скріплюючи шари паперу між собою і роблячи папір більш поглинаючим та об'ємним [79];

- крайове тиснення — це процес, при якому шари паперу скріплюються між собою двома вузькими сталевими валиками. Ця технологія мінімізує втручання в структуру паперового полотна і дозволяє виробляти паперові вироби, які зберігають споживчі характеристики основного паперу (без тиснення, лише дві смуги по краях).

Технологія перфорації в паперових виробках полегшує розділення аркушів паперу. Основними продуктами, які використовують цей процес, є туалетний папір, кухонні рушники та паперові серветки. У роботі [85] розглянуто техніку перфорації виробів з целюлози, оцінивши ефективність перфорації для різних відстаней різку в комерційному папері з 2, 3, 4 і 5 шарів, використовуючи лабораторну систему перфорації та порівнюючи їх з промисловою перфорацією кожного з них. Зокрема, у роботі [86] досліджено механічну поведінку 15 комерційних паперів різних європейських виробників. Результати показали, що ефективність перфорації зростає разом із відстанню розрізу, незалежно від кількості шарів санітарного паперу.

У праці [87] розглянуто вплив целюлозних волокон на компонент м'якості поверхні гігієнічного паперу. Основними процесами для покращення експлуатаційних властивостей є крепування та тиснення, однак ці процеси також створюють шорсткість поверхні.

М'якість є дуже важливою властивістю, особливо в санітарно-технічних застосуваннях, де споживачі дуже чутливі до сприйняття м'якості, які поділяють на поверхневу м'якість і об'ємну м'якість. Об'ємна м'якість — це показник того, наскільки легко папір піддається розкришенню, що залежить від жорсткості паперу, об'єму та здатності волокон рухатися всередині волокнистого полотна [88]. Під час виробництва на м'якість санітарного паперу впливає багато аспектів, наприклад, тип волокон, використання рафінуючих добавок, процес крепування та процес перетворення.

Реакцією людини на текстуру є сприйняття м'якості, яку можна описати як приємну для очей текстуру. Сприйняття м'якості є результатом різних сенсорних реакцій, включаючи звук, колір і тиск, а також звукові та візуальні стимули. М'якість є дуже важливою властивістю, особливо в санітарно-технічних застосуваннях, де споживачі дуже чутливі до сприйняття м'якості.

За останні роки дослідження ринку показали, що м'якість є однією з найбільш бажаних властивостей для споживачів. Автори у своїй роботі [89] розробили обладнання, яке поєднує кілька різних механічних, поверхневих і акустичних властивостей для характеристики м'якості. У порівнянні з панельними тестами було виявлено, що ці прилади (наприклад, аналізатор м'якості тканин) дають еквівалентні показники м'якості.

Аналіз науково-популярної літератури вказує на широкий та різноманітний асортимент сучасної продукції виробів тиссю, класифікаційні ознаки якого залежать від: сфера застосування; призначення; вікового розподілу споживачів; виду основної сировини; наявності крепування; цінової категорії; кількості шарів паперу; наявності барвників і ароматизаторів; наявності перфорації; розмірів – ширини та довжини полотна; ступеня водопоглинання та вологостійкості.

1.4. Санітарно-гігієнічні та нормативні вимоги до якості виробів тиссю

В останні роки значно збільшився обсяг світового виробництва продукції СГП (санітарно-гігієнічного призначення), виготовленої з напівфабрикатів целюлозно-паперової промисловості. Вони не поступаються за споживчими характеристиками аналогічним виробам, таким як неткані матеріали (текстиль, бавовна, хімічні волокна). З появою нових видів і специфічних властивостей паперової продукції санітарно-гігієнічного призначення, а також розширенням асортименту, змінювалася і їх класифікація.

У роботі [90] автор акцентує увагу на тому, що якість зображення була оцінена за такими параметрами: стабільністю друку на задрукованому матеріалі, денситометричними та колометричними показниками, а також фізико-механічними властивостями (пухкість матеріалу до і після задруку). Незначні зміни цих показників залежать від умов спостережень та спектрального складу випромінювання, а найменша зміна однієї з цих величин призводить до зміни кольору.

Фактори, що впливають на попит целюлозно-паперової продукції, окреслюються співвідношенням ціни та якості, а також дотриманням міжнародних стандартів ISO 9001, ISO 14001, FSSC 22000, органолептичними характеристиками, платоспроможністю споживачів, рівнем розвитку сегмента HoReCa (готелі, ресторани та кафе) [91].

Як зазначили автори [92], нормативні документи визначають вимоги для безпечності різних видів паперу, які регламентують рівень міграції формальдегіду (до 0,1 мг/дм³), свинцю (до 0,3 мг/дм³) та цинку (до 1,0 мг/дм³) у водне середовище. Ключовим показником безпечності паперу для виробів тиссю є значення рН водної витяжки. Оскільки більшість паперових виробів тиссю контактують зі слизовими оболонками людини, важливо, щоб рН залишалося на нейтральному для рівня (7,0–7,5).

Санітарно-гігієнічна продукція також має специфічні властивості, які визначаються функціональним призначенням і сферою застосування виробу, а

саме показниками вологостійкості та гідрофобності [93]. Здатність поглинати воду, водні розчини та рідкі харчові продукти є важливою функціональною характеристикою паперу для виробів тиссю, яка оцінюється шляхом капілярного поглинання.

Згідно з нормативними документами [94], зручність використання виробів тиссю визначається такими показниками, як м'якість, пухкість і ступінь крепування, на які впливає макроструктура паперового полотна, товщина аркуша та інші фактори.

Папір для серветок, виготовлений з целюлози згідно зі стандартом ТУУ 17.1-05509659-033:2013, має відповідати певним показникам якості, які наведені в табл. 1.6 [95, 96, 97].

Таблиця 1.6

Фізико-механічні показники якості паперу санітарно-гігієнічного призначення [96, 97]

Назва показника	Норма для паперу марок						Метод випробування
	СГ-15	СГ-17	СГ-20	СГ-24	СГ-29	СГ-35	
1. Маса паперу площею 1 м ² , г	15±1	17±1	20±2	24±2	29±2	35±4	ДСТУ EN 20534: 2005
2. Руйнівне зусилля, Н, не менше:							ДСТУ 2334-94
- у машинному напрямку;	1,0	1,2	1,6	2,2	2,8	3,5	
- у поперечному напрямку.	0,5	0,6	1,0	1,4	1,8	2,2	

Продовження таблиці 1.6

3. Капілярне всмоктування у середньому з двох напрямків, мм, не менше	22	22	22	22	22	22	Клема ISO 8787
4. рН водної витяжки	4,5- 8,0	4,5- 8,0	4,5- 8,0	4,5- 8,0	4,5- 8,0	4,5- 8,0	ДСТУ ISO 6588- 1:2008
5. Вологість, %	6,0±2	6,0±2	6,0±2	6,0±2	6,0±2	6,0±2	ДСТУ EN ISO 287:2017
6. Білість, %: - без оптичного відбілювача - з оптичним відбілювачем, не менше	80 90,0	80 90,0	80 90,0	80 90,0	80 90,0	80 90,0	ДСТУ ISO 11476: 2005
7. Руйнівне зусилля у вологодому стані для волого міцності паперу, середнє значення з двох напрямків Н, не менше	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	ДСТУ ISO 12625- 9:2010

Багато науковців зосереджують свої дослідження на відкриттях та вивченні нових властивостей санітарно-гігієнічних виробів, а також на дотриманні відповідних стандартів і норм. Це призводить до виникнення нових класифікаційних ознак для виробів тиссю, які викладені в роботі [98]. Автори підкреслюють важливість таких характеристик, як кількість шарів, тип поверхні, наявність перфорації, тиснення, ароматизація тощо.

Вимоги до зовнішнього вигляду виробів тиссю [98]:

- у виробках не допускаються механічні пошкодження та смуги; складки, дірчастість, плями розміром понад 7 мм у найбільшому вимірі;
- допускаються складки та плями (крім олії та слідів брудної води) від 3 до 7 мм, але не повинна перевищувати одну штуку на десять скатертин, серветок, носових хусток, рушників та туалетного паперу;
- зріз кромки має бути рівним, чистим;
- друковане зображення на виробках повинно бути чітким, без спотворень та пробілів;
- кольоровий фон виробів має бути рівномірним;
- рельєф тиснення має бути рівним, чітко видимим неозброєним оком;
- покриття, нанесене на виріб, має бути рівним, без здуття, бульбашок та відшаровування;
- просочення вологих виробів має бути рівномірним. Непросочені (сухі) місця не допускаються. Масова частка просочувального складу виробу повинна забезпечувати його функціональне призначення та вказуватися у технічній документації на конкретний виріб або групу виробів;
- граничні відхилення за шириною рулону, шириною та довжиною листа не повинні перевищувати $\pm 5\%$ розмірів виробів;
- косина виробів прямокутної форми не повинна перевищувати 2 мм;
- шари паперу в багатошарових виробках повинні бути з'єднані між собою таким чином, щоб забезпечити міцне зчеплення шарів паперу по всій площі багатошарового виробу та реалізувати функціональне призначення виробу. Шари виробу не повинні відхилятися один від одного на 3 мм;

— намотування паперу в рулонах має бути щільним, щоб забезпечити вільне розмотування виробу при його використанні, без затримки та деформації. У рулонах з перфорацією аркуші паперу повинні точно відриватися по перфорації. Допускається незначна деформація по бічній поверхні рулону (зміна форми рулону), якщо її можна легко усунути.

Нижче наведено наступні характеристики ідентифікації для виробів санітарно-гігієнічного призначення (ВСГП), де зазначено нормативні значення показників продукції, які вирізняють даний вид від інших (табл. 1.7).

Таблиця 1.7

Критерії ідентифікації паперу для ВСГП [98]

Назва критерію	Суть критерію	Значення показника критерію
Волокнистий склад	Вміст целюлозних волокон з хвойних чи листяних порід деревини, вміст сульфітних, сульфатних волокон, вміст волокон отриманих механічним способом, вміст макулатури, деревної маси	Відсоткове співвідношення компонентів
Маса 1 м ²	Маса паперу площі 1 м ²	29,0-37,0 г.
Ступінь крепування	Вид обробки паперу, що полягає у наданні йому зморшкуватої структури	Не менше 10%
Опір продавлювання	Визначення руйнівного зусилля у машинному напрямі-показника механічної міцності паперу	Не менше 3,0 Н
Випробування опору воді	Визначення капілярного всотування в середньому з двох напрямі-показника вбирної здатності паперу	Не менше 22мм

Продовження таблиці 1.7

Масова частка золи	Вміст домішок та сторонніх включень у композиції паперу	Не більше 4 %
Дослідження багатошаровості паперу	Кількість шарів паперу	Одношарова, двошарові, багатошарові
Дослідження наявності перфорації	Пунктирні отвори на поверхні виробів	Перфоровані, неперфоровані
Вид обробки	Спеціальні: види обробки бактерицидними, біоцидними препаратами	З бактерицидними властивостями
Колір	Забарвлені в різні кольори, незабарвлені вибілені чи природного кольору	Білі, різних кольорів
Запах	Наявність ароматизації паперу	Ароматизовані, без запаху
Тиснення	Відтиск візерунків на поверхні паперу	З тисненням, без тиснення

Отже, критерії, які наведені у табл. 1.7, включають основні ознаки паперу та виробів санітарного призначення, які відрізняють ці дані від інших. Специфічними ознаками є кількість шарів, структура, наявність перфорації, тиснення, зафарбовування, ароматизація та просочення спеціальними розчинами [98].

Згідно з ДСТУ 4266:2022 [99], цей стандарт розроблено з метою створення єдиного нормативного документа щодо оцінювання якості паперу з переліком вимог, які відповідають сучасним науково-технічним рівням та задовольняють потреби.

Встановлено, що контроль якості здійснюється на всіх етапах виробництва продукції, включаючи вхідний контроль сировини, моніторинг технологічних параметрів на всіх стадіях виробництва, а також перевірку готової продукції

[100]. Оцінювання готової продукції здійснюється за об'єктивними показниками з урахуванням вимог і галузевих стандартів. Продукція перевіряється візуально та за допомогою обладнання на основі отриманих зразків.

Основні вимоги до якісних паперових серветок включають хорошу всотуючу та капілярну здатність, високу міцність та екологічність. Паперові серветки доступні різних розмірів, оскільки від розміру залежить їх використання. Найбільший розмір паперової серветки – 41x41 см, а найменший – 10x10 см [101].

У працях [102, 103, 104] розглянуто показники якості, механічну та вбирну міцність паперу санітарно-гігієнічного призначення.

У праці [105] автори запропонували новий параметр під назвою «Індекс крепу» (CI) для кількісної оцінки структури крепованого паперу. Здійснивши випробування на розтяг крепованого аркуша, а також обговорюється зміна деформації руйнування.

Згідно зі стандартом ДСТУ EN ISO 15755:2005 «Папір і картон», можна здійснити визначення засміченості паперу (різноманітних відтінків, небажаних домішок, крапок і ліній у папері, які можна побачити неозброєним оком при світлі), враховуючи кількість побічних домішок на аркуші площею 1 м² або вимірюючи площу цих домішок [106]. Оскільки засміченість негативно впливає на зовнішній вигляд паперу, це призводить до зниження естетичних властивостей та ускладнює процес друкування.

У роботі [107] розглянули вплив «деко» та «мікро» тиснення на вбирну здатність, капілярний підйом Клемма та кінетику розтікання рідини в целюлозному папері. Результати показують, що процес «мікро» тиснення сприяв об'ємним і пористим структурам, підвищуючи водопоглинальну здатність і властивості капілярного підвищення Клемма, тоді як малюнок «деко» тиснення зменшував водопоглинальну здатність.

У роботі [108] розглянуто порівняльне дослідження структурних властивостей паперу для вологостійкого, водо- та жиронепроникного паперу тиссю різної щільності. Експериментально визначено, що оптимальний рівень

щільності знаходиться в діапазоні від 0,75 до 0,85 г/см³, а білена і небілена сульфатна целюлоза хвойних порід деревини є найбільш придатною для отримання паперової основи, з якої можна виготовляти паперові вироби.

Дослідження [109] автори запропонували підхід до розв'язання проблеми забезпечення якості поліграфічної продукції у вигляді ІТ-базованої системи контролю якості поліграфічної продукції на базі параметрів якості друкованої продукції, визначених у нормах і стандартах (наприклад, ISO, PN, BN, FOGRA та інші).

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Проведено аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку виробів тиссю в Україні та Європі. Акцентується увага на популярності серед населення планети виробів санітарно-гігієнічного призначення, про що свідчить інтенсивний розвиток технологій їх виготовлення та оздоблення відповідно до тематики використання. Збільшуються вимоги до екологічності виробництва флексографічного та цифрового друку, а саме використання екологічних фарб, постійно зростають вимоги до дизайну та експлуатаційних характеристик виробів з паперу тиссю.

2. Наведена класифікація виробів тиссю та поліграфічних технологій для їх оздоблення, наголошується на популярності використання флексографічного, цифрового (ink-jet) та трафаретного друку, на вибір якого впливають такі фактори, як наклад, формат, призначення, споживчі вимоги тощо.

3. Відзначається зростання вимог споживачів до дизайну та експлуатаційних характеристик виробів з паперу тиссю, описані вимоги до виробів санітарно-гігієнічного призначення відповідно до державних та міжнародних стандартів.

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Об'єкти досліджень

Об'єктами дослідження були відбитки флексографічного та цифрового друку, отримані на папері тиссю марки Nuchtemeier Papier GmbH, виготовленому з 100% целюлози, характеристика якого наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Технічні характеристики паперу тиссю марки Nuchtemeier Papier GmbH

Технічні дані паперу тиссю		
Міцність на розрив MD P	900–1000–800	SCAN P 44:81
Міцність на розрив CO P	450–500	SCAN P 44:81
Вага	18,5±0,5	ISO 536
Товщина	2-3 шаровий	SCAN P 66
Колір	Білий	—
Повзучий, %	17	On machine
Вологість, %	5,5	On machine
Розмір	19*19, 20*20см	
Країна походження	Дортмунд (Німеччина)	

Для дослідження друкарсько-технічних властивостей паперів тиссю були визначені їх маса, густина та пухкість, які наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Характеристика досліджувальних виробів з паперу тиссю

Кількість шарів	Маса, 1м ² , г	Густина паперу, г/м ³	Пухкість, см ³ /г
Одношарова	17,3	0,43	2,32
Двошарова	34	0,48	2,08
Тришарова	49,7	0,33	3,03
Тришарова не каландрована	50,2	0,33	3,03

Згідно з проведеними результатами дослідження (табл. 2.2), можна стверджувати, що чим більша кількість шарів, тим збільшується маса, густина та пухкість паперу, які зумовлені результатами деформаційних властивостей полотна. Одношарова серветка має найменшу масу – 17,3 г/м², тоді як тришарова серветка демонструє найбільшу масу – 49,7 г/м².

Друкування на папері тиссю здійснювалося у виробничих умовах компанії ТОВ «Марго» флексографічним способом з використанням екологічних водорозчинних фарб фірми «Аквафлекс Плюс» (в'язкість 15 – 20 секунд). Для досліджень були отримані відбитки розміром 19х19см на двошарових серветках, надруковані флексографічним способом на машині OMET TV 503 (Італія) (рис. 2.1).

Використано анілоксовий вал компанії Prutex з лініатурою 100 – 150 лін/см, що забезпечує точну передачу кольору, яка є важливою для задруковування повноколірного зображення. Анілоксовий вал був виготовлений з високоякісної сталі та має керамічне покриття Cr₂O₃ товщиною 0,2 мм.



Рис. 2.1. Загальний вигляд флексографічної друкарської машини
OMET TV 503 (Італія)

У табл. 2.3 наведено основні характеристики флексографічної друкарської машини OMET TV 503, яка належить до серії конвертингових машин, що друкують зображення на серветках з продуктивністю до 2800 штук/хв, використовуючи різні види фальців.

Таблиця 2.3

Технічні характеристики флексографічної друкарської машини
OMET TV 503 [110]

Характеристика	Значення
Робоча ширина	500мм (20"), 600мм (23")
Флексографічна секція	1 - 4 друковані секції
Макс. діаметр рулона	1,800 мм (72")
Матеріали	1 та багатошарова тканина, папір, неткані матеріали
Тип фальцю	N, M, C, подвійний вигин, WM, або книжковий
Відкритий формат макс.	18x18 см (7'x7")

Продовження таблиці 2.3

Відкритий формат мін.	50x50 см (20"x20")
Механічна швидкість	850 м/мін (2800 fpm)
Макс. безперервна продуктивність	2,800 штук/мін

Пробні відбитки на трьохшарових серветках були отримані в лабораторних умовах за допомогою прободрукарського станка. Для цього використовували водорозчинні фарби: WB-1930 Cyan, WB-1920 Magenta, WB-1910 Yellow, WB-1990 Black, виробництва ТОВ «Флексорес», з керамічним анілоксовим валом 6 cm^3/m^2 та 5 cm^3/m^2 .

Для досліджень процесу оздоблення серветок застосовували флексографічні фарби на водній основі з додаванням люмінофору Pentart Glow in the dark (виробник Угорщина) у кількості від 10 до 30 %. Відбитки також отримували в лабораторних умовах на прободрукарському станку флексографічного друку «Flexiproof 100» від RK PrintCoat Instruments Ltd, використовуючи керамічний анілоксовий валик FLX100.02. (рис. 2.2) [111].

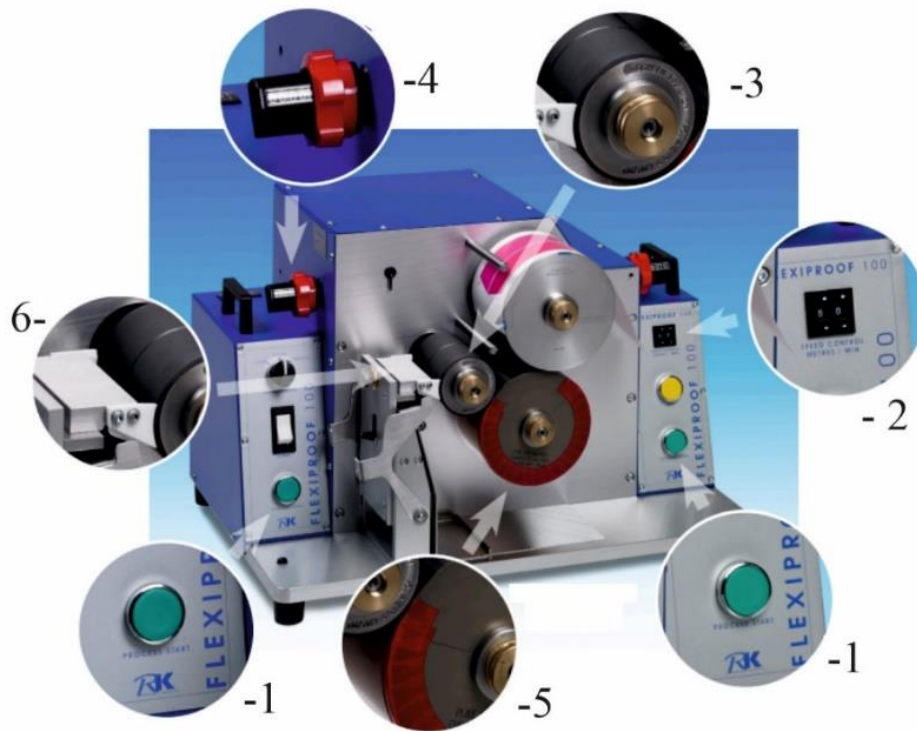


Рис. 2.2. Загальний вигляд флексографічного прободрукарського станка
«Flexiproof 100» RK PrintCoat Instruments Ltd [111]:

1 — дві кнопки запуску для безпеки; 2 — цифровий контроль швидкості 20-99 м/хв; 3 — керамічний анілоксовий вал; 4 — цифрове налаштування тиску з кроком 4мкм; 5 — фотополімерна форма для друку; 6 — ракельна форма, чорнильна камера

Під час процесу друку на прободрукарському станку проводилося тестування контролю якості відбитків. Технічні характеристики друкарської машини «Flexiproof 100» наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Технічні характеристики прободрукарської машини «Flexiproof 100» [112]

Швидкість друку	Змінна 2099м/хв
Типи чорнила	На основі розчинників, на водній основі, УФ
Підкладки	Гнучкий папір, картон, плівка та фольга
Розмір підкладки	297x105 мм - половина А4

Продовження таблиці 2.4

Максимальна площа друку	240x75 мм
Стандартна товщина плити	1,14 мм плюс 0,5 мм, кріплення на подушці
Регулювання ролика	3 кроком 4 мкм

Відбитки цифрового друку на тришарових паперах тиссю для серветок розміром 20х20см, виготовлених з 100% целюлози, здійснювалося у виробничих умовах фірми EcoKraft на машині Tiscab (Польща) (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Загальний вигляд цифрової машини Tiscad [112]

Технічні характеристики цифрової друкарської машини наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Технічні характеристики цифрової машин Tiscad [113]

Ширина області друку	до 29,7 см
Довжина зони друку	від 2,54 см — до 91,44 см
Швидкість друку	до 50 арк\хв А4, до 16 арк\хв А3

Продовження таблиці 2.5

Роздільна здатність друку	1200x1200dpi
Кольори	СМΥК (блакитний, пурпурний, жовтий, чорний)
Тип чорнил	пігментні чорнила на водній основі

Для отримання відбитків цифрового друку використовували пігментні чорнила на водній основі від Hewlett Packard HP, за технологією Hewlett-Packard (thermal ink jet – TIJ) [113].

2.2. Методики досліджень

2.2.1. Методика дослідження денситометричних та колориметричних показників відбитків на папері тиссю

Для вимірювання оптичної густини надрукованого зображення були використані спектрофотометри GRETAG SPM50, X-Rite eXact Advanced та спектроденситометр Konica Minolta FD-5bt. Принцип роботи цих приладів полягає в реакції фотоприймача на відбитий промінь, що призводить до створення електричного заряду, пропорційного його інтенсивності. За величиною цього заряду можна обчислити оптичну щільність фону та плашок, а також визначити такі показники, як розтискування растрових елементів, трепінг, баланс по-сірому, рівномірність та контраст друку.

Спектрофотометр X-Rite eXact Advanced використовувався для визначення координат кольору CIE Lab та кольорових характеристик фарб [114].

Таким чином, різниця кольорів ΔE^*_{ab} визначалася таким чином [115]:

$$\Delta E_{ab} \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}, \quad (2.1)$$

де ΔL , Δa , Δb — числові значення, які вказують на просторове розташування різних кольорів у моделі CIE Lab.

Колориметричні вимірювання зображень проводилися з використанням стандартизованих кутів спостереження 2° та 10° [116].

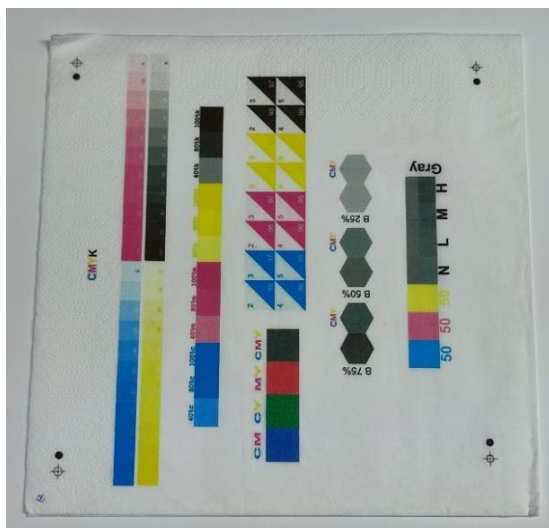
Спектроденситометр є легким автономним пристроєм, який відображає дані на вбудованому дисплеї. Він здатний зчитування цілу лінійку зразків кольору при використанні професійного програмного забезпечення для кольорового калібрування [117].

Спектроденситометр Konica Minolta охоплює спектральний діапазон FD-5bt від 380 до 730 нм, з кроком вимірювання 10 нм та вимірювальною апертурою 35 мм. Діапазон вимірювань: густина від 0,0 D до 2,5 D та коефіцієнт відбиття від 0 до 150%.

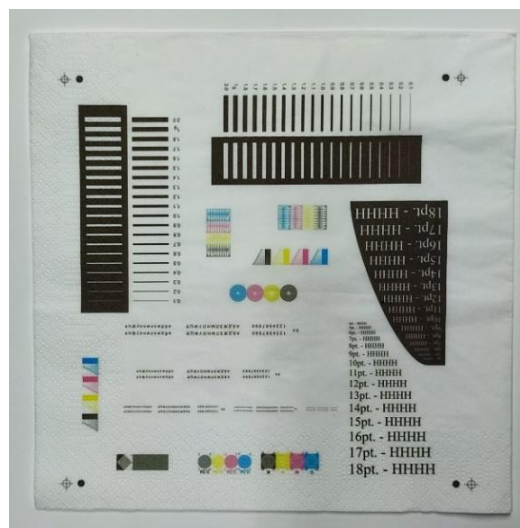
На рис. 2.4 наведено загальний вигляд тестового надрукованого зображення, виконаного різними способами друку на паперових серветках.



а



б



в

Рис. 2.4. Загальний вигляд тестового зображення, використаного для проведення експериментальних досліджень на відбитку: а – флексографічного друку; б, в – цифрового друку

2.2.2. Методика дослідження топографії поверхні відбитків на папері тиссю

Топографія поверхні виробів тиссю досліджувалася за допомогою 3D-скануючого мікроскопа Troika AniCAM. Цей мікроскоп оснащений 24-бітовою кольоровою камерою з роздільною здатністю 640×480 пікселів та полем зору від $1,25 \times 0,92$ мм. В результаті дослідження було отримане тривимірне зображення структури поверхні паперової серветки (рис. 2.5) [118].

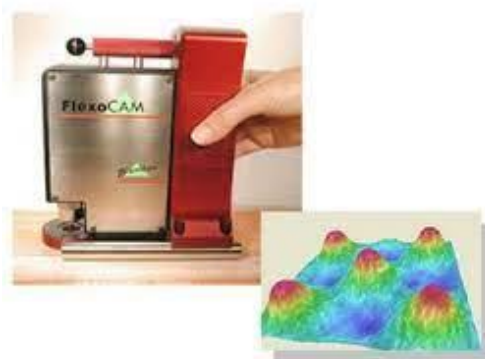


Рис. 2.5. Загальний вигляд приладу AniCAM для вимірювання структури та профілю поверхні відбитків [118]

2.2.3. Методика проведення оптично-мікроскопічних досліджень

Ультратонкі зрізи надрукованого зображення та структур відбитків зображення на тиссю були отримані за допомогою цифрових мікроскопів IntelPlay QX3 з збільшенням лінзи $\times 60$, $\times 120$, $\times 200$, а також USB 1600 Digital Microscope [119, 120].

На рис. 2.6 представлена контрольна шкала, яка використовувалася для визначення висоти штрихів зображення.

10pt. - НННН
 11pt. - НННН
 12pt. - НННН
 13pt. - НННН
 14pt. - НННН
 15pt. - НННН
 16pt. - НННН
 17pt. - НННН
 18pt. - НННН
 19pt. - НННН
 20pt. - НННН

Рис. 2.6. Контрольна шкала якості зображення висоти шрифтів на відбитку

Для визначення видільної здатності (L_c , L_m , L_y , L_b), відтворення дрібних деталей зображення, окремо розміщених штрихів, а також точної передачі зображення штрихів різної величини: 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 мкм (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Шкала для визначення видільної здатності зображень
цифрового способу друку

Контроль за суміщенням фарб на відбитках під час друку багатофарбових зображень здійснювався за допомогою контрольних елементів привідних хрестів тонких ліній, які перетинаються перпендикулярно.

На рис. 2.8 наведено загальний вигляд мікроскопів, що використовувалися для дослідження товщини ліній на серветці. Для цього застосовували товщиномір моделі Мир-12 з мікрометричною насадкою, що має ціну поділки 0,01 мм, а також настільний цифровий USB мікроскоп 1600 Digital Microscope (Китай) [119].



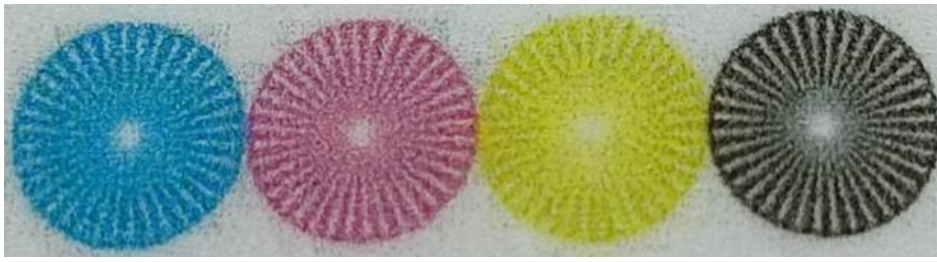
а б

Рис. 2.8. Загальний вигляд мікроскопів: а – Мир-12;
б – цифровий USB 1600 Digital Microscope

На рис. 2.9 показано відбиток шкали, що використовується для визначення роздільної здатності зображення, отриманого флексографічним (а) та цифровим (б) друком.



а



б

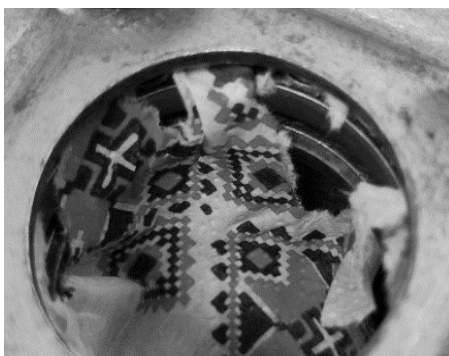
Рис. 2.9. Шкала для визначення роздільної здатності надрукованого зображення на відбитках:

а – флексографічного; б – цифрового друку

Визначення роздільної здатності надрукованого зображення, або кількості пунктів, які містяться в одиниці довжини, здійснювалося за допомогою зірки Siemens, яка складається з 72 пар чорно-білих ліній, розташованих по колу однієї центральної точки стику.

2.2.4. Методика дослідження експлуатаційних властивостей виробів з тиссю

Експлуатаційні властивості дво- та тришарових серветок визначалися за їхньою стійкістю до продавлювання (рис. 2.10). Для цього використовували установку УК25-1,6М [121].



а



б

Рис. 2.10. Загальний вигляд етапів розриву серветок при дослідженні на продавлювання: а – задрукована серветка до розриву;

б – серветка після продавлювання

Визначення міцності на розрив і розтяг у сухому стані проводили відповідно до стандарту ISO 12625-4:2022 [122].

Міцність на розрив – це максимальна сила розтягування на одиницю ширини, яку випробовуваний зразок витримає при розтягуванні до розриву. Вимірювання здійснювали за допомогою приладу TIRA test 28005 (рис. 2.11), на якому зразки розтягували до розриву, фіксуючи максимальне зусилля та подовження в момент розриву. Вимірювання проводили при постійній швидкості розтягування (50 ± 2) мм/хв.

Для випробувань було вирізано по десять смужок одношарового, двошарового та тришарового паперу, довжина яких становила 150 мм, а ширина – 50 мм. По п'ять смужок, у яких довша сторона була паралельна машинному напрямку, використовували для вимірювання міцності на розрив у машинному напрямку (MD), а інші п'ять зразків, з паралельною поперечною стороною, – для вимірювання міцності на розрив у поперечному напрямку (CD). Зразки закріплювали в верхніх та нижніх затискачах приладу, при цьому відстань між затискачами становила (100 ± 1) мм.



Рис. 2.11. Тестовий пристрій TIRA 28005 [123]

Значення міцності на розрив було розраховано за наступною формулою:

$$S = \frac{F}{w_x} \times 10^3; \quad (2.2)$$

де S - міцність на розтяг (Н/м);

F - максимальна сила на розрив (Н);

w_x - початкова ширина досліджуваного зразка (50 мм).

Кінцеве значення міцності на розрив було виражено як середнє значення 5 вимірювань для машинного напрямку (MD) та поперечного напрямку (CD), виражене в Н/м.

Оскільки маса випробуваних зразків суттєво впливає на міцність на розрив, для точного аналізу результатів вимірювань показник міцності на розрив розраховували за такою формулою:

$$I = \frac{S}{Gr}; \quad (2.3)$$

де I – показник міцності на розрив (Нм/г);

S – міцність на розрив (Н/м);

Gr – маса зразка (г/м²).

Вимірювання міцності на розтяг у вологому стані виконували згідно зі стандарту ISO 12625-4:2022 [122].

Межа міцності на розтяг у вологому стані визначається як максимальна сила розтягування на одиницю ширини, яку зразок, змочений водою, може витримати до моменту розриву. Випробувальний зразок виробу тиссю певних розмірів замочували у воді протягом встановленого часу в певних умовах, а потім розтягували з постійною швидкістю до розриву, використовуючи тестер міцності на розрив. Вимірювання проводилися на приладі TIRA test 28005, який був обладнаний пристроєм Finch (рис. 2.11) для замочування зразка. Прилад для вимірювання міцності на розтяг у вологому стані був оснащений верхнім затискачем, що забезпечував надійне утримання обох кінців зразка без можливості їх послаблення.

Під час вимірювання мокрого розривного зусилля важливим фактором, що впливав на результати, є продуктивність, так зване прискорене старіння (закріплення). Міцність паперу тисню у вологому стані часто підвищується за допомогою водофіксаторів. Прискорене термічне старіння використовується для досягнення максимальної міцності у вологому стані після періоду природного старіння в умовах навколишнього середовища. Цей природний період може тривати від одного до кількох тижнів, залежно від використовуваного водофіксатора. Для цього вимірювання використовували прискорене старіння в печі, встановлений на 105°C протягом 15 хвилин.

Після кожного вимірювання горизонтальну смугу витирали насухо перед розміщенням наступного зразка. Для отримання правильного результату для кожного зразка значення сили розриву в мокрому стані ділили на 2.

Міцність на розтяг у мокрому стані розраховували за такою формулою:

$$S = \frac{F}{w_i} \times 10^3; \quad (2.4)$$

де S – міцність на розрив (Н/м);

F – середня максимальна сила розтягування (Н);

w_i – початкова ширина досліджуваного зразка (50 мм).

Для кожного типу паперу було проведено по п'ять вимірювань деформаційних властивостей у поперечному та поздовжньому напрямках. Остаточний результат надавався як середнє значення десяти вимірювань і виражався в Н/м.

Вимірювання м'якості проводилися за допомогою приладу TSA фірми Emtec Electronics (рис. 2.12) [124].

Для проведення випробувань були використані ті ж зразки, що й під час визначення маси та товщини, оскільки це були неруйнівні випробування.



Рис. 2.12. TSA - аналізатор тактильних відчуттів [124]

Випробування проводили на стороні паперу, що контактує з поверхнею циліндра Yankee під час виробничого процесу. Зразок розміщували в вимірювальному полі приладу з досліджуваною стороною догори та фіксували затискним кільцем. На наступному етапі розраховували індекс HF. Випробування на м'якість був виконаний для шести різних зразків, взятих з кожного тестованого продукту.

Основним методом оцінки поглинальної здатності санітарно-гігієнічного паперу є капілярне поглинання, яке здійснювалося за методом Клемма (ISO 8787) [94]. Поглинальну здатність оцінюють шляхом вимірювання капілярного, об'ємного та поверхневого поглинання. Кожен з цих показників відображає окремий аспект поглинальної здатності паперу: капілярне поглинання характеризує швидкість поглинання; об'ємне — здатність утримувати вологу; а поверхнева – здатність паперу до намокання.

2.2.5. Методика проведення енергодисперсійного рентгенофлуоресцентного та термогравіметричного аналізу

Енергодисперсійний рентгенофлуоресцентний аналіз було проведено за допомогою спектрофотометра Elvax компанії «Елватех». Цей метод призначений для визначення масових часток елементів з атомними номерами від 11 до 92 в гомогенних зразках невідомого складу. Він дозволяє аналізувати склад шару матеріалу об'єкта при товщині від 10 мкм до 1 мм. Принцип РФА полягає

у збудженні атомів об'єкта за допомогою зовнішнім джерелом іонізованого випромінювання та реєстрації характеристичного вторинного рентгенівського випромінювання атомів. Енергія цього випромінювання пов'язана з атомною структурою певних хімічних елементів [125].

Для термічного аналізу було використано дериватограф Q-1500D системи «Паулік – Паулік – Ердей» для дослідження зразків паперу та фарбової композиції з домішкою люмінофору. Комп'ютерна реєстрація аналітичного сигналу здійснюється під час аналізу втрати маси та теплових ефектів. Зразки аналізувалися в динамічному режимі зі швидкістю нагрівання 5 °C/хв у середовищі повітря. Паперові зразки серветок становили масу 50 мг, а еталонною речовиною використали алюміній оксид Al_2O_3 [125].

2.2.6. Методика дослідження органолептичних показників виробів тиссю

Для визначення органолептичних показників виробів тиссю було проведено низку спостережень згідно з ДСТУ 8862:2019 «Вироби з паперу санітарно-гігієнічної та побутової призначеності. Технічні умови» [126].

Дослідження органолептичних показників виробів санітарно-гігієнічного призначення відбувалося в лабораторії на кафедрі поліграфічних медійних технологій і пакування. Органолептичне дослідження проводилося на кожному зразку при денному світлі, з акцентом на зовнішній вигляд, колір і запах виробів, які були виготовлені з 100 % целюлозної сировини. Зовнішній вигляд, колір, запах та склад серветок оцінювали в першу чергу.

Методика дослідження органолептичних випробувань передбачала відбір п'яти зразків розміром $20,0 \pm 0,2 \times 10,0 \pm 0,2$ см з загальною площею поверхні 400 ± 12 см² [127].

Дослідження починається з візуального огляду сухих зразків паперу, під час якого оцінюються стан поверхні та колір. Для вимірювання запаху використовується водна витяжка з паперу: підготовлені три ємності 50 – 100 см³. Дві з них заповнюють дистильованою водою (контрольний зразок), а в третю

поміщають водну витяжку з досліджуваного зразка. Під час дослідження дегустатори відкрито нюхають контрольний зразок з однієї ємності, а потім злегка вдихають повітря з двох інших, попередньо струшуючи вміст кожної ємності [128].

Органолептична оцінка дає змогу оцінити загальний вигляд виробу та його якість. Використовуючи метод підрахунку балів, можна оцінити індивідуальні особливості цього товару.

Вимоги до зовнішнього вигляду визначалися згідно з ДСТУ 8862:2019, який також використовувався для дослідження поверхневого та капілярного водопоглинання [126]. Метод визначення поверхневого поглинання води полягає у проведенні порівняльного дослідження структурних властивостей паперу, що використовувався для виготовлення вологостійкого, водо- та жиронепроникного санітарно-гігієнічного паперу з целюлози. Було досліджено п'ять зразків паперу з різною кількістю шарів, які занурювали в різні водні розчини, такі як звичайна вода, вода з гліцерином та олія. Поглинальну здатність оцінюють шляхом вимірювання капілярного, об'ємного та поверхневого поглинання. Кожен з цих показників відображає окремий аспект поглинальної здатності паперу: капілярне поглинання характеризує швидкість вбирання, тоді як поверхнєве поглинання вказує на здатність паперу до намокання. Згідно з нормативною документацією, одношарові серветки повинні мати капілярну вбирну здатність не менше ніж 20 мм.

Для визначення міцності та розтягування у різних напрямках, як у сухому, так і у вологому стані, використовується метод руйнівного зусилля за двома напрямками відповідно до ДСТУ 8862:2019 [126]. Для багатошарових виробів руйнівне зусилля в сухому та вологому стані визначається на зразках, отриманих з самого виробу. Для випробувань у вологому стані використали десять зразків: з кожного одношарового виробу вирізають по три зразки, а з багатошарових – по одному. Тестування проводилося у машинному та поперечному напрямках. Час витримування зразків у воді становить (30 ± 2) секунди. Одночасно в затискачах розривної машини закріплюють три вологих зразки одношарових виробів.

Результати випробувань фіксуються у вигляді середнього арифметичного значення всіх вимірювань [129].

Лабораторне вимірювання маси санітарно-гігієнічного виробу було проведено з метою отримання точних результатів відповідно до стандарту ISO 12625-1:2016 [130], що регламентує визначення маси паперу та тканинних виробів. Зважаючи на специфіку санітарного паперу, підготовлені для випробувань зразки склалися з одного, двох та трьох шарів.

Зважування зразків здійснювалося на лабораторних вагах А500, які можна побачити на рис. 2.13 [131].



Рис. 2.13. Лабораторні ваги А500

Для визначення маси 1 м² паперу використано по 3 зразки кожної серветки розміром 10×10 см. Кожен зразок зважили на лабораторних вагах з точністю до 0,01 г. Після цього розраховали середню масу паперового квадрата і отримане значення помножили на 100, щоб визначити масу 1 м² паперу [130].

$$d = \frac{m}{h \times 1000}; \quad (2.5)$$

де d – густина паперу, г/см³;

m – маса 1 м², г;

h – товщина, мм.

Для вимірювання товщини серветок використовували товщиномір ТИБ з точністю до 0,01 мм. Методика досліджень передбачала визначення товщини виробів тиссю відповідно до стандарту ДСТУ EN 20534:2005 [132]. На рис. 2.14 нижче представлений товщиномір ТИБ.



Рис. 2.14 Товщиномір ТИБ

Для проведення випробувань використовувалися ті ж зразки, що й під час визначення маси, оскільки це були неруйнівні випробування. Для кожного шару було виконано 3 вимірювання, а кінцевий результат подано як середнє значення 3 вимірювань.

Пухкість ($\text{см}^3/\text{г}$) виробів тиссю розраховували як величину, обернену густині:

$$\Pi = \frac{1}{d}, \quad (2.6)$$

де d – густина паперу, $\text{г}/\text{см}^3$.

2.2.7. Методика визначення важливості та пріоритетних факторів впливу на вироби тиссю та узгодженості думок експертів

Методика дослідження узгодження думок передбачала врахування думок

11 експертів (фахівців у виробництві), ранжування факторів за їх важливістю та присвоєння їм рангів від 1 до 9, з використанням коефіцієнта конкордації М. Кендалла:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (2.7)$$

де m – число експертів;

n – число факторів;

S – сума рангів квадратів різниць (відхилення від середнього).

Суму квадратів різниць рангів (S) можна знайти за будь-якою з наступних формул:

$$W = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m R_{ij} \right)^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{ij})^2}{n}, \quad (2.8)$$

$$S = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n A_{ij} - \frac{1}{2} m(n+1) \right)^2. \quad (2.9)$$

Коефіцієнт конкордації W змінюється від 0 до 1: $0 \leq W \leq 1$. Значення $W=0$ вказує на повну неузгодженість, тоді як $W=1$ свідчить про повну єдність думок експертів. Якщо $W < 0,2-0,4$, то це свідчить про слабку узгодженість експертів; якщо $W > 0,6-0,8$, то узгодженість експертів є сильною. Значення $W=0,6$ демонструє помірну ступінь узгодженості думок експертів.

Слабка узгодженість зазвичай виникає через відсутність спільних думок у групі експертів, а також існуванням в середині групи високої узгодженості думок, однак узагальнені думки коаліцій є протилежними.

Для визначення важливості факторів та їх пріоритетного впливу на експериментальні вироби тиссю використовували метод аналізу ієрархії Т. Сааті [133] та теорію нечітких множин [134, 135, 136].

Для визначення коефіцієнта конкордації враховувалися думки 11 експертів щодо пріоритетності 9 важливих факторів, які впливають на якість друкованих зображень [137]. Статистичну обробку отриманих результатів дослідження проводили з допомогою статистичних методів, реалізованих у пакеті програм STATISTICA v.10.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Обґрунтовано вибір об'єктів дослідження, а саме відбитків флексографічного друку на двошарових паперах тиссю та відбитків цифрового (ink-jet) друку на тришарових виробів тиссю марки Nuchtemeier Papier GmbH з 100% целюлози.

2. Описані методи дослідження топографії поверхні відбитків на паперах тиссю з використанням електронної та оптичної мікроскопії; денситометричних, колориметричних та експлуатаційних показників друкарських відбитків; термогравіметричного та енергодисперсійного рентгенофлуоресцентного аналізу; визначення поверхневого всотування та капілярності виробів тиссю; дослідження органолептичних показників та визначення ступеня узгодженості думок експертів.

3. Запропоновано метод удосконалення технології оздоблення виробів тиссю шляхом отримання люмінесцентних зображень методом цифрового струменевого друку з використанням водних фарб флексографічного друку з додаванням до фарб люмінофору в кількості від 10 до 30%.

4. Для достовірності отриманих результатів експериментальних досліджень здійснювали по 5–11 паралельних замірів. Статистичну обробку результатів дослідження проводили з використанням методів статистики, реалізованих у пакеті програм STATISTICA v.10 та Microsoft Office Excel.

РОЗДІЛ 3

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ДРУКУВАННЯ НА ЯКІСТЬ ВІДБИТКІВ НА ПАПЕРІ ТИССЮ

3.1. Дослідження денситометричних та колориметричних показників відбитків на папері тиссю

На основі результатів дослідження відбитків флексографічного друку побудовані залежності показників оптичної щільності повноколірних зображень і насиченістю кольору (див. рис.3.1). Чим насиченіший колір, тим більше фарби міститься на поверхні відбитку, що в свою чергу, призводить до збільшення оптичної щільності надрукованого зображення. Таким чином, насичені кольори є більш яскравими на друкарському відбитку. У діапазоні від 50 до 100 % оптична густина надрукованого зображення для всіх кольорів СМУК зростає майже вдвічі. Зокрема, для чорної фарби оптична щільність у зазначеному діапазоні зростає від 0.72 до 1.4 відн. од., для фарби Y – від 0.63 до 1.2 відн. од., для фарби С – від 0.58 до 1.6 відн. од., для фарби М – від 0.73 до 1.24 відн. од. [49, 125].

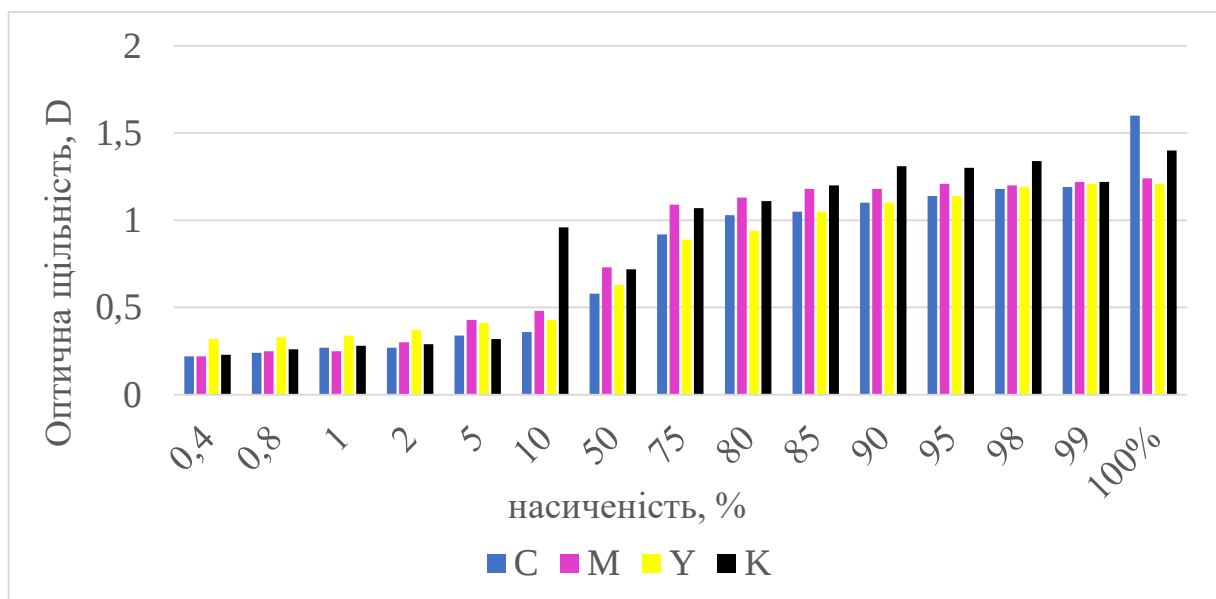


Рис. 3.1. Діаграми оптичної щільності повноколірного відбитка
флексографічного друку на папері тиссю

На рис. 3.2 представлені діаграми залежності оптичної щільності відбитків цифрового друку від насиченості кольору. Аналіз цих діаграм показує, що оптична щільність відбитка цифрового друку пропорційно зростає з підвищенням насиченості кольору. Зокрема, при максимальній насиченості фарби (100%) спостерігається значне збільшення оптичної щільності відбитка, за умови незмінності структури субстрату та режимах друку [125].

Дослідження показників якості відбитків цифрового друку на папері тиссю проводилося з урахуванням задруковування повноколірного зображення. Значення оптичної густини відбитків наведені табл. 3.2.

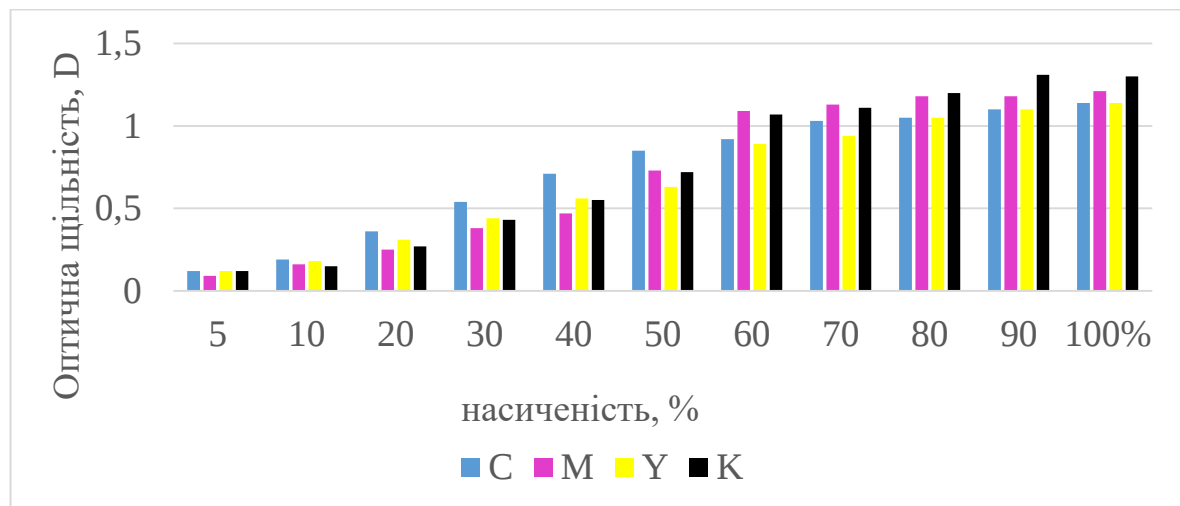


Рис. 3.2. Діаграми оптичної щільності повноколірного відбитка цифрового друку на папері тиссю

Дослідження показали що, оптична густина відбитка флексографічного друку на 21% більша, ніж на відбитку цифрового друку при 100% насиченості кольорів СМУК (рис. 3.3). Насиченість та колірний тон залежать від спектрального складу випромінювання і умов спостереження, тому навіть незначні зміни в цих параметрах можуть призвести до зміни кольору.

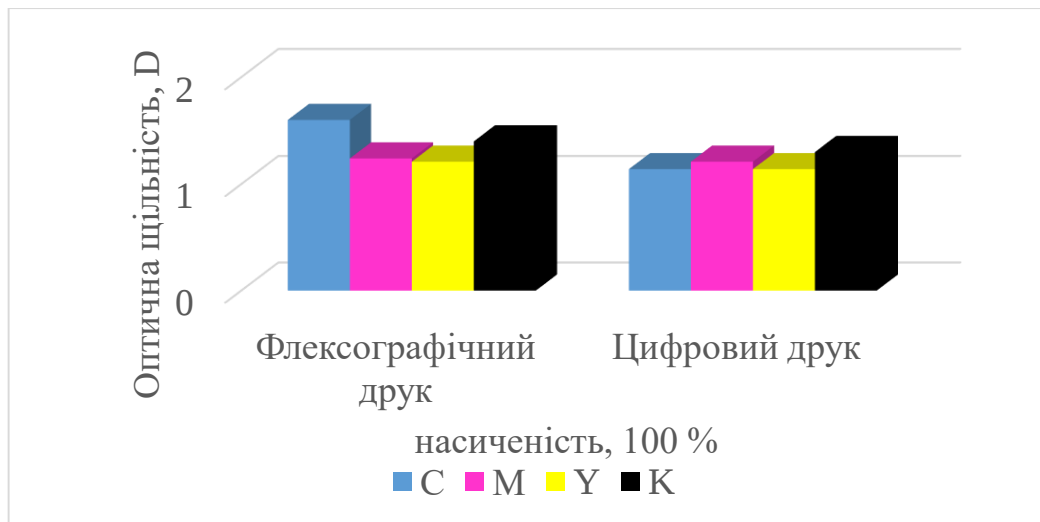


Рис. 3.3. Діаграма оптичної щільності флексографічного та цифрового друку при насиченості кольору 100%

Якість друку значною мірою залежить від підготовчих етапів, виконаних на додрукарській стадії, обраного способу друку та обладнання, яке використовується, а також властивостей матеріалів. Через специфіку флексографічного друку величина розтискування набагато вища, ніж в інших видах друку (особливо це помітно в області півтонів).

Аналіз денситометричних досліджень підтвердив, що оптична щільність друкарського відбитка змінюється залежно від виду друку і насиченості зображення. Отримані результати підтверджені шляхом мікроскопічних досліджень структури контрольного зразка серветки.

Як виявлено [138], одними з найважливіших показників якості цифрового зображення є передача кольору. На основі цього було створено моделі пріоритетності впливу факторів для досягнення оптимальної кольоропередачі. Важливо враховувати, що метод вимірювання може впливати на кінцевий результат, тому доречно використовувати точковий або частковий метод вимірювання.

У табл. 3.1 наведені значення різниці кольорів ΔE для надрукованих зображень на досліджуваних відбитках.

Таблиця 3.1

Різниця кольорів СМҮК утворених при послідовному накладанні фарб на відбитку (при 100% насиченні зображення)

Флексографічний друк	Цифровий друк
$\Delta E\ C= 2,26$	$\Delta E\ C=1,22$
$\Delta E\ M= 4,48$	$\Delta E\ M=2,13$
$\Delta E\ Y=2,62$	$\Delta E\ Y=1,17$
$\Delta E\ K=1,09$	$\Delta E\ K=2,06$
	

Дослідження показують, що різниця кольорів на відбитку цифрового друку зростає від фарби Y (1,17%) до фарби M (2,13%). У випадку флексографічного відбитку спостерігається інша картина – різниця кольорів збільшується від фарби K (1,09%) до фарби M (4,48%).

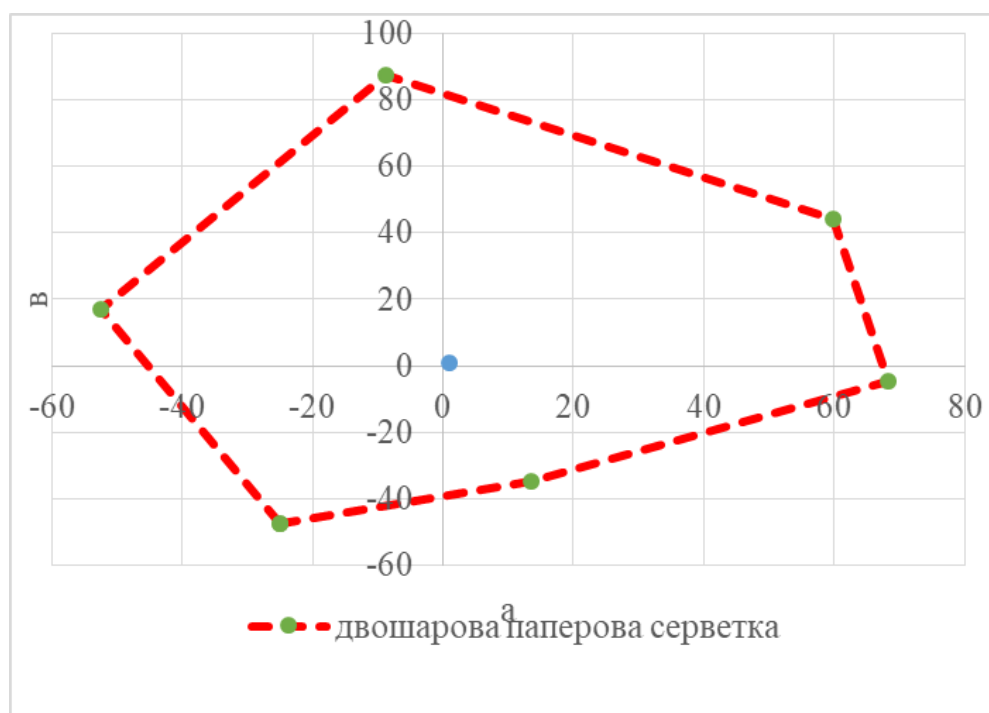
Результати вимірювання координат кольору $L^*a^*b^*$ на відбитках флексографічного та цифрового ink-jet друку представлені в табл. 3.2. Якість відбитків цифрового друку порівнювалася за стандартом ISO 12647, аналогічно до офсетного друку.

Таблиця 3.2

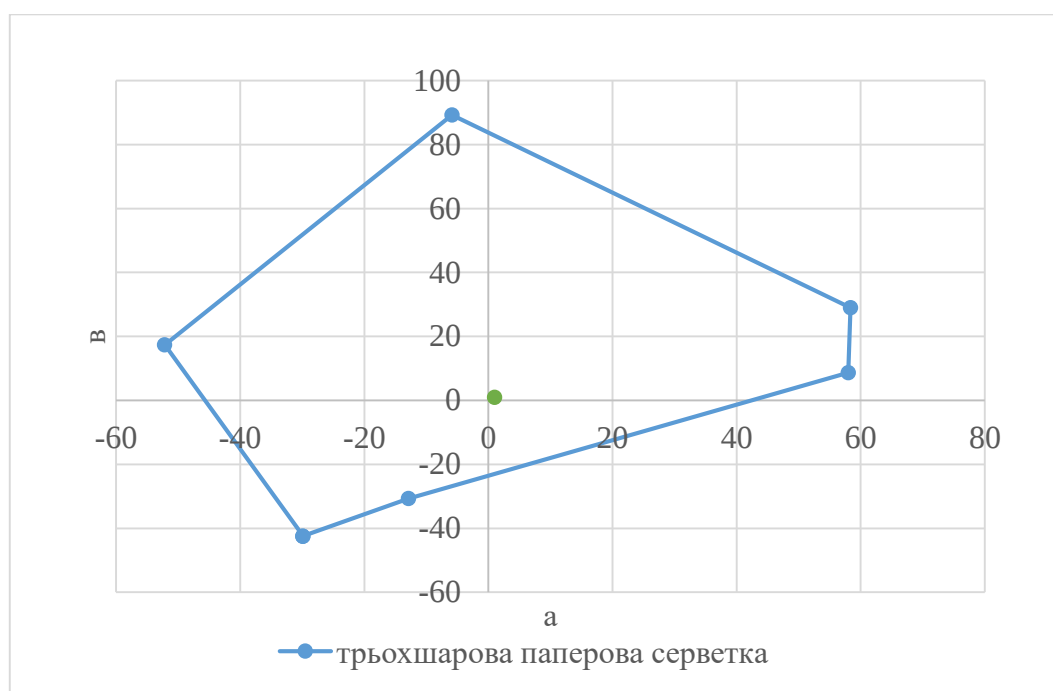
Координати кольору $L^*a^*b^*$ на відбитках

Матеріали для друкування	Коор- динат кольо- ру	Колірні характеристики						
		Г	С	П	Ч	Ж	З	Г
Двошарова паперова серветка (флексо- графічний друк)	а	-24,97	13,44	68,3	59,9	-8,86	-52,45	-24,97
	в	-47,75	-34,66	-4,46	44,15	87,68	17,02	-47,75
Тришарова паперова серветка (цифровий друк)	а	-29,87	-12,84	58,02	58,37	-5,86	-52,15	-29,87
	в	-42,44	-30,67	8,69	29,02	89,24	17,39	-42,44

Діаграми кольорового охоплення відбитків на паперових серветках представлені на рис. 3.4.



а



б

Рис. 3.4. Діаграма колірнього охоплення $L^*a^*b^*$ відбитків, надрукованих на: а – флексографічній; та б – цифровій машині

Дослідження колірнього охоплення всіх перевірених зразків показало, що їх колірні координати знаходяться в межах нормативного діапазону відповідно до стандарту ISO 12647. Площа кола кольорового охоплення на відбитку

флексграфічного друку (а) значно більша за площу колірної гамми цифрового друку (б). Чим ширша колірна гамма, тим більше значення $L^*a^*b^*$. Допуски для колориметричних тріадних та спеціальних фарб показують, що допустиме відхилення для чорного кольору знаходиться в межах норм: $L < 5$, для cyan $L < 3$, для кольорів magenta і yellow – $L < 6$. Для всіх кольорів СМΥК зміна відхилень $\Delta E_{E_{2000}} < 2$ [125].

Результати вимірювань товщин ліній на віддрукованій шкалі в ділянках зображення на флексграфічних та цифрових відбитках показано в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Значення товщини ліній на відбитках (мм)

Флексографічний друк												
0,1	0,2	0,25	0,3	0,5	0,75	1,0	2,0	3,0	5,0			
Основа біла												
0,14	0,22	0,37	0,47	0,54	0,84	1,02	2,07	3,34	5,35			
Цифровий друк												
0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,5	1,8	1,9	2,0
Основа біла												
0,12	0,26	0,36	0,46	0,52	0,74	0,9	1,03	1,20	1,52	1,82	1,91	2,1

Аналіз відтворення шрифтових елементів на досліджуваних виробах тиссю показав, що товщини ліній, відтворених флексграфічним друком, мають менші відхилення від норм, ніж на відбитках цифрового друку. Це, очевидно пов'язане з різними механізмами закріплення водорозчинних фарб на паперах тиссю при флексдруці та цифровому друці [125].

Мінімальний кегль шрифтів (розмір в пунктах) в обох способах друку є нечитабельний і не має чіткого відтворення, про що свідчить присутність «запливів» елементів та розривів літер.

Отже, результати денситометричних досліджень підтверджують, що на спосіб друку впливає на показники кольоровідтворення зображень. Серед

різноманітних технологій друку, які використовуються для відтворення текстової інформації та зображень на виробх тиссю, особливо варто виділити флексографічний та цифровий друк. Як було зазначено, на якість друку впливають численні фактори, які залежать від обраної технології нанесення зображень, характеристик задрукованої поверхні та її властивостей тощо [139, 140].

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень була розроблена ієрархічна структурна схема, яка охоплює показники якості відбитків на паперах тиссю (рис. 3.5).

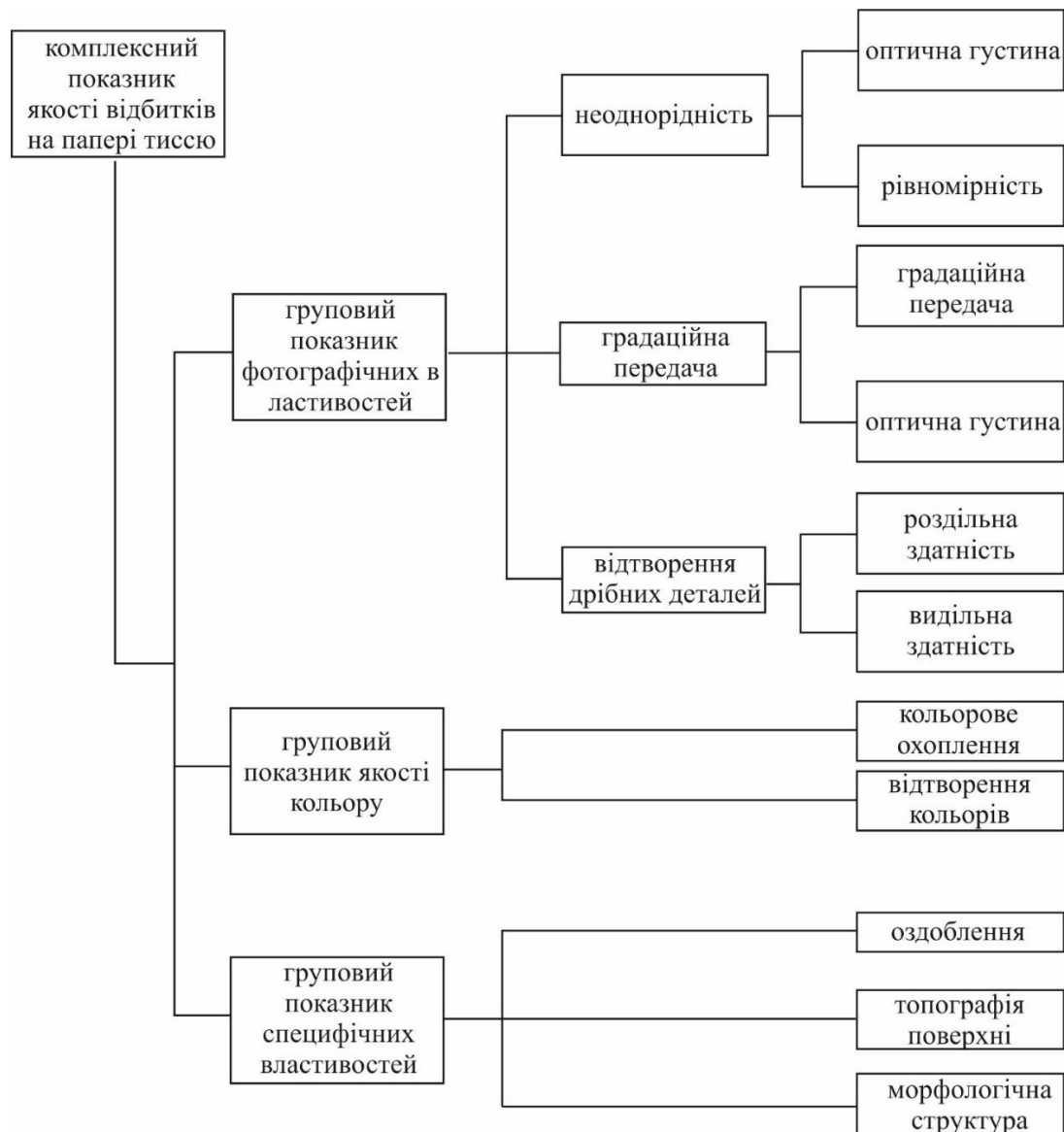


Рис. 3.5. Ієрархічна структурна схема показників якості відбитків на папері тиссю

До показників фотографічних властивостей, які характеризують відтворення деталей зображення, належать неоднорідність друку, градаційна точність та відтворення дрібних деталей. Неоднорідність друку зазвичай пов'язують із рівномірністю продруковування плашки (рівномірність друку) та наявністю сателітів і марашок, що в цифровому друці визначається значенням оптичної густини фону. Градаційна точність, залежить від способу передачі напівтонів і рівня оптичної густини зображення.

Контроль відтворення дрібних деталей рекомендується здійснювати за роздільною здатністю відтворюваних цих деталей. Передавання тонів зображення визначають за колом кольорового охоплення. Стан поверхні відбитку також впливає на якість відтворення. У цифровому та флексографічному друці важливу роль відіграють специфічні показники, характерні для цих технологій, такі як адгезія фарби (чорнила) до паперу та топографія поверхні задрукованого матеріалу тощо.

Комплексний показник якості передбачає не лише візуальну експертну або інструментальну оцінку виробу, але й аналіз взаємозв'язків між стадіями технологічного процесу, властивостями матеріалів та учасниками виробничого циклу. Такий підхід базується на моделі «Коло якості зображень» (рис. 3.6).

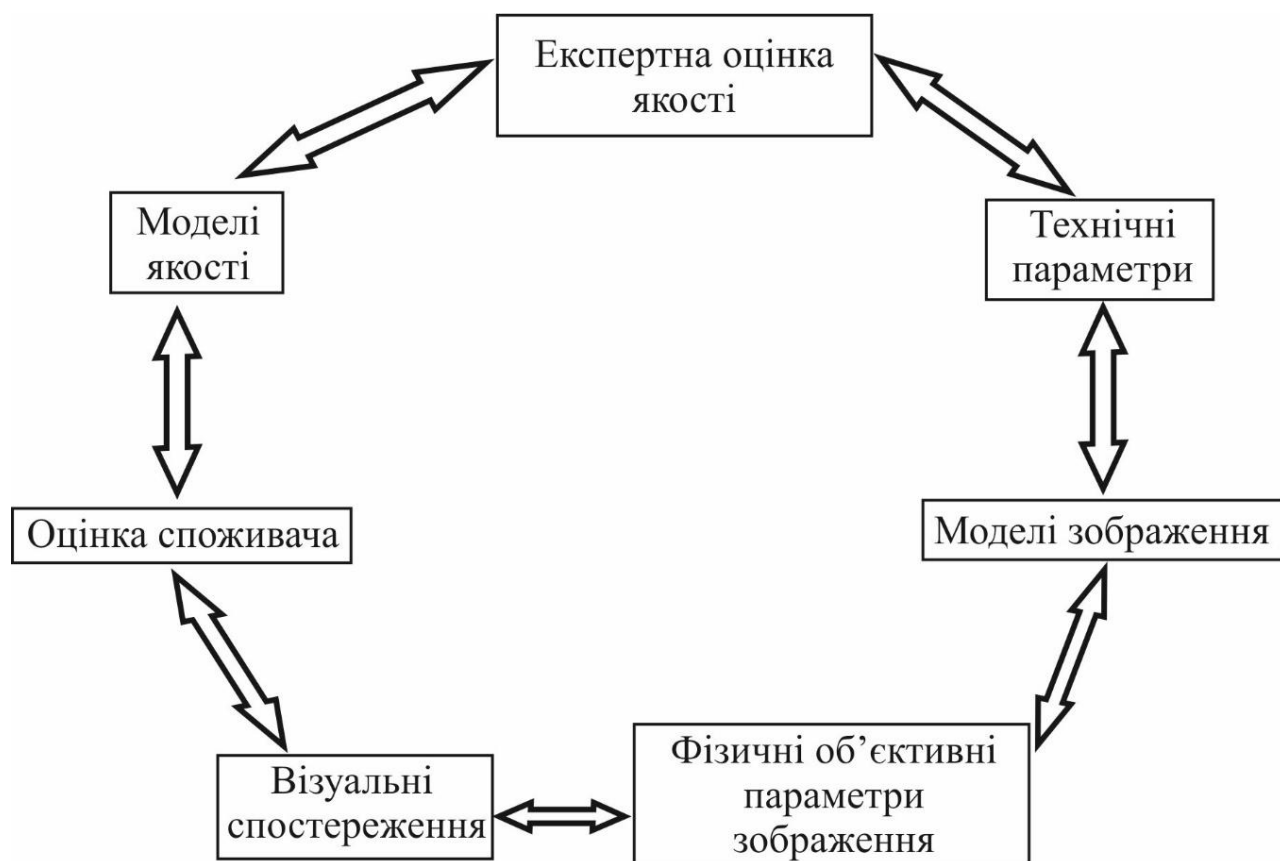


Рис. 3.6. Структурна модель «Коло якості надрукованих зображень»

Як можна представити, кожна група параметрів пов'язана між собою певними моделями або алгоритмами: моделі надрукованих зображень, моделі представлення оригіналу, моделі якості відбитків. Тому аналіз якості можна починати з будь-якої позиції і напрямку. На рис. 3.7 представлено схему процесу забезпечення якості відбитків на папері тиссю.

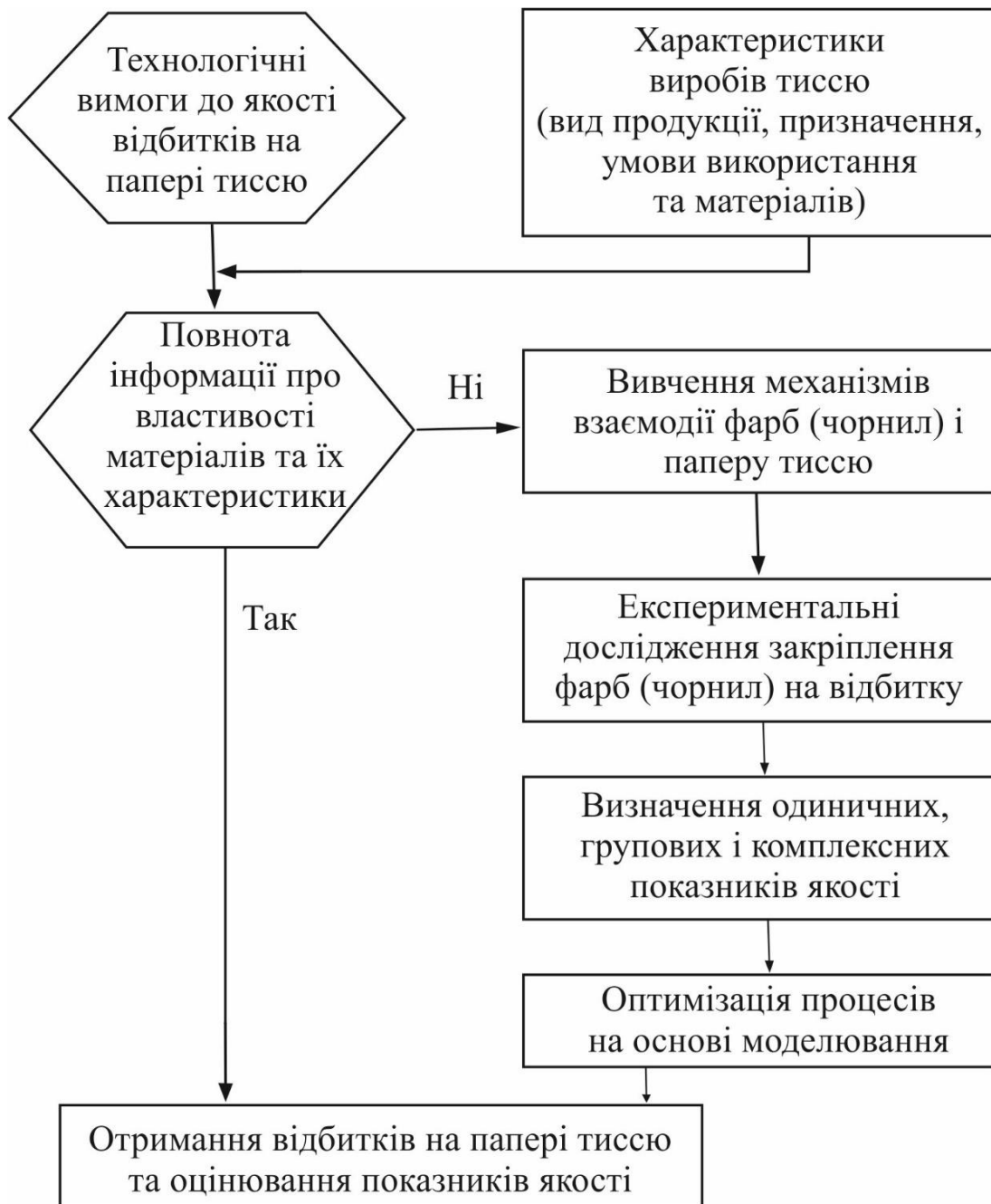


Рис. 3.7. Алгоритмічна структурна схема процесу забезпечення якості відбитків на папері тиссю

3.2. Дослідження впливу ємності анілоксового валика на якість відбитків флексографічного друку на папері тиссю

Як відомо, анілоксівий валик є однією з важливих складових фарбоживильних систем флексографічних друкарських машин і виконує важливу роль у дозуванні фарби. Тому при виборі анілоксівого валика для

конкретного застосування необхідно враховувати його основні характеристики, оскільки вони можуть вплинути на процес фарбоперенесення, зокрема на рівномірність і товщину фарбового шару на поверхні матеріалу, що задруковується [141].

До сновних характеристик анілоксових валиків належать: ємність валика, $\text{см}^3 / \text{м}^2$, лініатура растру (лін/см), що визначає кількість комірок на один лінійний сантиметр; кут растру (60° , 45° , 30° тощо), який показує кут розташування комірок відносно осі; а також геометрію комірок, що охоплює їх форму, глибину, фарбоємкість, кут нахилу стінок, співвідношення товщини стінки комірки до кроку растру та співвідношення ширини комірки до її глибини. Лініатура валика-анілокс визначається так, щоб розмір найменшого друкарського елемента перевищував діаметр комірки, зазвичай у три рази більший за лініатуру друкарської форми. Це запобігає заглибленню друкарського елемента в комірку з фарбою, що, в свою чергу запобігає перенесенню надлишкової кількості фарби на задруковуваний матеріал [142].

У процесі фарбоперенесення важливо отримати якомога тонший шар фарби на відбитку, оскільки за рахунок тонких шарів фарби легше зменшити розтискування крапки та збільшити якість зображення. Кількість фарби, що переноситься з комірки валика, пропорційна фарбоємкості цієї комірки. Зі збільшенням фарбоємкості валика зростає оптична щільність фарбового шару на відбитку, колір стає насиченішим, а шар покривного матеріалу – товстішим.

Типовими формами ізольованих комірок анілоксового валика є квадратними та шестигранними. Відомі квадратні комірки з кутом растру 45° та шестигранні комірки видовженої форми, подібні до комірок з кутом растру 60° , за винятком того, що вони є сильно видовженими, а отже, переносять більший об'єм фарби. Анілоксові валики класифікуються за формою комірок та растровою структурою (ізольована, канална), які впливають на їх вибір для друку різних видів продукції.

Аналіз наукових досліджень українських та закордонних вчених [143, 144, 145] дозволяє стверджувати, що неправильний вибір характеристик анілоксових

валів, відповідно до друкарської фарби та відтворюваного зображення, може призвести до нестабільності друкарського процесу, порушення кольоровідтворення та виникнення дефектів на відбитках. Тому ряд дослідників вивчали фактори впливу на фарбоперенесення у флексографічному друці. Однак поява великої кількості сучасних анілоксових валиків з різноманітними характеристиками поверхонь ускладнює їх вибір для конкретного застосування. Важливо виявити закономірності впливу факторів для стабілізації процесу друку, забезпечення рівномірної товщини шару фарби або іншого покривного матеріалу, а також для точного прогнозування кольоровідтворення.

Однак відсутні глибокі дослідження впливу фарбоємкості анілоксових валиків на процес фарбоперенесення при друкуванні на паперах тиссю. У зв'язку з цим були проведені дослідження показників якості (координат кольору Lab) флексографічного друку на паперових серветках (табл. 3.4—3.5). Друк здійснювався на прободрукарському станку «Flexiproof 100» з використанням керамічного анілоксового вала з ємністю $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ та $5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$.

Таблиця 3.4

Значення координат кольору Lab на відбитку з використанням
анілоксового вала $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$

	C -100%	M-100%	Y-100%	K-100%
L	57,40	60,33	-89,1	45,94
a	-8,15	43,02	-2,34	0,98
b	-38,35	– 0,10	66,52	-0,90

Таблиця 3.5

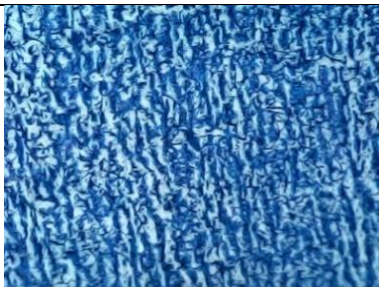
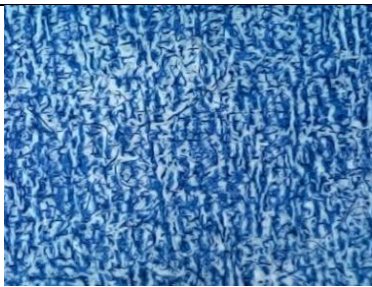
Значення координат кольору Lab на відбитку з використанням
анілоксового вала $5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$

	C -100%	M-100%	Y-100%	K-100%
L	61,25	62,95	-89,7	45,13
a	-9,29	41,15	-3,31	1,09
b	-36,79	- 2,37	62,01	-1,19

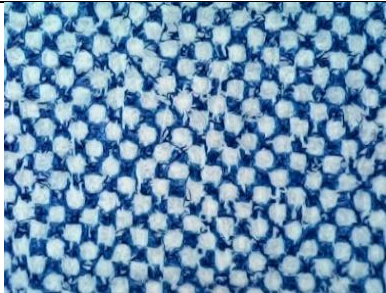
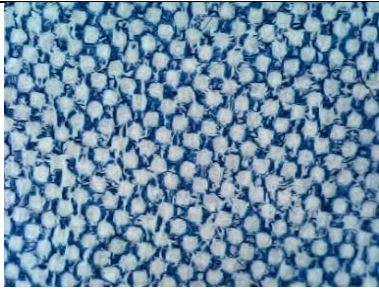
Згідно з даних координат кольору, найкраще фарбоперенесення забезпечує комірка з використанням анілоксового вала $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$, що наглядно підтверджують фотографії оптичної мікроскопії зразків серветок, відрукованих кольорами СМУК (табл. 3.6–3.9).

Таблиця 3.6

Фотографії оптичної мікроскопії відбитка на серветці (колір Суан)

Об'єм растрової комірки $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$	Об'єм растрової комірки $5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$	Збільшення зображення на цифровому USB- мікроскопі
100% насиченості		200x
		

Продовження таблиці 3.6

50% насиченості		60х
		
10% насиченості		10х
		

З табл. 3.6 видно, що висока якість друку була отримана при нанесенні кольору Суап, оскільки характеристики паперу тиссю для друку мають значний вплив на відтворення крапок.

Таблиця 3.7

Фотографії оптичної мікроскопії відбитка на серветці (колір Magenta)

Об'єм растрової комірки $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$	Об'єм растрової комірки $5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$	Збільшення зображення на цифровому USB- мікроскопі
100% насиченості		200х
		

Продовження таблиці 3.7

50% насиченості		60х
		
10% насиченості		10х
		

З табл. 3.7 видно, що нанесення кольору Magenta спричинило спотворення та розтікання багатьох точок.

Таблиця 3.8

Фотографії оптичної мікроскопії відбитка на серветці (колір Yellow)

Об'єм растрової комірки $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$	Об'єм растрової комірки $5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$	Збільшення зображення на цифровому USB- мікроскопі
100% насиченості		200х
		

Продовження таблиці 3.8

50% насиченості		60х
		
10% насиченості		10х
		

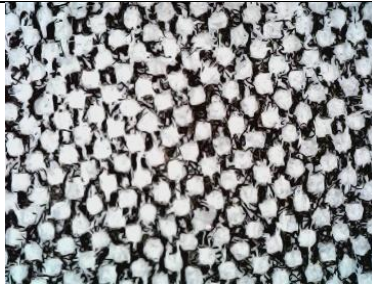
З табл. 3.8 видно, що при нанесенні кольору Yellow на відбитку була досягнута добра кольоропередачу.

Таблиця 3.9

Фотографії оптичної мікроскопії відбитка на серветці (колір Black)

Об'єм растрової комірки $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$	Об'єм растрової комірки $5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$	Збільшення зображення на цифровому USB- мікроскопі
100% насиченості		200х
		

Продовження таблиці 3.9

50% насиченості		60х
		
10% насиченості		10х
		

З табл. 3.6 – 3.9 видно, що найкраще фарбоперенесення забезпечує комірка з використанням анілоксового вала $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$, а при анілоксовому валі $5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ спостерігаються значні спотворення та розтікання кольору в багатьох точках. Якість відтворення зображення також залежить від рельєфності поверхні відбитка.

Візуальний аналіз отриманих фотографій показав, що не всі кольори СМУК відтворені добре. На зображеннях можна побачити такі дефекти, як непродруковування відбитка в зоні поверхні серветки, ефект Pinholing (поява плям непродруків на зображенні), а також брудний друк (розтискування), коли фарба витікає за межі друкарського елемента. Лінія штриха товщиною 0.5 мм стає вдвічі грубшою, спостерігається надмірний приріст растрових пунктів, а також брак растрових пунктів (малі растрові елементи не продруковуються).

Якщо розмір друкуючого елемента менший за площу валика, фарба провалюється в цю комірку і наноситься за межі зображення. В результаті на відбитку замість растрової крапки (точок) певного розміру утворюється пляма, що призводить до так званої «інверсної тонопередачі».

Результати дослідження пробних відбитків флексографічного друку підтвердили, що недотримання оптимального тиску при друкуванні призводить до розтискування растрових крапок, зміни контрасту зображення. Оптична щільність оптимальних відбитків визначає якість відбитків.

На рис.3.10 показано фотографії відтворення графічних зображень на відбитках виробів тиссю.

Таблиця 3.10

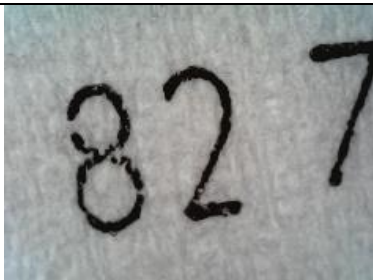
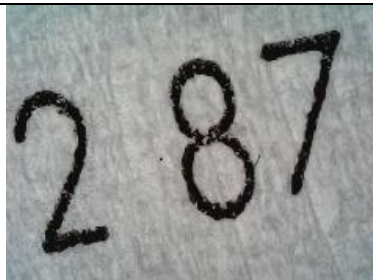
Фотографії оптичної мікроскопії відтворення графічних зображень (букви N, n та цифри 2) кольорами СМҮК на паперовій серветці

	6 cm ³ /m ²	5 cm ³ /m ²
С		
		
		
М		

Продовження таблиці 3.10

					
					
					
Y					
					
					
K					

Продовження таблиці 3.10

К		
		

Результати вимірювань відтворення штрихових елементів на друкарському відбитку тиссю на кожному кольорі виявили, що деякі ділянки штрихів були непродруковані. Це призводить до спотворення дизайну, роблячи зображення менш чітким, або дуже тонкі лінії можуть взагалі не надрукуватись або виглядати перервано, як це помітно в табл. 3.10. Непродруковування малих растрових елементів часто виникає через брак растрових пунктів, особливо в зоні заглиблення на паперах тиссю. Причинами виникнення даного ефекту можуть бути жорсткий друкарський циліндр, недостатній тиск друку, неправильний тиск фарби (анілоксовий валик) або зношення друкарської форми.

Аналіз оптичної мікроскопії відбитків на папері тиссю (табл. 3.10) показав, що фарба, під дією тиску і швидкості нерівномірно проникає в структуру волокон паперу. Досліджено виявило, що чим вища пористість волокна, тим глибше фарба проникає у структуру поверхні, і очевидно, що якісним буде надруковане зображення.

Отже, результати мікроскопічних досліджень підтверджують, що розмір комірок анілоксового валика впливає на якість надрукованого зображення.

3.3. Дослідження оздоблення відбитків на паперах тиссю люмінесцентними фарбами

Сьогодні особливу увагу приділяють використанню матеріалів з особливими властивостями. Це, зокрема, фарб, які можуть бути видимих або невидимих при денному світлі, а також фарб з люмінесцентними домішками, які проявляються під дією тепла або холоду. Популярними є фарби з люмінесцентними (флуоресцентними) домішками. Зазвичай такі фарби складаються з барвників (пігментів), сполучних речовин, допоміжних засобів, добавок і розчинників. У темряві зображення, надруковане такою фарбою, починає віддавати накопичену енергію протягом дня або під штучним освітленням. Флуоресцентні пігменти перетворюють енергію, поглинаючи ультрафіолетові промені та короткохвильові компоненти видимого світла, а потім випромінюють видимі промені з максимумом у довгохвильовій частині спектру. Це призводить до того, що відбиті промені стають у 1,5 – 2 рази яскравішими, ніж у звичайних пігментів.

Як відомо, для виникнення флуоресценції необхідно перевести частинки досліджуваної речовини з нормального в збуджений стан і забезпечити його збереження протягом часу, необхідного для здійснення електронного переходу при поверненні центрів світіння у збудженому стані. Яскравість і тривалість світіння є суб'єктивними і залежать від властивостей людського ока. Проте існує ряд факторів, які можуть впливати на цей процес:

- тип люмінофора;
- температура і світло навколишнього середовища;
- наявність домішок у складі фарб;
- індивідуальний особливості зору людини;
- яскравість і тривалість попередньої "зарядки" світлом.

Оптимальними умовами для флюоресценції є зарядка яскравим світлом протягом 1–2 години. Після цього спостерігається післясвітіння без додаткових джерел світла. Однак цей ефект післясвітіння є нерівномірним: в перші 15–20 хвилин він є найяскравішим, а потім поступове зменшується до 20–30% від

початкової інтенсивності. Тривалість видимого світіння може досягати 12 годин. Додавання люмінесцентних наночастинок не створює негативного впливу на процес закріпленого фарбового покриття на відбитку [125].

На рис. 3.8 показані мікрофотографії відбитків основних кольорів, за допомогою водорозчинних фарб флексодруку з додаванням люмінофору (30%).

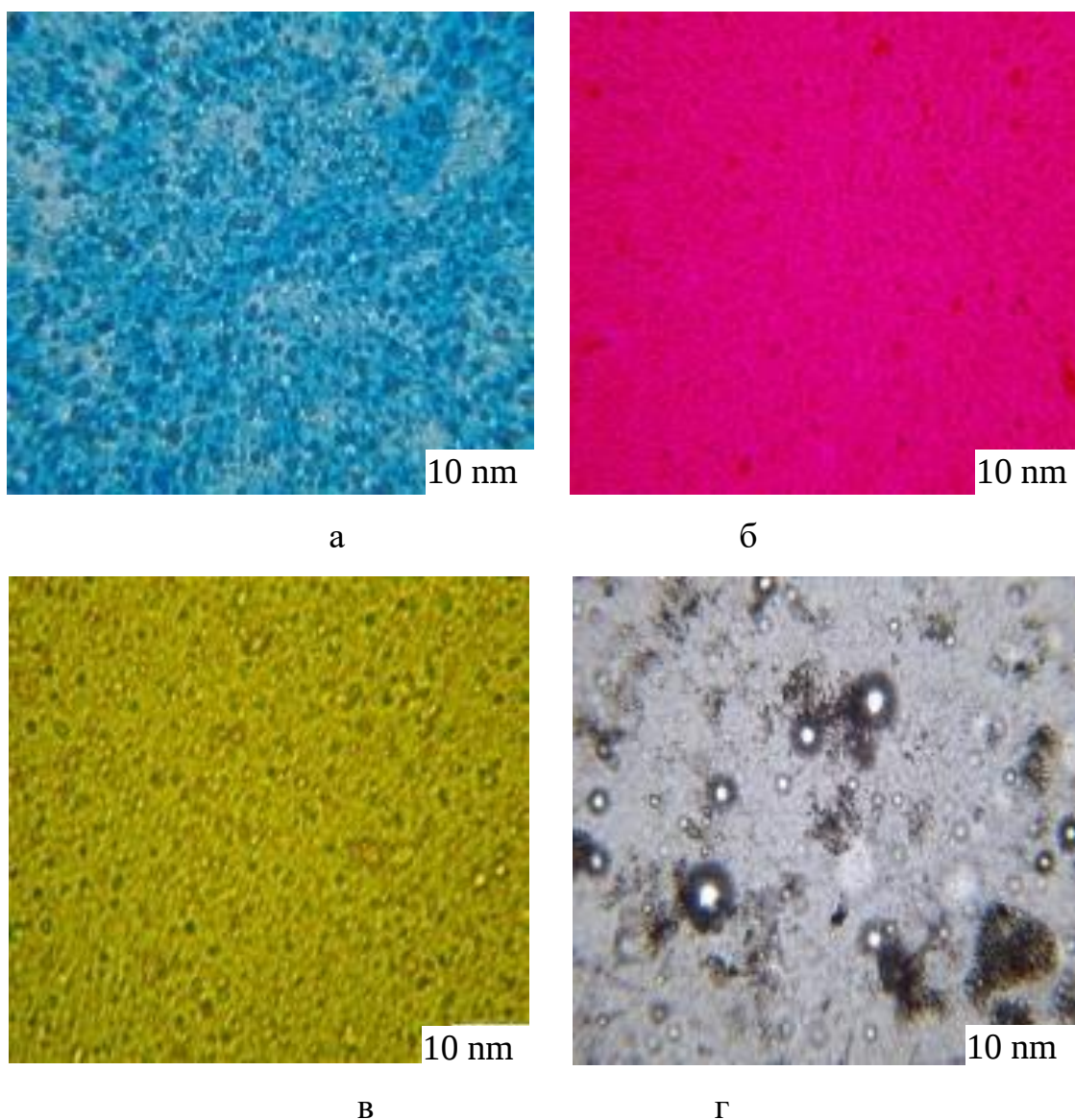


Рис. 3.8. Мікрофотографії відбитків, утворених флексографічними фарбами з люмінесцентними домішками (30%): а – cyan; б – magenta; в – yellow; г – black

Для отримання люмінесцентних зображень використовували люмінофор у концентрації від 10 до 30%. Якість надрукованого зображення оцінювали за яскравістю його світіння. На рис. 3.9 показано спектри свічення відбитків,

утворених флексографічною фарбою з додатком люмінофору.

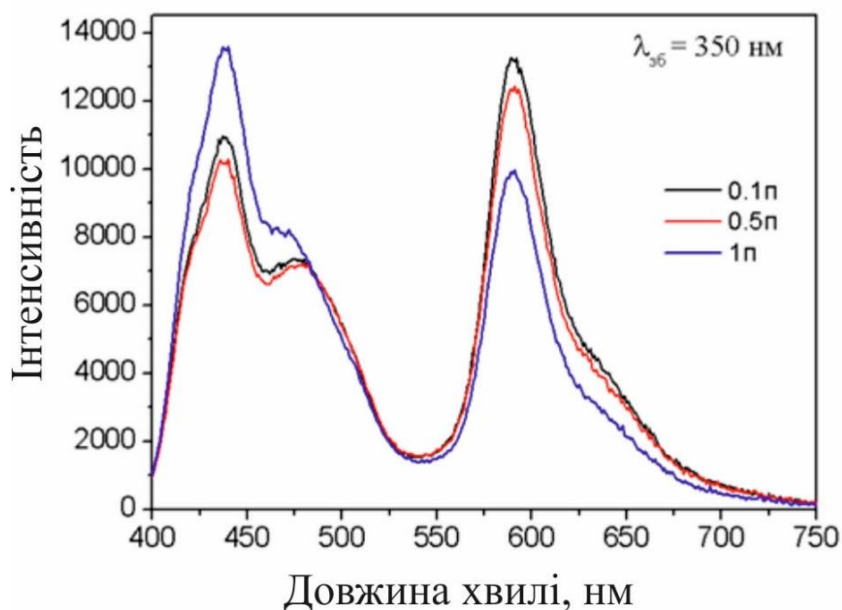


Рис. 3.9. Спектри свічення фарби з додатком люмінофору

Дослідження оптичної щільності відбитків для кожного кольору СМҮК показали, що жовтий колір має найнижче значення (1.21 – для 10% люмінофору; 1.36 – для 20%; 1.44 – для 30%). Найвищу оптичну щільність має відбиток чорного кольору (1.71 – для 10% люмінофору; 1.77 – для 20%; 1.91 – для 30%). При цьому оптична щільність зростає відповідно до збільшення вмісту люмінофора. Для відбитків суап оптична щільність з вмістом люмінофору змінювалася від 1.42 (10% люмінофору) до 1.62 (30% люмінофору), а для відбитків magenta – від 1.51 (10% люмінофору) до 1.68 (30% люмінофору). Значення оптичної густини для кожного кольору СМҮК виявилися різними.

Додавання люмінесцентних наночастинок до фарби спричиняє видимі зміни у сприйнятті кольору. Відмінності колірних характеристик відбитків засвідчують, що найбільше колірне охоплення має відбиток з 30 % люмінофора, тоді як найменше — з 10% наночастинок. Дослідження (рис. 3.10) показує, що максимальна різниця кольорів зафіксована для фарб суап та magenta, тоді як найменша різниця кольорів спостерігалася для чорної фарби. Збільшення кількості люмінесцентних наночастинок призводить до збільшення площі

колірного охоплення на відбитку.

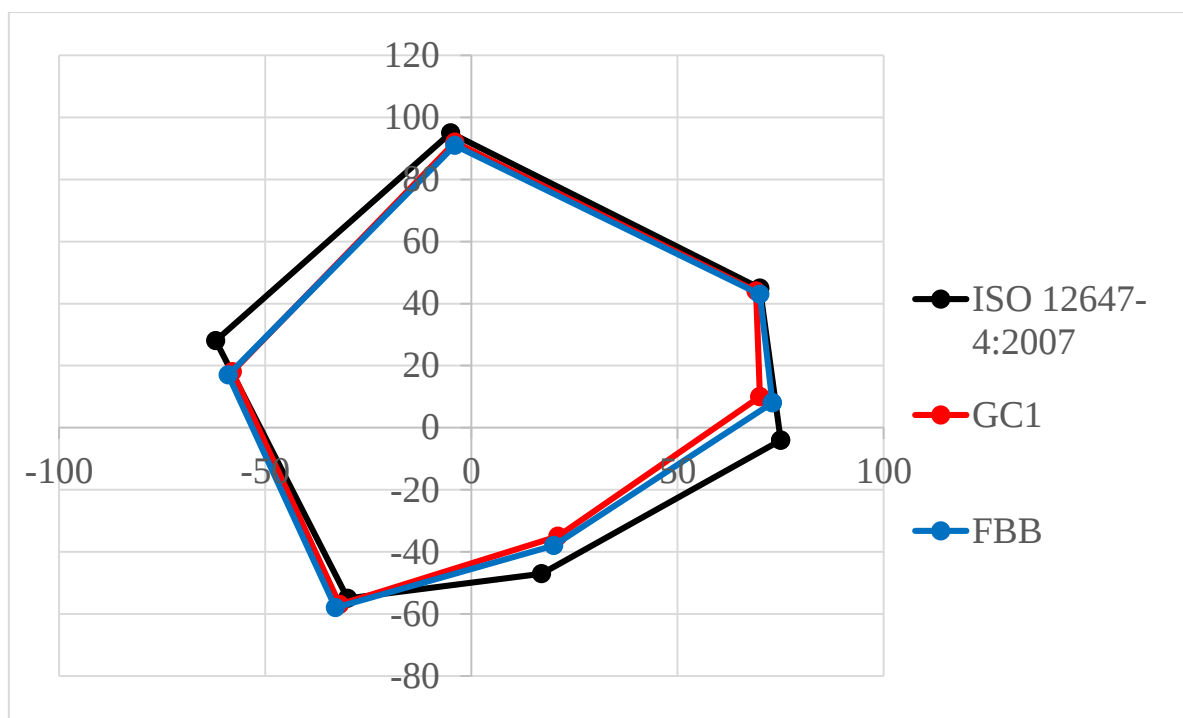


Рис. 3.10. Діаграма кольорового охоплення відбитків на паперах тиссю

Візуальний аналіз відбитків показав, що найефективнішим є люмінесцентний відбиток, утворений жовтою фарбою з додатком люмінофору (30 %), який забезпечує достатню яскравість зображення. Найслабший ефект люмінесценції спостерігався на відбитку, утвореному чорною фарбою, що підтверджує взаємодію між люмінофором і пігментами фарби, який може як підсилює, так і послаблювати люмінесценцію.

Мікроскопічні дослідження структури відбитків з люмінесцентними домішками підтвердили можливість отримання візуальних ефектів на виробках тиссю.

3.4. Дослідження механізму взаємодії фарби з папером тиссю при цифровому і флексографічному друці

Сьогодні розрізняють різні механізми взаємодії чорнила цифрового струменевого друку з папером тиссю. Вибір конкретного механізму залежить від типу чорнила (на основі барвника або пігменту) та твд характеристики паперу

(з покриттям або без). Папір "tissue" є тонким і пористим, тому механізми утворення зображення в цифровому друці можуть бути різними. Серед них можливі капілярна та абсорбційна взаємодія в процесі утворення відбитку, а також взаємодія з целюлозними волокнами через водневі зв'язки і механічне закріплення.

Розглянемо механізм капілярної та абсорбційної взаємодії. Коли краплі чорнила вилітають з друкуючої головки на поверхню паперу, вони спочатку контактують з волокнами целюлози. Завдяки поверхневому натягу чорнила та наявності мікроскопічних пор і проміжків між волокнами паперу, чорнило швидко втягується всередину паперу капілярами. Після цього чорнило проникає в структуру паперу, використовуючи його високу пористість та низьку щільність.

Після абсорбції компоненти чорнила взаємодіють з волокнами паперу, утворюючи водневі зв'язки. Відомо, що барвники та деякі компоненти пігментних чорнил мають у своєму складі гідроксильні або карбоксильні функціональні групи, які можуть утворювати водневі зв'язки з гідроксильними групами целюлозних волокон. Завдяки цим зв'язкам чорнило надійно закріплюється на папері.

У пігментних чорнил частинки пігменту механічно проникають у волокна целюлози та заповнюють проміжки між ними.

Після всотування чорнила, воно повинно випаруватися, залишаючи сухі компоненти барвника на поверхні та всередині паперу. Завдяки тонкості та пористості паперу "tissue", вода з чорнила випаровується дуже швидко, що прискорює процес висихання. Деякі чорнила можуть містити спеціальні добавки (фіксуєчі агенти), які допомагають закріпити барвник або пігмент на поверхні паперу та запобігти його розмазуванню. На рис. 3.11. показано модель адгезійної взаємодії фарби і паперу тиссю під час струменевого друку.

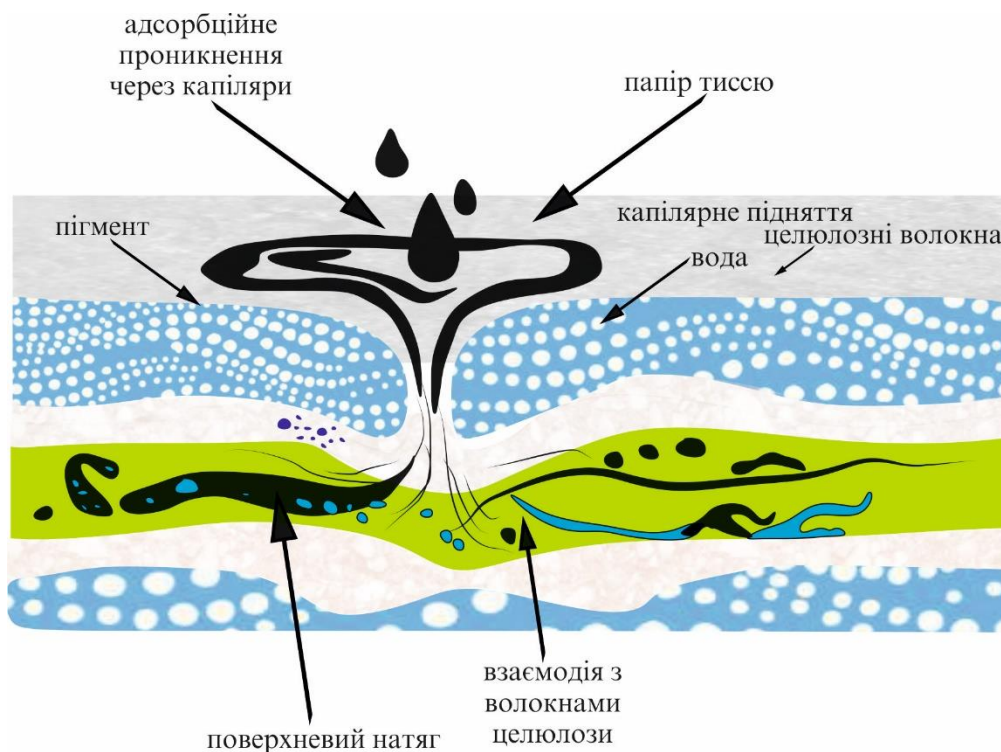


Рис. 3.11. Імітаційна модель адгезійної взаємодії фарби і паперу тиссю при струменевому друці

Як показує модель, окремі краплі чорнила подаються на поверхню паперу на початку друку. Після контакту з папером чорнило швидко поглинається завдяки капілярному ефекту, при цьому рідина проникає по вузьких порах і капілярах паперу.. Папір тиссю – це добре абсорбуючий папір, який сприяє швидкому поглинанню. Потім відбувається взаємодія компонентів чорнила з волокнами целюлози, в якій беруть участь пігменти, полімери та розчинники, що входять до складу чорнила. Пігменти, відповідають за колір, затримуються в структурі паперу, в той час як розчинники допомагають їх розподілу та випаровуються. Полімери можуть допомагати закріпленню пігментів на волокнах. Поверхневий натяг, що визначає, наскільки чорнило "розтікається" по поверхні, та в'язкість, яка характеризує його стійкість до течії, впливають на дифузію та проникнення чорнила в папір. Після випаровування розчинників під час висихання пігменти залишаються закріпленими на волокнах, зберігаючи природну абсорбційну.

Отже, в процесі струменевого друку зображень на відбитках формуються завдяки взаємодії фізичних властивостей як чорнила, так і паперу тиссю. Тому важливо провести глибокі дослідження фізичних властивостей паперів і на основі їх характеристик забезпечити якість друкарських відбитків.

Через високу пористість та низьку щільність паперу тиссю можуть виникнути деякі труднощі при струменевому друці, зокрема:

- розтікання чорнила (bleeding), яке розтікається між волокнами, що призводить до нечітких країв зображення або тексту;
- проникнення чорнила (show-through/bleed-through) крізь тонкий папір, роблячи його видимим на зворотному боці;
- низька насиченість кольору, коли через велику абсорбцію чорнило занадто сильно поглинається в середину паперу, що може призвести до менш яскравих та насичених кольорів.

Тому для оптимізації друку на папері "tissue" зазвичай використовують спеціально розроблені чорнила з контрольованим поглинанням.

Для друку на папері тиссю використовується також флексографічний друк. Імітаційна модель, яка розкриває механізм взаємодії фарби і паперу тиссю в процесі флексографічного друку, наведена на рис. 3.12.

У процесі флексографічного друку фарба взаємодіє з паперами тиссю завдяки спеціальному механізму трансферу. Спочатку фарба передається з тисненого валу на поверхню друкарського циліндра, а потім трансформується на поверхню паперу тиссю. Під час контакту з папером фарба рівномірно розподіляється і вбирається в його пористу структуру, що забезпечує якісне нанесення друкованого зображення на поверхню паперу.

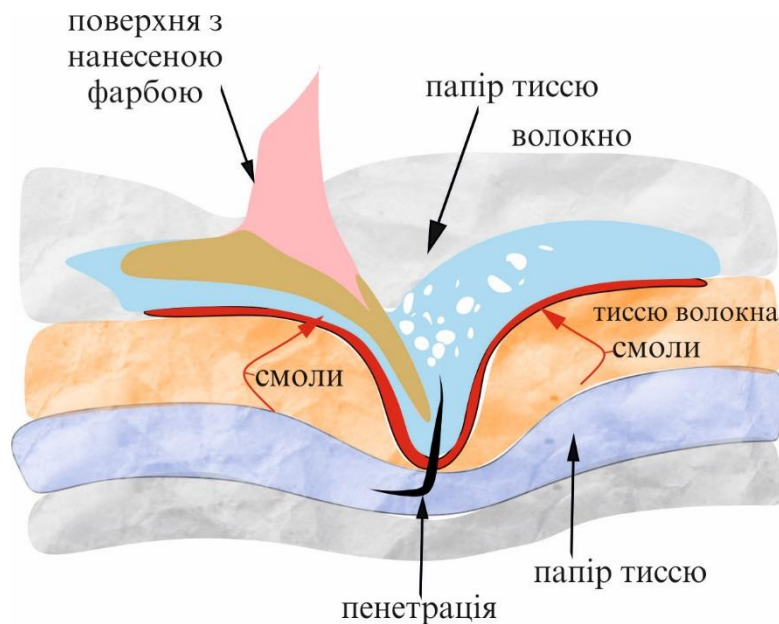


Рис. 3.12. Імітаційна модель адгезійної взаємодії фарби і паперу тиссю при флексографічному друці

У процесі друку кожен компонент фарби відіграє важливу роль у взаємодії з папером. Зокрема, смоли відповідають за зв'язування та закріплення, а розчинники – за контроль в'язкості та швидкості висихання. Флексографічна фарба повинна ефективно змочувати поверхню паперу тиссю, тобто добре розтікатися та заповнювати мікроскопічні нерівності і пори, що підтверджується електронною мікроскопією, забезпечуючи рівномірне покриття на поверхні паперу. Флексографічна фарба повинна проникати у волокна паперу, але в контрольованій кількості, щоб уникнути надмірного протікання ("пробивання" на зворотний бік). Одним з головних її завдань є формування цілісної, однорідної плівки на поверхні паперу та навколо його волокон. Після випаровування розчинників смоли зв'язують пігменти, створюючи міцне покриття, яке стійке до стирання та забезпечує високу якість зображення.

Імітаційна модель підтверджує, що фарби на водній основі застигають переважно шляхом швидкого поглинання, тоді як їх висихання через випаровування при кімнатній температурі відбувається повільніше. Пігментні системи таких фарб мають слабку стійкість до поглинання. Це призводить до набухання волокон, що порушує площинну структуру паперу. В наслідок цього

флексграфічні відбитки мають меншу насиченість, ніж відбитки цифрового друку.

Таким чином, для успішного флексграфічного друку на папері тиссю необхідно, щоб фарба мала оптимальний баланс в'язкості, поверхневого натягу та швидкості висихання, а також містила смоли, які здатні ефективно взаємодіяти з целюлозними волокнами, забезпечуючи якісне зображення.

При оцінці якості флексодруку на серветках важливою є передача кольору (точність, рівномірність, яскравість і насиченість) та їх суміщення; чіткість і деталізація зображення, відсутність розтягування або спотворення; а також якість нанесення фарби (відсутність непродрукованих ділянок); приведення кольорів (суміщення).

Створення імітаційної моделі механізму утворення друкованих зображень дозволяє оптимізувати процес флексграфічного друку з метою усунення дефектів. До найпоширеніших дефектів флексграфічного друку на паперах тиссю належать: “тіні” або двоїння, які виникають при некоректній приладці або подаванні матеріалу; “фантом друку”, який виникає, коли залишкові зображення або відбитки з'являються на ділянках, де їх не повинно бути; залипання або забивання, коли фарба забивається в дрібні елементи форми, що призводить до їх нечіткого відтворення; порушення геометрії зображення, тобто його деформування внаслідок проблем з друкарськими формами або натягом паперу; “ефект Муар”, який виникає при некоректному накладанні растрових зображень, що призводить до появи небажаних зображень; а також недостатня або надмірна щільність фарби, що впливає на насиченість і рівномірність кольору.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. Денситометричні та колориметричні дослідження відбитків показали відмінності між показниками якості надрукованих зображень флексографічним і цифровим друком на паперах тиссю. Виявлено, що у діапазоні від 50 до 100% оптична густина надрукованого зображення на флексографічному відбитку для всіх кольорів СМҮК зростає майже вдвічі. Причому значення оптичної густини відбитку флексографічного друку на 21% більше, ніж на відбитку цифрового друку при 100% насиченості кольорів СМҮК. Різниця кольорів на відбитку цифрового друку зростає від фарби Y (1,17%) до фарби M (2,13%). Для флексографічного відбитку характерна дещо інша картина – зростання різниці кольорів спостерігається від фарби K (1,09%) до фарби M (4,48%).

2. Аналіз відтворення шрифтових та графічних елементів на виробі тиссю показав, що товщини ліній на флексографічних відбитках мають менші відхилення від норм, ніж на відбитках цифрового друку. Окреслено дефекти, які виникають при флексографічному друці (ефект pinholing, розтискування, надмірний приріст растрових пунктів, подекуди брак растрових пунктів), а також при цифровому друці (розтікання чорнила – bleeding, проникнення чорнила (show-through/bleed-through) крізь тонкий папір тиссю, низька насиченість кольору); виокремлено причини їх появи.

3. На основі дослідження денситометричних і колориметричних показників відбитків здійснено групування їх за певними ознаками, що дозволило розробити структурну схему процесу забезпечення якості відбитків цифрового струменевого друку на папері тиссю.

4. Досліджено вплив ємності анілоксового валика на якість відбитків флексографічного друку на папері тиссю. На основі аналізу пробних відбитків встановлено, що найкраще фарбоперенесення забезпечує комірка анілоксового валика ємністю $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$. Використання анілоксового валика з ємністю $5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$, спричинило появу помітних спотворень тонових та графічних зображень.

5. Вперше запропоновано удосконалення процесу оздоблення виробів тиссю з використанням флексографічних фарб з добавкою люмінофору. За допомогою спектрів свічення модифікованого складу фарби, побудованого кола кольорного охоплення відбитку та електронно-мікроскопічних досліджень надрукованих зображень підтверджено ефект люмінесценції при оптимальному вмісті люмінесцентних домішок – 30%. Виявлено, що зі збільшенням вмісту люмінофору від 10 до 30% значення оптичної щільності відбитків також зростали, однак для кожного кольору по-різному: жовтий колір характеризувався найменшим значенням (1,21 – при 10% люмінофору; 1,36 – для 20%; 1,44 – при 30%); найвищу оптичну щільність мав відбиток чорного кольору (1,71 – для 10% люмінофору; 1,77 – для 20%; 1,91 – для 30%).

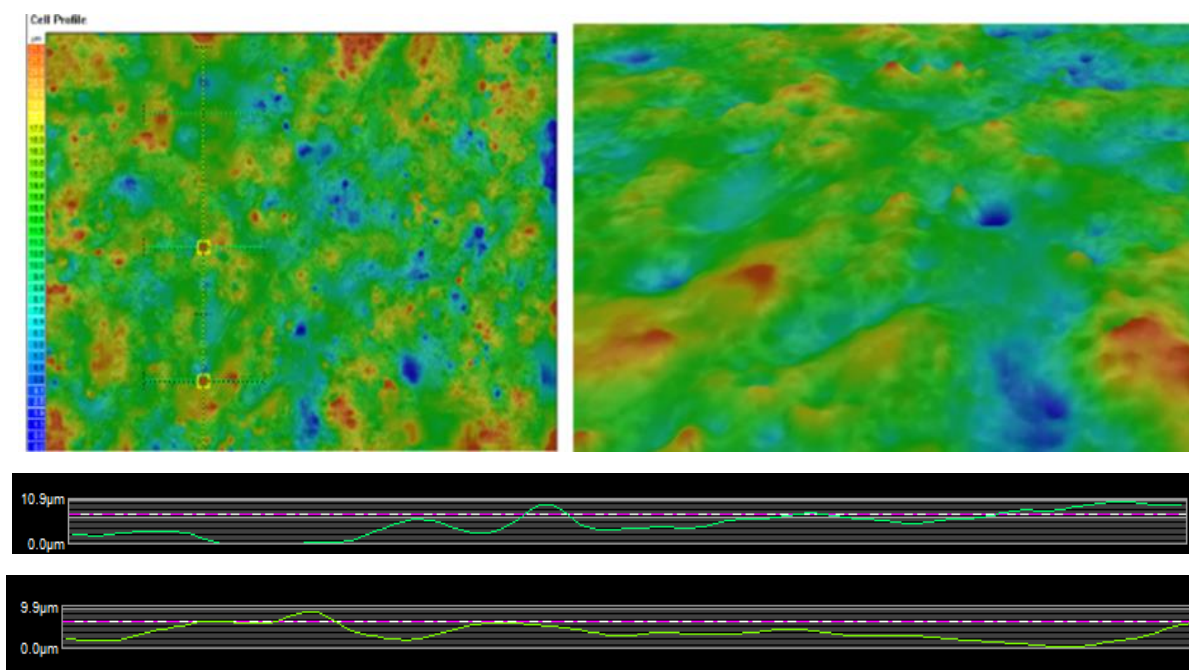
6. Проведено імітаційне моделювання механізму взаємодії адгезиву і субстрату в процесі цифрового струменевого і флексографічного друку на паперах тиссю. Створено імітаційну модель механізму утворення друкованих зображень на папері тиссю флексографічним і цифровим струменевим друком, яка дозволяє забезпечити якість виробів.

РОЗДІЛ 4

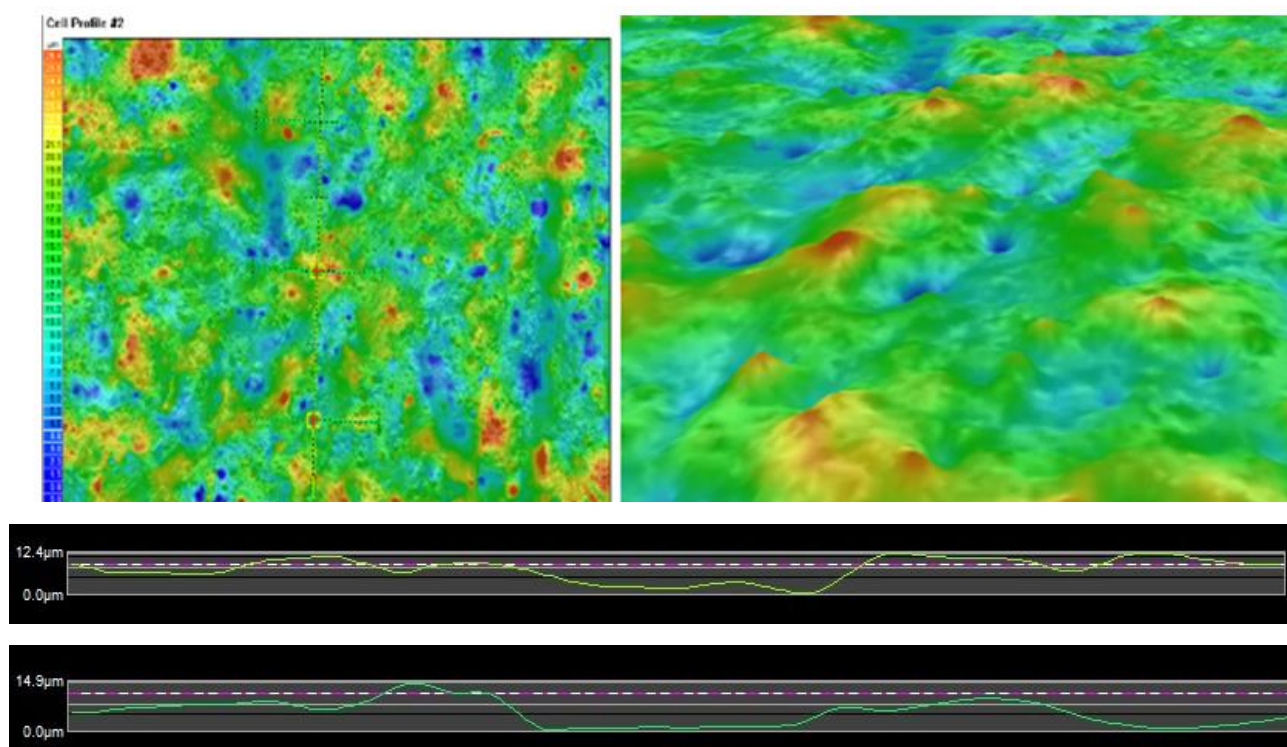
ЕЛЕКТРОННО-МІКРОСКОПІЧНІ ТА ТЕРМОГРАВІМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ «ПАПІР ТИССЮ – ФАРБА – ВІДБИТОК»

4.1. Дослідження топографії поверхні паперів тиссю і відбитків на них

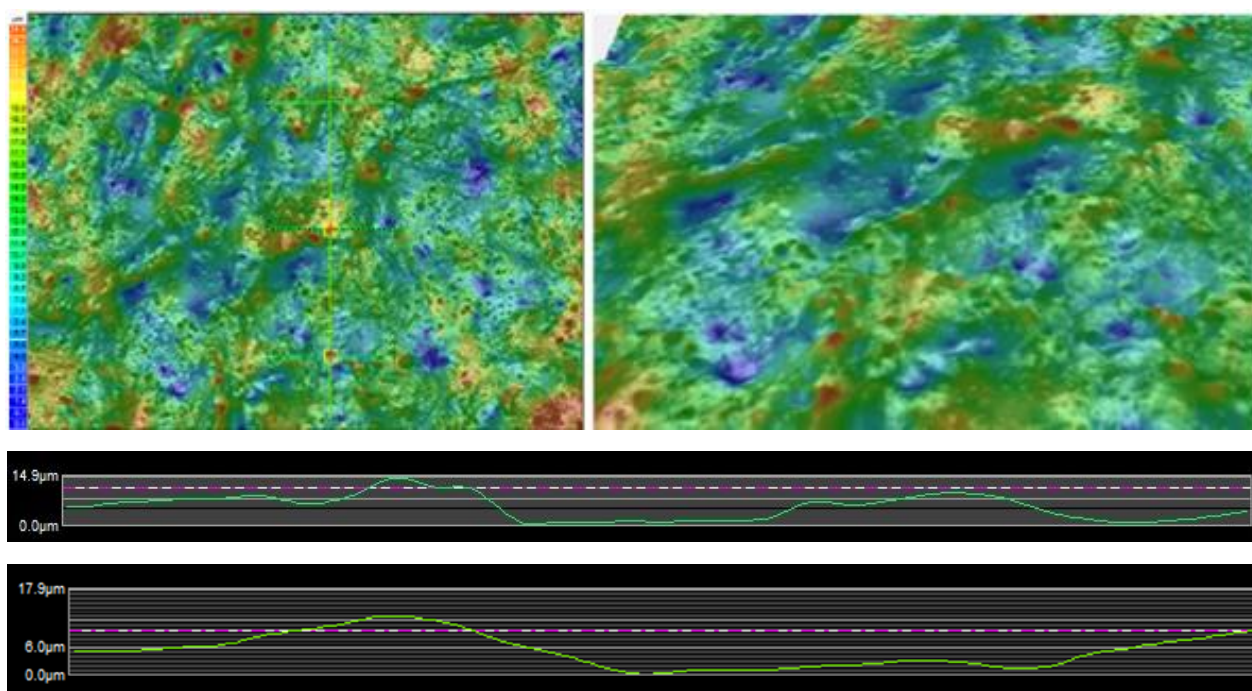
Було проведено дослідження топографії поверхні, надрукованої цифровим струменевим друком, на одношарових, двошарових та тришарових серветках (див. рис. 4.1). Аналіз профілю (рис. 4.1a) одношарової серветки показав коливання в межах від 9,9 до 10,9 μm .



а



б

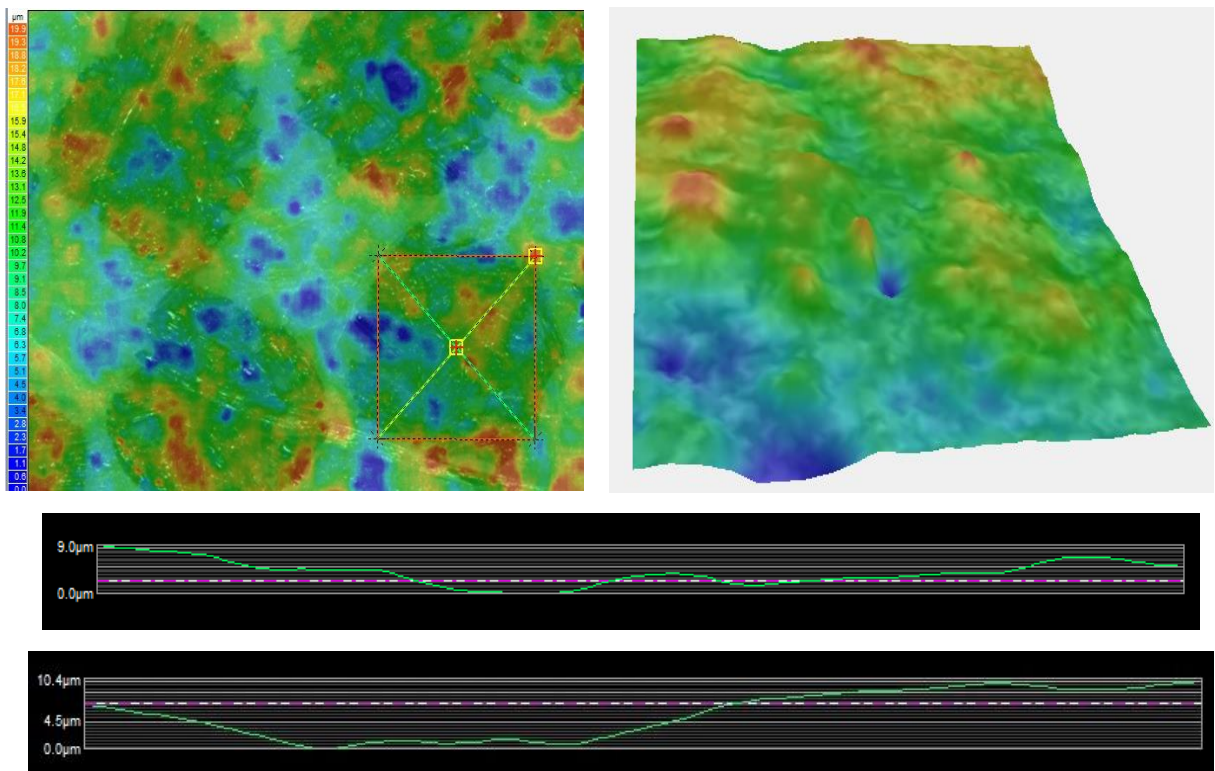


в

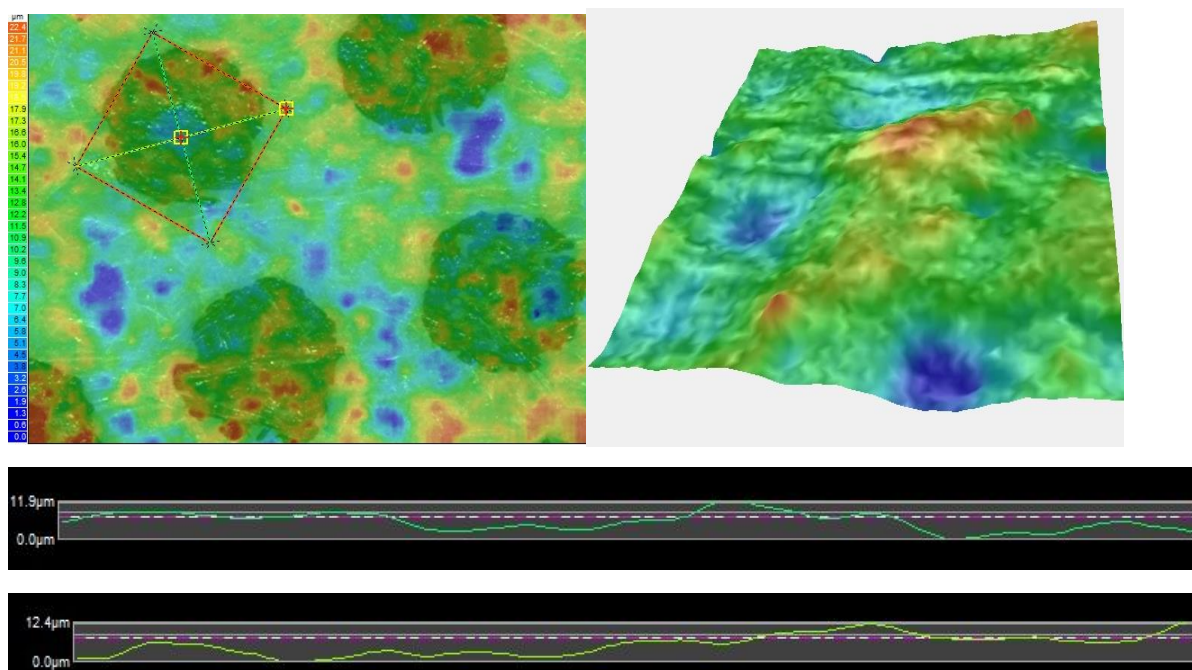
Рис. 4.1. Мікрофотографії поверхні відбитку цифрового друку на папері тиссю, їх 3D моделі та профіль: а – одношарова; б – двошарова; в – тришарова серветка

Аналіз топографії поверхні відбитка цифрового друку на двошаровій серветці (рис.4.1 б) показує наявність мікрорельєфу з висотою коливання від 12,4 до 14,9 μm . Як і в одношаровій серветці, тут спостерігаються мікровпадини, але їх розміри більші. Фарба заповнює мікронерівності поверхні, повторюючи її профіль. Відбиток на тришаровій серветці (рис. 4.1 в) повторює профіль від 14,9 до 17,9 μm . Зі збільшенням кількості шарів на výroбах тиссю збільшуються мікронерівності на поверхні відбитків.

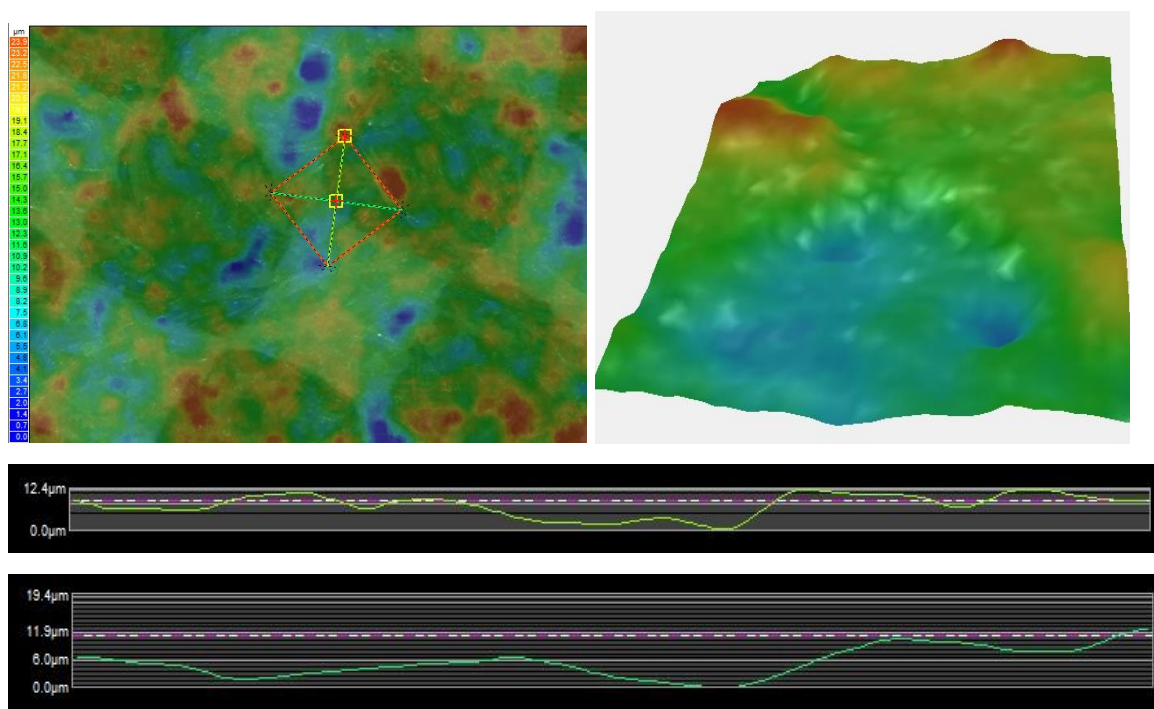
Відомо, що тиск, необхідний для флексографічного друку, який залежить від сюжету зображення та структури поверхні. Тиск під час друкування розміщується таким чином: чим дрібніші деталі, тим менший тиск; чим більше шорховата поверхня, тим більший тиск. Тиск сам по собі приводить до зміни шорсткості поверхні, деформації рельєфу і збільшення тону растрової крапки. Тому дослідження топографії поверхні субстратів є надзвичайно важливим. На рис. 4.2 наведені мікрофотографії відбитків, отриманих флексографічним друком на одно-, дво- та тришарових паперах тиссю.



а



б



в

Рис. 4. 2. Мікрофотографії поверхні відбитку флексографічного друку на папері тиссю, їх 3D моделі та профіль: а – одношарова; б – двошарова; в – тришарова серветка

Аналіз топографії поверхні відбитку флексографічного друку на одношаровій серветці (рис.4.2 а) виявив, що мікрорельєф коливається в межах

від 9,0 до 10,4 μm . На двошаровій цей показник становить від 11,9 до 12,4 μm (рис. 4.2 б), а на тришаровій від 12,4 до 19,9 μm (рис. 4.2 в).

Дослідження підтверджують, що рельєф поверхні паперу тиссю є визначальним фактором, що впливає на якість друкарських відбитків. Зменшення шорсткості поверхні покращує якість та чіткість зображення. Відомо, що гладкість (шорсткість) характеризує мікроструктуру поверхні паперу тиссю, а рівність, що визначає його об'ємну однорідність, також впливає на ефективність взаємодії з фарбою в процесі флексографічного та цифрового друку [146].

4.2. Електронно-мікроскопічні дослідження відбитків на папері тиссю

На сьогоднішній день процеси друкування залежать від багатьох технічних параметрів, які необхідно контролювати для забезпечення стабільності та стандартизації якості друкованої продукції. Оскільки кольоровий друк здійснюється за допомогою тріадних фарб, коефіцієнт передачі кольору відіграє особливу роль у цьому процесі, оскільки від визначає інтенсивність друкованого зображення.

Отримані результати підтверджені шляхом мікроскопічних досліджень структури контрольного зразка серветки (рис. 4.3) з надрукованим зображенням, а також поперечними зрізами чистої та із задрукованої серветки (рис. 4.4) [147].

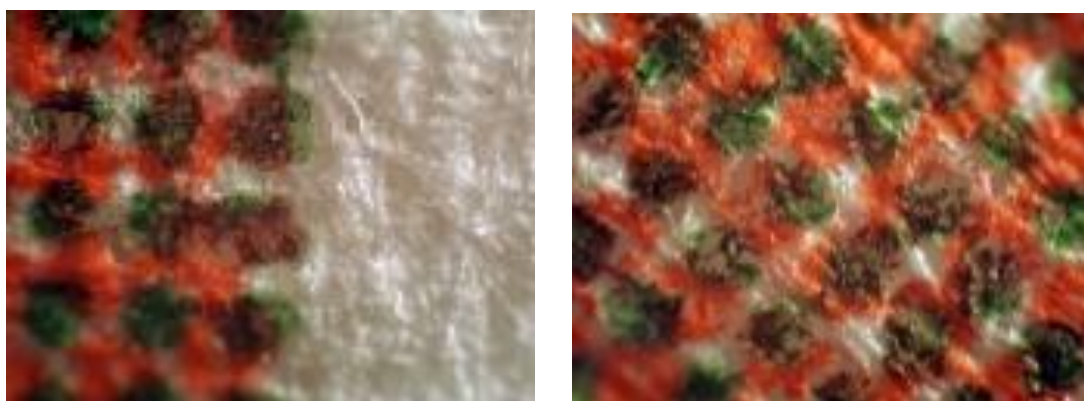


Рис. 4.3. Мікрофотографія структури поверхні надрукованого зображення на серветці (збільшена X 200 разів)

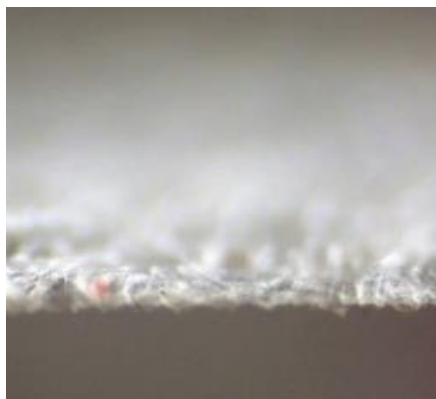
Оптична мікроскопія, проведена на паперовій серветці (рис. 4.3) показує, що флексографічна фарба рівномірно розподілена на поверхні волокон. Це свідчить про тісний взаємозв'язок між частинками фарби і волокнами целюлози.

Слід зазначити, що матеріал, на якому проводилися експерименти, має більшу частку деревної маси, а отже, на ньому зображення відтворюються набагато чіткіше [148, 149].

На сьогоднішній день якісні серветки є одним з ключових елементів, які привертають увагу споживачів до товару та виділяють його серед конкурентів. Серветка вирізняється своїм незвичайним дизайном, що поєднує в собі яскравість та інформативність, роблячи продукт характерним і по-своєму унікальним.

По-перше, колірний тон і насиченість кольору залежать не лише від спектрального складу випромінювання, але й від умов спостереження, а найменша зміна одного з цих значень спричинить зміну кольору. Оскільки оптична щільність є важливим фактором у флексографічному друці, вона забезпечує стабільність кольору протягом усього процесу друкування.

Мікроскопічні дослідження, представлені на рис. 4.4, демонструють, що фарба всотується в товщину целюлозних волокон серветки, тоді як основна її маса залишається на поверхні. Чим дрібніші елементи на оригіналі, тим менше фарби повинно переноситися на відбиток. В той же час, чим більше шороховата поверхня, тим більше повинно бути фарби, щоб забезпечити достатню покривну здатність.



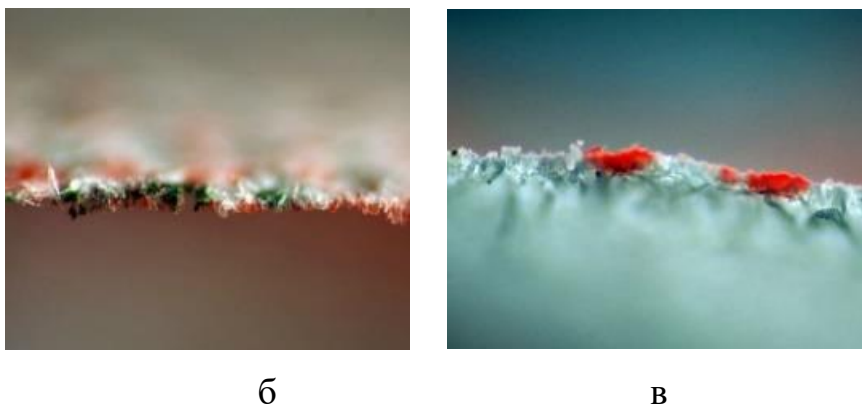


Рис. 4.4. Мікрофотографії поперечних зрізів на серветці:

а – чистої серветки; б, в – серветка з задруком

Отримані зображення ультратонких зрізів надрукованого зображення та структур відбитків демонструють, що стан роздроблених волокон у композиції серветки має неоднорідну структуру, що визначає низький рівень механічної міцності. Зв'язок між волокнами в паперових серветках впливає на вологоміцність та вбирну здатність: чим менше водневих зв'язків між волокнами, тим нижчими значення цих показників [125, 148].

На рис. 4.5. представлені мікрофотографії відбитків на дво- та тришарових серветках. Як відомо, папір тиссю це тонкий, м'який і пористий матеріал з невеликою щільністю. Його структура надає йому унікальні властивості, зокрема високу поглинальну здатність. Для підвищення міцності і поглинальної здатності папір тиссю часто виготовляють багатошаровим. Кожен шар може мати різну щільність і склад. Дослідження мікроскопії показують, що наявність додаткового третього шару у серветках робить їх міцнішими та стійкішими до продавлювання.



а



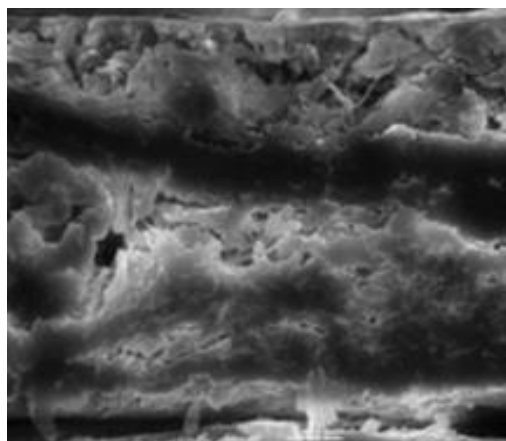
б



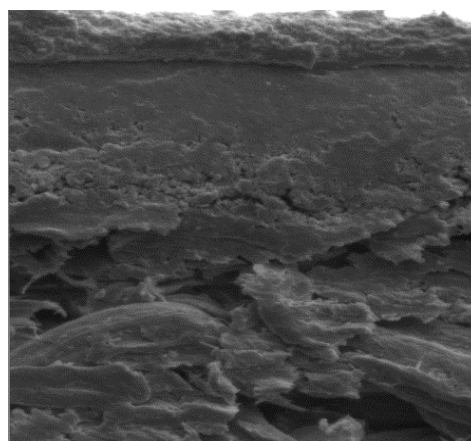
в



г



д



е

Рис. 4.5. Фотографії оптичної (збільшення 60х) – (а, б, в, г) та електронної мікроскопії (зб. 1000х) серветок після продавлювання: а – відбитки цифрового друку на тришаровій паперовій серветці; б – відбитки флексографічного друку на двошаровій серветці; в – незадрукована тришарова серветка; г – незадрукована двошарова серветка; д – електронна мікроскопія (зб. 1000х) фрагменту зруйнованої структури тришарової серветки; е – електронна мікроскопія (зб. 1000х) фрагменту зруйнованої структури двошарової серветки

Сучасний ринок целюлозно-паперової продукції висуває високі вимоги до її споживчих властивостей, зокрема міцнісних характеристик. Залежно від сфери застосування вироби тиссю підлягають певним методам випробовувань, щоб підтвердити здатність їх задовольняти певні вимоги [150].

Було проведено порівняльні міцності серветок до продавлювання, результати досліджень яких наведено на мікрофотографіях на рис. 4.6 – 4.10. Аналіз зруйнованих поверхонь зразків серветок, зафіксованих оптичною мікроскопією дозволив зробити висновок, що кількість шарів, наявність друку та тиснення впливають на міцність паперу тиссю.

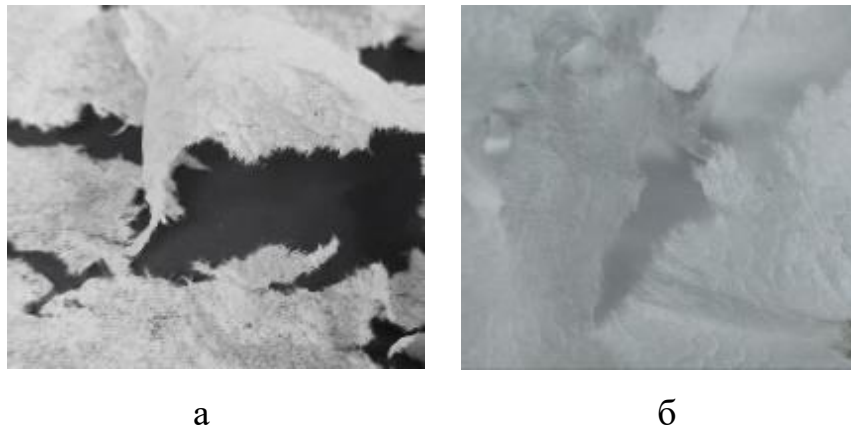


Рис. 4.6. Фотографії оптичної мікроскопії незадрукованої одношарової серветки з тисненням без надруку після продавлювання: збільшення (а – 10х; б – 60х)

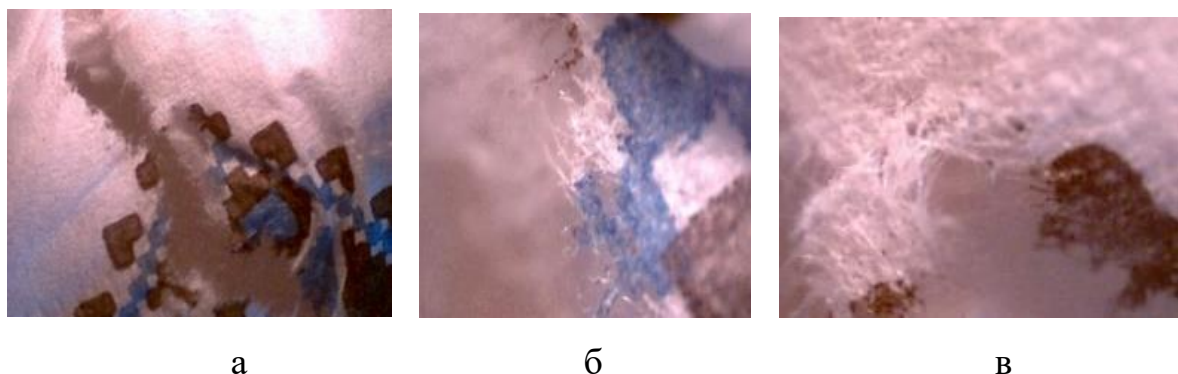


Рис. 4.7. Фотографії оптичної мікроскопії задрукованої флексографічним друком двошарової серветки з тисненням після продавлювання: збільшення (а – 10х; б, в – 60х)

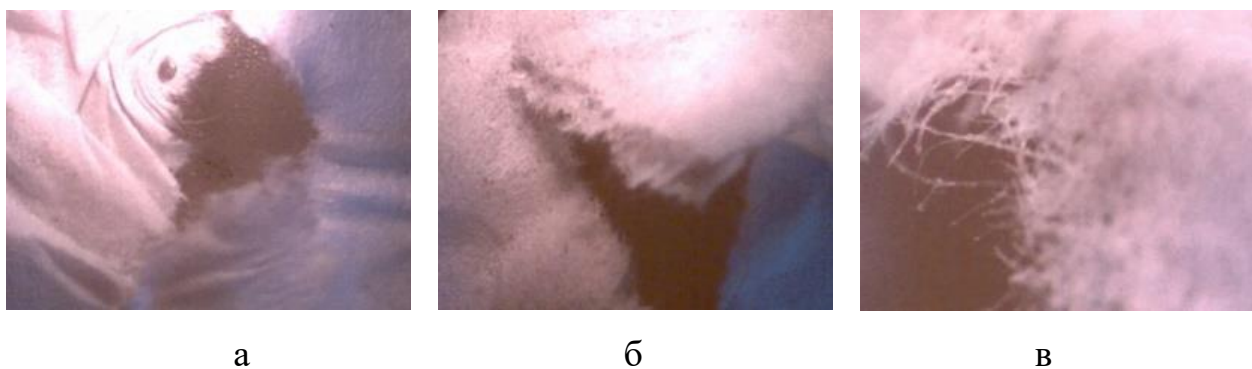


Рис. 4.8. Фотографії оптичної мікроскопії незадрукованої двошарової серветки без тиснення після продавлювання: збільшення (а – 10х; б, в – 60х)



Рис. 4.9. Фотографії оптичної мікроскопії задрукованої цифровим (ink-jet) тришарової серветки з тисненням після продавлювання: збільшення (а – 10х; б – 60х; в – 200х)

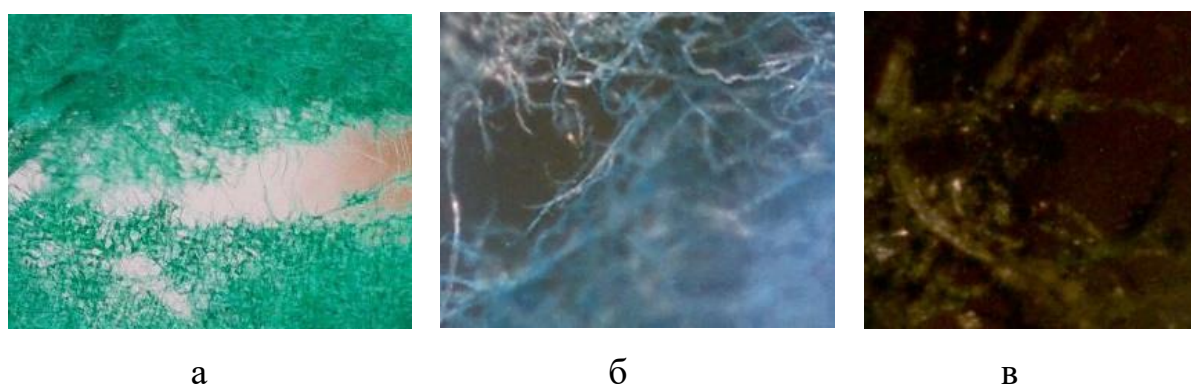


Рис. 4.10. Фотографії оптичної мікроскопії задрукованої тришарової серветки без тиснення після продавлювання: збільшення (а – 10х; б – 60х; в – 200х)

З отриманих зображень (рис. 4.6–4.10) видно, що при величині руйнування серветок при продавлюванні впливає кількість з'єднаних паперових шарів, наявність тиснення та друкованого зображення. У процесі продавлювання відбувається роздроблення волокон целюлози, руйнується зв'язок між ними. Наявність фарбового зображення дещо підвищує стійкість виробів тиссю до продавлювання.

Дослідження показали, що в залежності від кількості шарів на відбитках спостерігається різна деформація зовнішнього шару зразків, яка в середньому становить 15 kPa.

4.3. Термогравіметричний аналіз складових системи «флексграфічна фарба – люмінофор – папір тиссю – задрукована серветка»

Проведено термогравіметричні дослідження зразків виробів тиссю до і після нанесення друкованих зображень. Результати представлені у вигляді термограм (рис. 4.11–4.13) і табл. 4.1.

За даними комплексного термічного аналізу в температурному інтервалі 20–195 °C відбувається виділення летких компонентів зразка серветки, що становить 7,8%. Цей процес супроводжується появою ендотермічного ефекту на кривій DTA з максимумом за температури 60 °C [125].

Глибокі деструктивні процеси в зразку серветки починають протікати за температур, вищих за 249 °C. Інтенсивна втрата маси зразка (72,1%) в області температур 249–391 °C відповідає активним деструктивним, термоокисним процесам та згоранню залишків деструкції зразка. Цей процес супроводжується високим екзотермічним ефектом на кривій DTA, з максимумом за температури 330 °C, та появою стрімкого екстремуму на кривій DTG, а при максимальній швидкості (12%/хв) втрати маси зразка відповідає температура 308 °C.

В температурному інтервалі від 391 – до 500 °C відбувається згорання піролітичного залишку зразка. Цьому процесу відповідає значний екзоефект на кривій DTA, з максимальною температурою 446 °C. Саме на цій стадії втрата маси складає 18,6%.

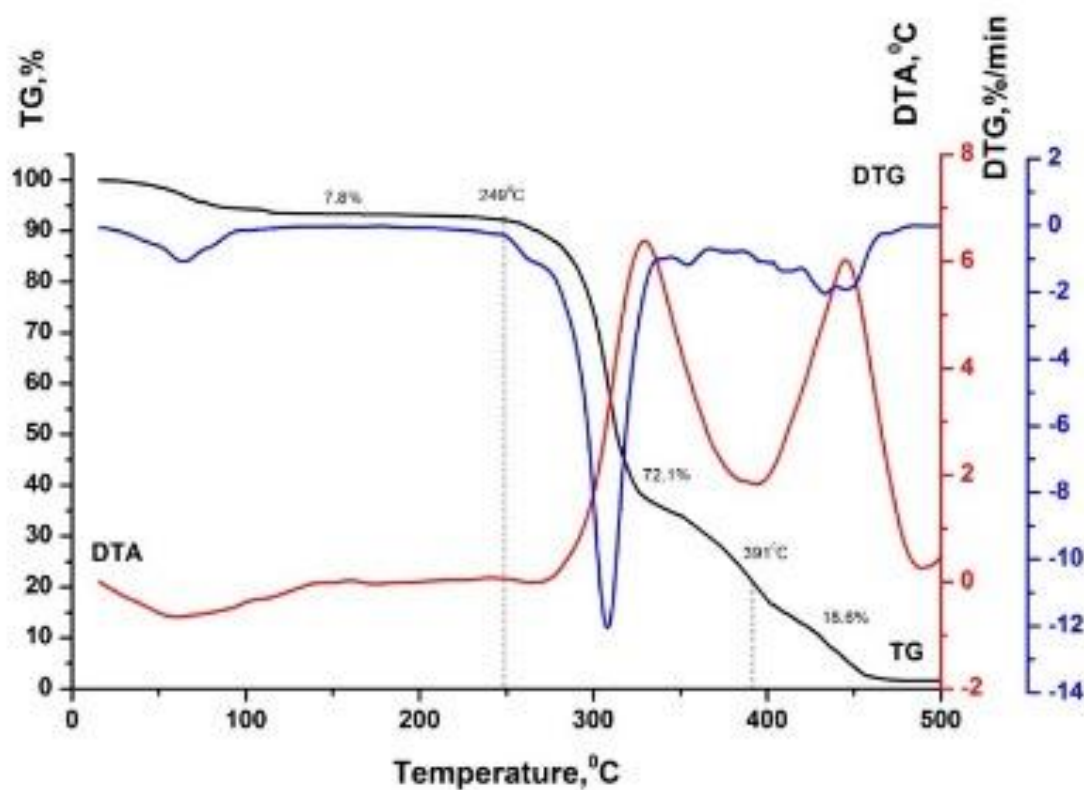


Рис. 4.11. Термограма зразка серветки

Таблиця 4.1

Термічний аналіз зразка серветки

Зразок	Темп. інтервал, °C	Втрата маси, %
Серветка	20–249	7,8
	249–391	72,1
	391–500	18,6
	20–187	2,1
Люмінофор	187–275	3,9
	275–428	39,0
	428–600	9,5
	20–187	1,9
Друкарська фарба з домішкою люмінофору	187–236	1,1
	236–392	58,6
	392–600	14,5

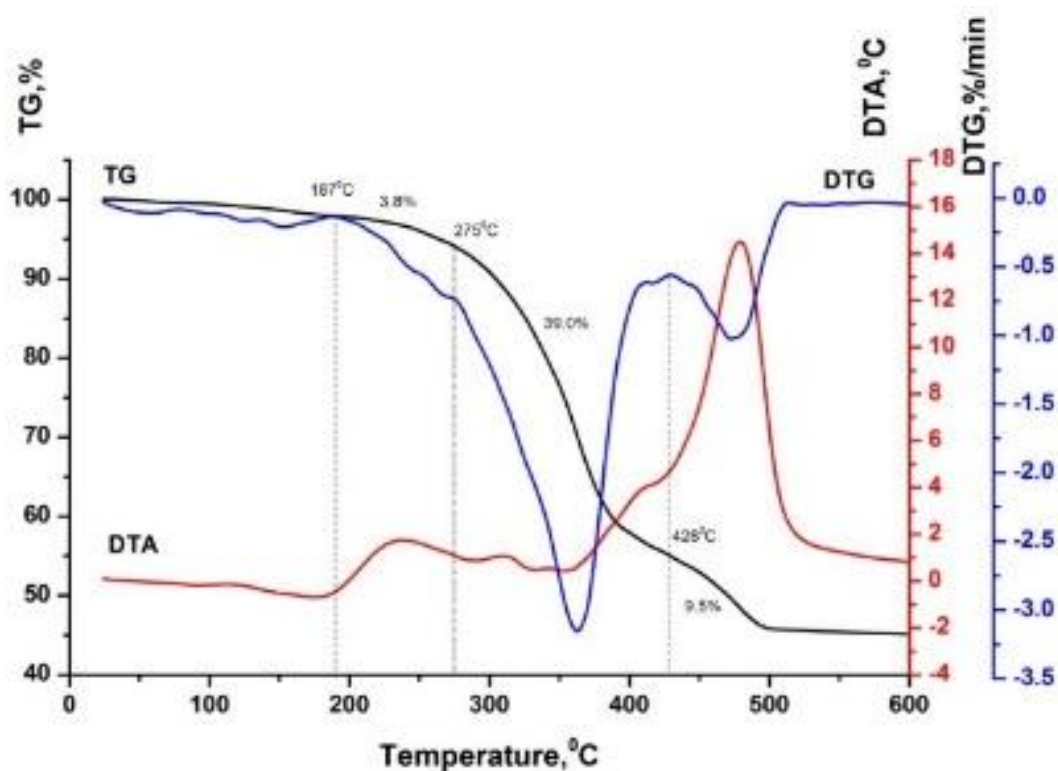


Рис. 4.12. Термограма люмінофору

За даними енергодисперсійного рентгенофлуоресцентного аналізу, зразок містить наступні елементи: Zn (0,44% мас), Eu (0,87%), S (1,37% мас), Al (5,42% мас), Sr (58,32%). Отже, люмінофор є сумішшю на основі цинку сульфідів та стронцію алюмінату, яка активована європієм [125].

Незначна втрата маси (2,1%) зразка люмінофору в температурному інтервалі 20–187 °C свідчить про виділення летких компонентів, присутніх у зразку. Цей процес супроводжується відхиленням каналу DTA в область ендотермічних ефектів.

В температурному інтервалі 187–275 °C у зразку люмінофору починають відбуватися деструктивні та термоокисні процеси. Про це свідчить поступова втрата маси зразка (3,8%) та поява екзотермічного ефекту на кривій DTA.

Глибокі деструктивні та термоокисні процеси в домішці люмінофору відбуваються в температурному діапазоні 275–428 °C. Цим процесам відповідає значна втрата маси (39%) зразка та глибокий екстремум на кривій DTG, з максимумом за температури 362 °C.

У температурному діапазоні 428–600 °C відбувається згорання органічного

залишку зразка. Про це свідчить поява стрімкого екзотермічного ефекту на кривій DTA, з максимумом за температури 480 °C, та втрата маси зразка (9,8%).

Незначна втрата маси (1,9%) зразка фарби з домішкою люмінофору в діапазоні температур 20–187 °C свідчить про виділення летких компонентів зразка. Про це свідчить відхилення DTA-каналу в область ендотермічних ефектів.

Початкові термоокисні процеси в зразку фарбової композиції починають проявлятися при температурах, вищих за 187 °C. Незначна втрата маси (1,1%) в температурному інтервалі 187–236 °C, що супроводжується відхиленням DTA-каналу в бік екзотермічних ефектів, зумовлена термоокисленням люмінофору.

Глибокі деструктивні та термоокисні процеси в зразку фарбової композиції починають розвиватися за температур, вищих за 236 °C. Інтенсивна втрата маси (58,6 %) зразка композиції в області температур 236–392 °C зумовлена розкладом та згоранням продуктів деструкції. Цей процес супроводжується стрімким екстремумом на кривій DTG, з максимумом за температур 320 °C і 345 °C, та стрімким екстремумом на кривій DTA. Максимальній швидкості (2,8%/хв) втрати маси зразка відповідає температура 308 °C.

При температурах, що перевищують 392 °C, відбувається згорання органічного залишку зразка композиції.

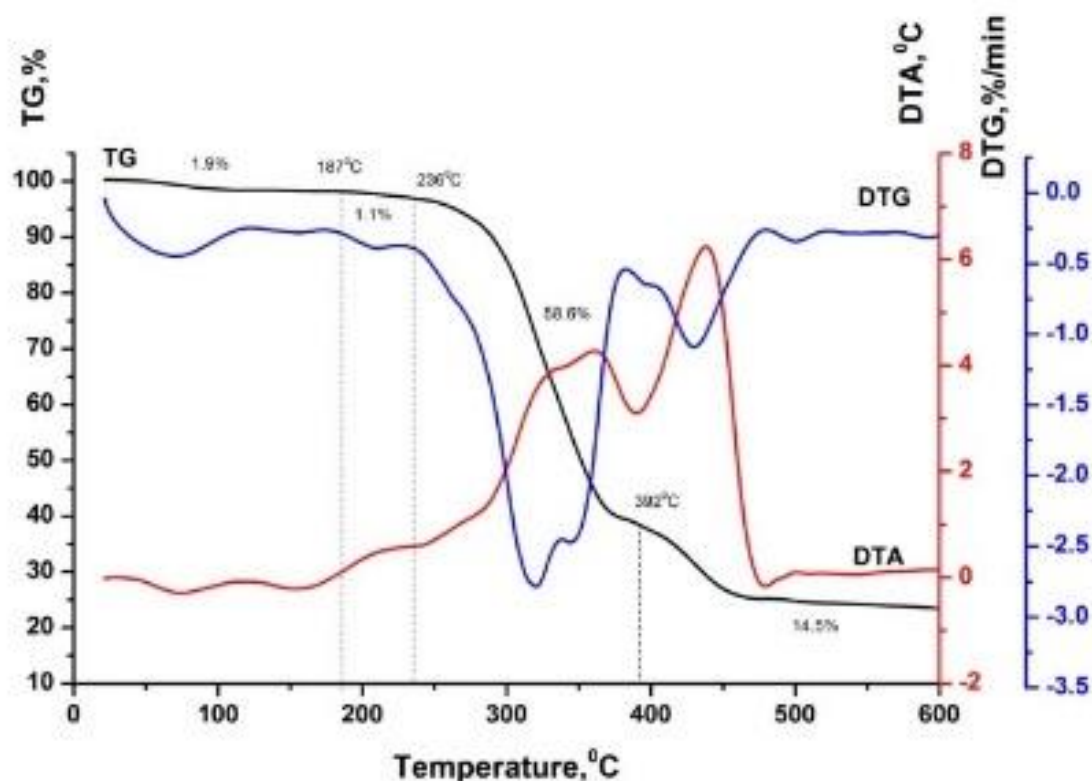


Рис. 4.13. Термограма друкарської фарби з домішком люмінофору

Отже, на основі експериментальних досліджень можна стверджувати, що використання люмінофору у складі фарби надійно захищає продукцію від підробок та надає бажаного оздоблювального ефекту:

- додавання люмінофору не впливає негативно на якість відбитку і не створює проблем у процесі друкування;
- додавання люмінофору не впливає негативно на якість відбитку і не створює проблем у процесі друкування. Слід зазначити, що у випадку додавання люмінофору в темні кольори виникають труднощі, тому додавання його в світлі кольори створює кращий ефект світіння;
- серед компонентів композиції найменшою термічною стійкістю відзначається люмінофор. Розклад та термоокислення цього компонента зумовлюють початкову втрату маси композиції за температури 187 °С.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Здійснені дослідження структури поверхні паперів тиссю та відбитків на них показали, що зі збільшенням кількості шарів у виробках тиссю величина нерівностей на відбитках збільшується. Показано, що мікрорельєф на відбитках цифрового друку на одношарових серветках змінюється в межах від 9,9 до 10,9 μm , на двошарових – від 12,4 до 14,9 μm , на тришарових від 14,9 до 17,9 μm , тобто від одношарових до тришарових серветок профіль на відбитках цифрового друку змінюється від 9,9 до 17,9 μm , а на відбитках флексографічного друку відповідно – з 9,0 до 19,4 μm .

2. Аналіз мікрофотографій відбитків показав, що чим дрібніші елементи зображення на оригіналі, тим менше фарби повинно переноситися на відбиток. В той же час, чим більше шорстка поверхня, тим більше повинно бути фарби, щоб забезпечити достатню покривну здатність.

3. Мікроскопічні дослідження надрукованих зображень на паперових серветках підтверджують, що флексографічна фарба рівномірно розподілена на поверхні, існує тісний взаємозв'язок між частинками пігменту фарби і волокнами целюлози. Аналіз фотографій показав, що при продавлюванні виробів тиссю спостерігається роздроблення волокон целюлози, що свідчить про низький рівень механічної міцності. Зі збільшенням шорсткості серветок зростає механічна стійкість до продавлювання.

4. Здійснено термогравіметричний аналіз складових системи «флексографічна фарба – люмінофор – папір тиссю – задрукована серветка», за даними якого визначено температурний інтервал 20–195 $^{\circ}\text{C}$, де відбувається виділення летких компонентів зі зразка серветки (7,8%), що супроводжується появою ендотермічного ефекту на кривій DTA, з максимумом за температури 60 $^{\circ}\text{C}$. Незначна втрата маси (1,9%) зразка фарби з домішкою люмінофору в області температур 20–187 $^{\circ}\text{C}$ відповідає виділенню летких компонентів зразка, про що свідчить відхилення каналу DTA в область ендотермічних ефектів. Початкові термоокисні процеси в

зразку фарбової композиції починають розвиватися за температур, вищих за 187 °С. Незначна втрата маси (1,1%) зразка композиції зумовлена термоокисленням люмінофору в температурному інтервалі 187–236 °С.

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИРОБІВ ТИССЮ ТА АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЇХ ЯКІСТЬ

5.1. Дослідження експлуатаційних властивостей виробів тиссю

Як показують експериментальні дослідження та їх математична і статистична обробка, на основі яких була побудовано діаграму на рис. 5.1, що ілюструє зміни опору паперових серветок до продавлювання [150].

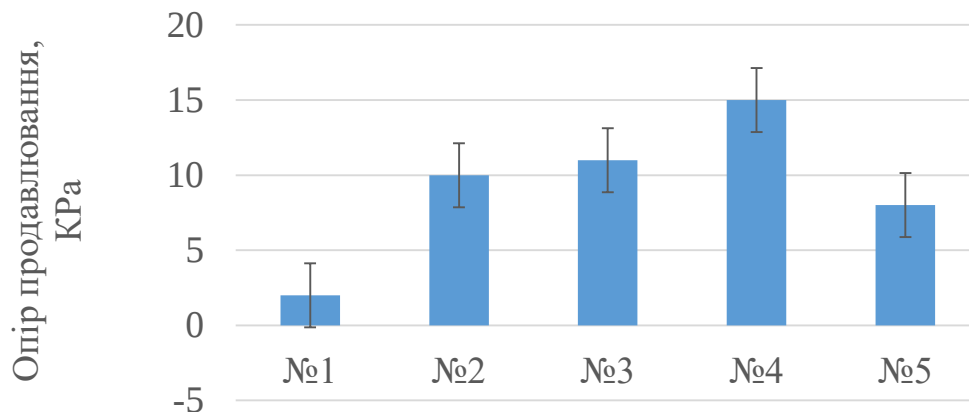


Рис. 5.1. Порівняльна діаграма величин продавлювання паперових серветок: №1 – 1-шарова з тисненням; №2 – 2-шарова з тисненням; №3 – 2-шарова без тиснення; №4 – 3-шарова з тисненням; №5 – 3-шарова без тиснення

Дослідження показали, що максимальна величина деформації зовнішнього шару характерна для зразків 3-шарових з тисненням, де середнє значення становить 15 кПа. Натомість одношаровий некаландрований зразок витримує найменшу стійкість до деформації, коливаючись від 2 до 8 кПа (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Зусилля продавлювання виробів тиссю

Тиссю	P1	P2	P3	Σ
Одношарова з тисненням				
КРа	2	2	2	2
КГС/см	0,01	0,01	0,01	0,01
Двошарові з тисненням				
КРа	10	10	9	10
КГС/см	0,21	0,20	0,20	0,20
Двошарові без тиснення				
КРа	11	11	11	11
КГС/см	0,21	0,21	0,20	0,21
Тришарові однотононі з тисненням				
КРа	15	14	15	15
КГС/см	0,22	0,21	0,21	0,22
Тришарові без тиснення				
КРа	8	7	8	8
КГС/см	0,20	0,20	0,21	0,20

Експериментальні дослідження показали, що на стійкість серветок до продавлювання впливає багато чинників, зокрема структура та склад паперу, кількість шарів (дво- чи тришарові), каландрування, наявність тиснення, друкування тощо (див. рис.5.1).

На рис. 5.2 показано результати вимірювання товщини та граматури досліджуваних зразків, зокрема незадруковану та задруковану поверхню тиссю.

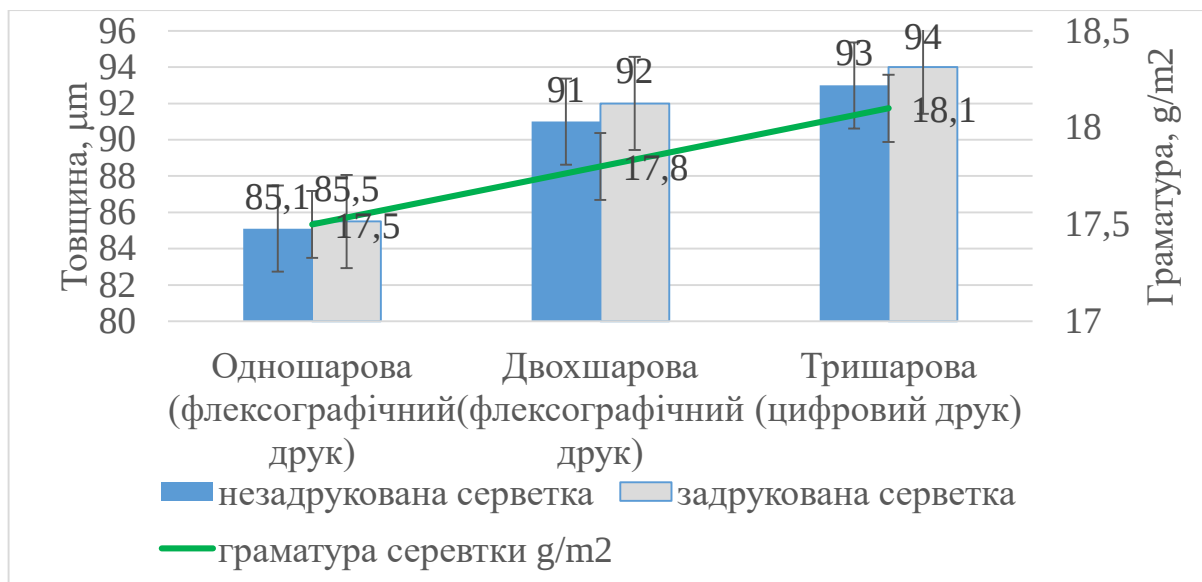


Рис. 5.2. Діаграма визначення товщини та граматури досліджувальних серветок

Як видно з рис. 5.2 товщина незадрукованої одношарової серветки становить 85,1 μm , двошарової – 91 μm та тришарової 93 μm . Таким чином, підтверджено, що на товщину паперової серветки впливають кількість шарів та наявність задрукованої поверхні.

На рис. 5.3. показано результати вимірювання міцності на розтяг у сухому та вологому стані в напрямку CD та MD.

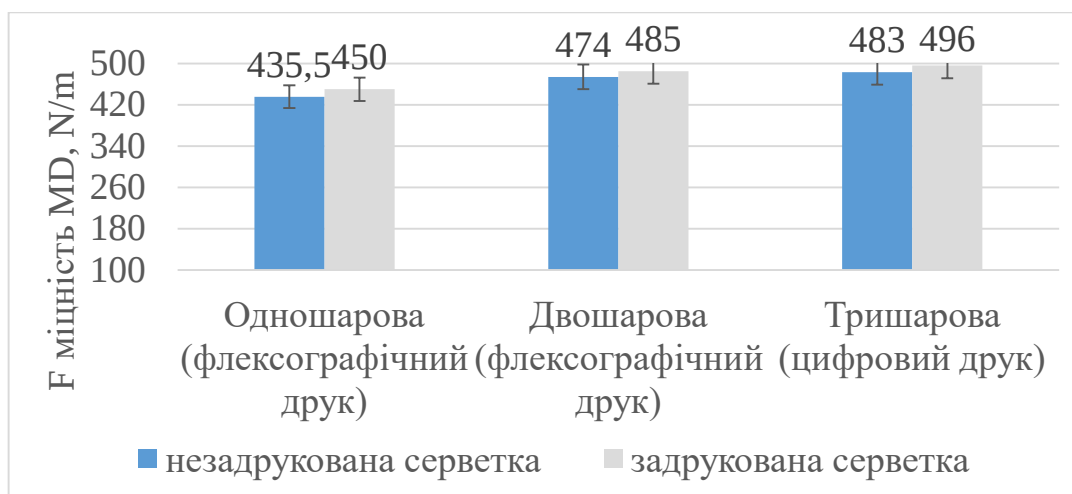


Рис. 5.3. Міцність на розтяг виробів тисю (на сухо) в напрямку MD машини

Як видно на рис. 5.3 міцність на розтяг у напрямку MD, більша, ніж у напрямку CD, а саме кількість шарів впливає на міцність розтягу виробів тисю.

Зокрема, для відбитків флексографічного друку розтяг збільшився на 14,5 N/m, а для відбитків цифрового друку відповідно – на 13 N/m.

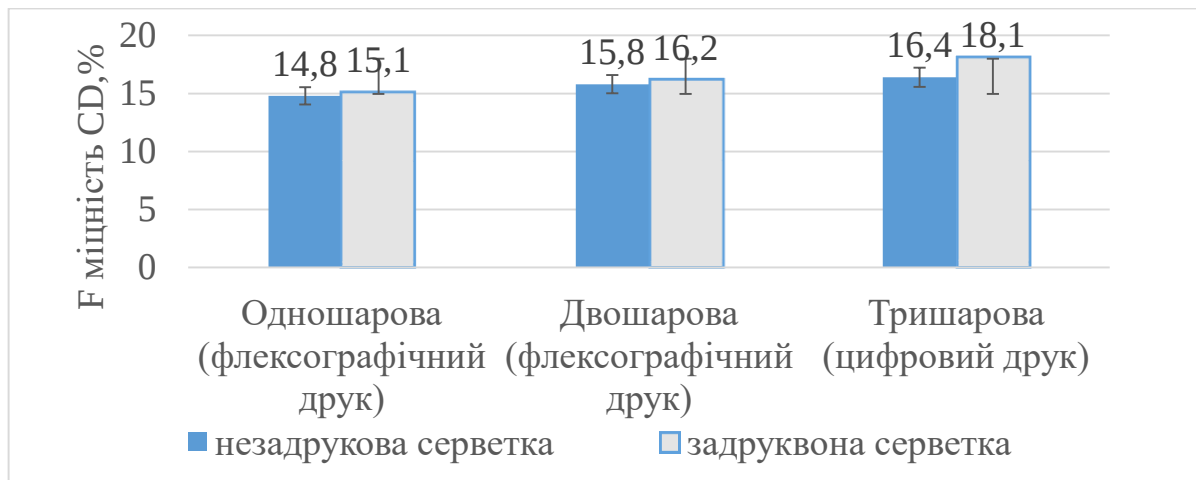


Рис. 5.4. Міцність на розтяг виробів тиссю (на сухо) в поперечному напрямку CD

На рис. 5.4 показано, що чим більше кількість шарів, то зростає деформація міцності на розтяг виробів тиссю, зокрема в поперечному напрямку CD: для одношарових вона збільшилася на 0,3%, для двошарових на 0,4%, а для тришарових на 1,7%.

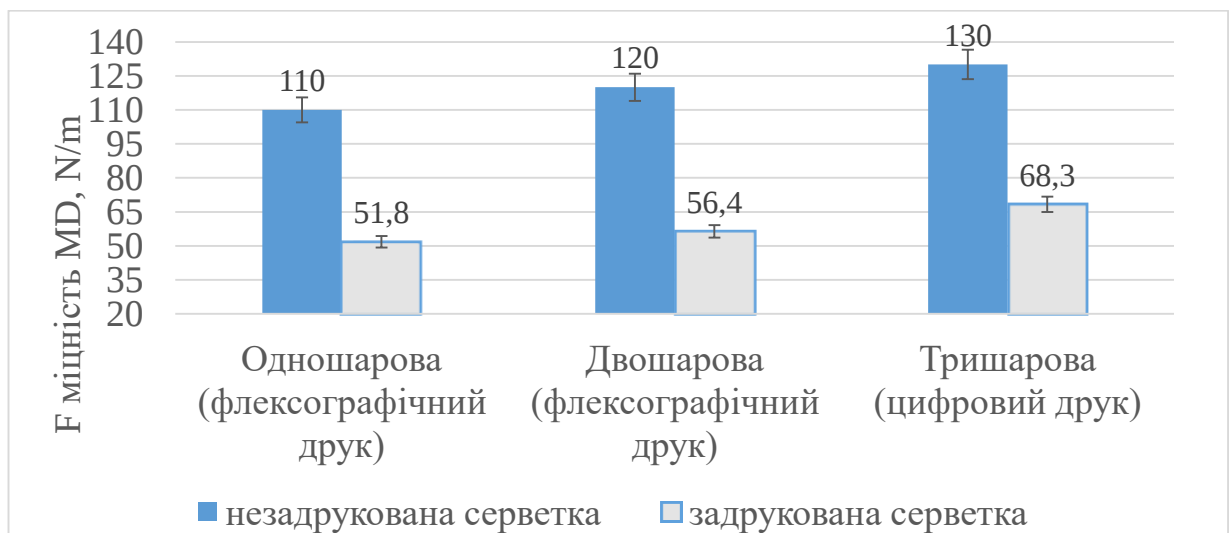


Рис. 5.5. Міцність на розтяг виробів тиссю (вологий стан) в машинному напрямку MD

З отриманих результатів (рис. 5.5) видно, що в напрямку MD розтяг виробів тиссю (у вологому стані) є більший для незадрукованої серветки. Зокрема, для одношарової серветки цей показник становить – 58,2 N/m, для двошарової – 63,6 N/m та тришарової – 61,7 N/m.

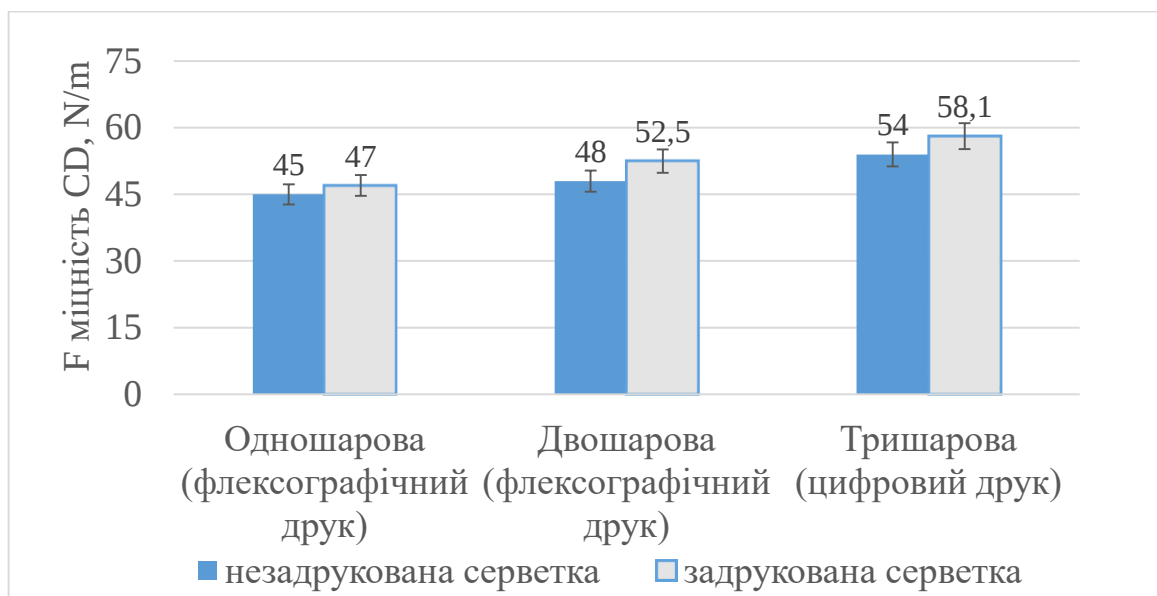


Рис. 5.6. Міцність на розтяг виробів тиссю (вологий стан)
в поперечному напрямку CD

На рис. 5.6 представлено результати дослідження міцність на розтяг у поперечному напрямку CD відбитків у вологому стані для різних зразків виробів тиссю. Міцність одношарової серветки, при флексографічному друці, становить більше на 2 N/m, тоді як для двошарової серветки становить 4,5 N/m. Для тришарової серветки при цифровому друці, міцність більша на 4,1 N/m.

Результати дослідження свідчать про те, що зовнішній вигляд і характеристики санітарно-гігієнічного паперу є визначальними факторами їх естетичної якості, а саме: кольором, відтінком, засміченістю, художнім оздобленням й іншими показниками. Дані про зовнішній вигляд наведені у табл. 5.2 [151].

Таблиця 5.2

Дослідження показників зовнішнього вигляду

Колір виробу	Оздоблення	Запах	Склад	Зразки серветок
Біла	З надрукованим тисненням	Без запаху	100 %-целюлоза	1-шарова
Біла	З надрукованим тисненням	Без запаху	100 %-целюлоза	2-шарова
Біла	Без тиснення	Без запаху	100 %-целюлоза	2-шарова
Біла	З рамковим тисненням та суцільним задруком	Без запаху	100 %-целюлоза	3-шарова
Біла	Без тиснення	Без запаху	100 %-целюлоза	3-шарова

Згідно з нормативними документами, паперові серветки не повинні мати неприємного запаху. За цим показником всі паперові серветки відповідали нормативним значенням. Вимоги до зовнішнього вигляду визначалися згідно з ДСТУ 8862:2019, який також використовувався для дослідження поверхневого та капілярного водопоглинання [126].

5.2. Дослідження здатності виробів тиссю до поглинання рідин

Поглинальна здатність серветки залежить як від в'язкості рідини, так і від властивостей самого паперу, зокрема його мікро- та макроструктури. Щоб досягти високої поглинальної здатності папір повинен мати пухку структуру та високу пористість. Це досягається за рахунок використання волокнистих напів волокон, таких як тонкий помел, механічне руйнування структури паперового полотна (крепування, тиснення), інтенсивне сушіння та підвищення гідрофільності волокон за допомогою хімічних добавок.

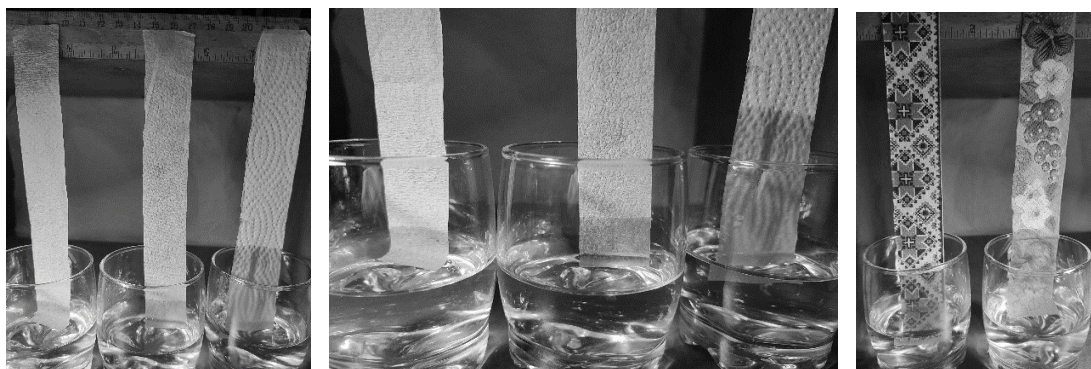
Завдяки поверхневому всотуванню та капілярності виробів тиссю, виготовлених з целюлози, вдалося кількісно визначити властивості утримування рідини. Це було досягнуто шляхом випробовування ефективності структур з тисненням і без нього, які дозволяє визначити, наскільки рідина взаємодіє з волокнистими структурами. Основним методом оцінки поглинальної здатності санітарно-гігієнічного паперу є капілярне поглинання за методом Клемма ISO 8787 [152]. Високий рівень поглинання досягається шляхом накладання декількох шарів серветкового паперу, зазвичай від 1 до 3 шарів (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Результати визначення поверхневого всотування та капілярності
паперових серветок

Зразки серветок	Компонент складу					
	Вода		Вода+гліцерин		Олія	
	Швид. поглинання, хв	Довж., мм/см	Швидкість поглинання хв	Довж., мм/см	Швид. поглинання, хв	Довж., мм/см
1-шарова	0,46	4,2	0,14	3	0,7	1
2-шарова	0,42	6,2	0,35	7	0,45	2,26
2-шарова	0,24	4	0,14	5,4	0,20	1,9
3-шарова	1,14	12,5	1,5	8,3	0,32	2,5
3-шарова без тиснення	1,03	10,1	0,42	6,7	1,40	4,6

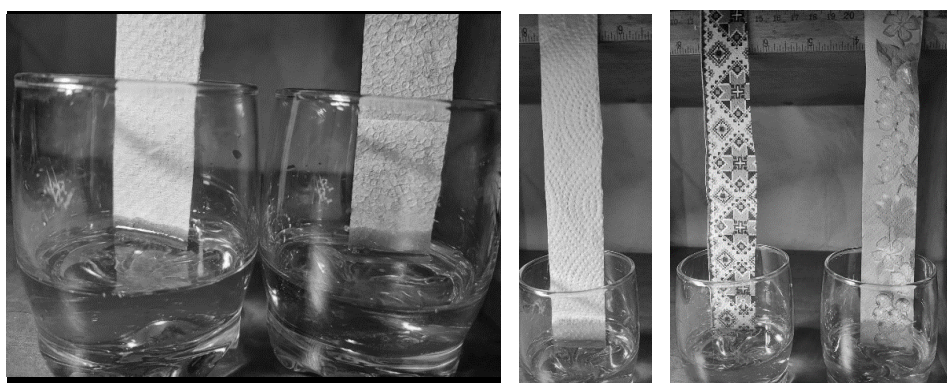
Результати проведених досліджень показали, що індекс поверхневого всотування всіх зразків паперових серветок, а саме: для зразків 2-х та 3-х шарів, має хороше поверхнєве всмоктування, що відповідає нормативним значенням [147, 153].



а



б



в

Рис. 5.7. Вимірювання всотування рідин паперовими серветками: а – вода; б – вода + гліцерин; в – олія

Згідно з нормативною документацією, одношарові серветки повинні мати капілярну вбираючу здатність не менше 20 мм. Для проведення дослідження використовувалися зразки № 1, 2, 3. Як видно, на рис. 5.7, досліджувані зразки всмоктували три різні рідини.

Результати вимірювання показників капілярного всотування паперових серветок подані у табл. 3.17, а також на рис. 5.8–5.9.

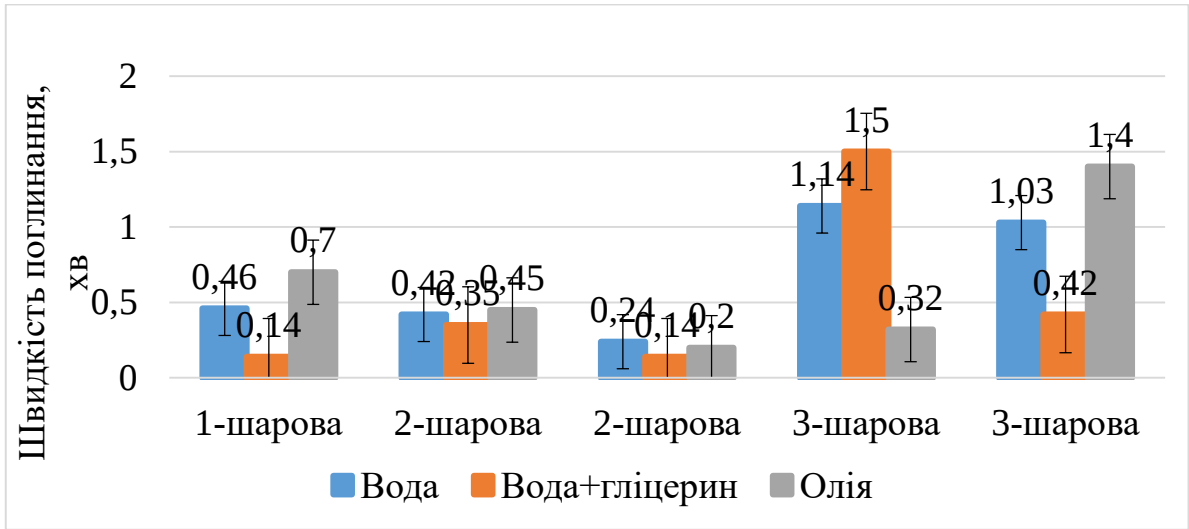


Рис. 5.8. Результати дослідження капілярної всотуваності паперових серветок за методом Клемма (швидкість поглинання)

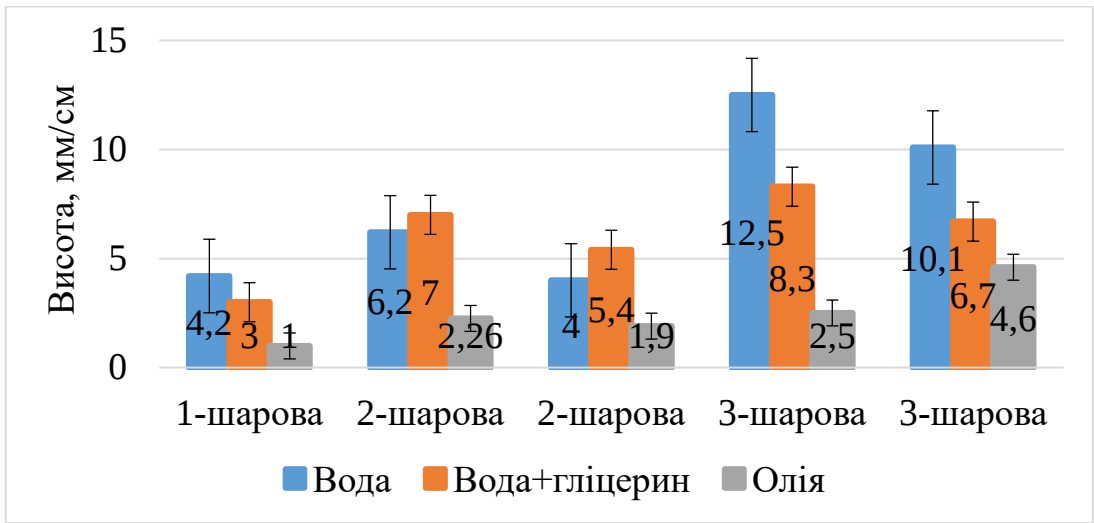


Рис. 5.9. Результати дослідження капілярного всотування паперових серветок за методом Клемма (висота поглинання)

Результати досліджень показали, що показник поверхневого поглинання води та склад (вода та гліцерин) для всіх зразків паперових серветок відповідає вимогам стандарту (більше ніж 20 мм). Швидкість капілярного вбирання олії в структуру серветок збільшується у 2 рази (від одношарових до тришарових

серветок). Висота поглинання водних розчинів у 2-3 шарах серветок збільшується у 3 рази, а висота поглинання олії у 2 рази.

Вбирна здатність є важливою властивістю для серветок і рушників та інших виробів, призначених для витирання рідин. На властивості поглинання впливають хімічні властивості поверхні волокна та пористість структури паперового полотна.

5.3 Експертне оцінювання факторів впливу на якість виробів тиссю

Сучасне імітаційне моделювання виробничих процесів дозволяє моделювати окремі елементи для відтворення послідовності операцій та етапів виробничого процесу і визначення найкращого типу виробничої лінії для оптимальної продуктивності [154].

У роботі [155] автори наголошують, що використання інформаційного забезпечення для імітаційного моделювання сприятиме покращенню конструктивно-технологічних параметрів готової продукції. Адже імітаційне моделювання дає змогу аналізувати всю виробничу систему, яка широко використовується у виробництві виробів тиссю для розв'язання різноманітних проблем, починаючи від оптимізації проміжних процесів і закінчуючи стратегічним управлінням.

Сьогодні реклама часто вирішує політичні, економічні та соціальні проблеми, просуваючи товари на світових ринках. Просування як компанії, так і продуктів, які вона виробляє, відіграє важливу роль, забезпечуючи тим самим здорову конкуренцію на ринку. Якщо проаналізувати всі види сучасної реклами, то можна побачити, що важливе місце займає власна друкована реклама. Саме таку рекламу можна розмістити на виробах тиссю щоденного використання: серветках, рушничках тощо. Тому ряд авторів [156, 157, 158, 159] використовує методи моделювання для оцінювання якості технологічних процесів та готових виробів, зокрема для аналізу впливу коефіцієнтів розподілу і передачі фарби в зонах контактів валиків і циліндрів на точність і динаміку фарбо друкарської системи при отриманні друкарських відбитків на різноманітних матеріалах.

На якість виробів тиссю впливає безліч факторів, які було виокремлено в результаті аналізу наукових джерел, що проводився у два етапи. У першому етапі визначалися фактори, які впливають на якість надрукованих зображень на výroбах тиссю. У другому етапі експертами було встановлено важливість факторів та їх пріоритетність впливу на експлуатацію виробів тиссю. На першому етапі аналіз результатів передбачав використання методу аналізу ієрархій Т. Сааті [133, 160]; на другому – методу, який базується на теорії нечітких множин [134, 135, 136, 161, 162, 163], в результаті чого було побудовано модель факторів впливу на забезпечення якості виробів тиссю.

Для запропонованого дослідження взято до уваги проведене експертне опитування серед фахівців щодо визначення важливості факторів впливу на якість надрукованих зображень на výroбах тиссю [164, 165].

До таких факторів належать: вид виробу, зовнішній вигляд, характеристики способу друку, якість надрукованого зображення, структура матеріалу тиссю тощо. Перелік вище зазначених факторів є важливим у процесі виготовлення виробів тиссю.

Згідно з методом аналізу ієрархій Т. Сааті, кожен із зазначених чинників базується на наявності відповідної бази знань та факторів, які впливають на процес забезпечення якості виробів тиссю в цілому.

Сукупність розглянутих факторів складає множину $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$, з якої можна визначити підмножину $M_1 \in M$ найбільш суттєвих критеріїв. Серед факторів, які впливають на процес забезпечення якості друкування на výroбах тиссю, можна виділити:

$m_1 - 1$ – вид виробу (серветки, скатертини тощо);

$m_2 - 2$ – зовнішній вигляд (оздоблені тисненням і без нього, з надрукованим зображенням, безбарвні, кольорові);

$m_3 - 3$ – характеристики способу друку (флексграфічний, цифровий друк);

$m_4 - 4$ – відсоток задрукованої поверхні (фрагментарне зображення, суцільно задрукована поверхня виробу);

$m_5 - 5$ – якість надрукованого зображення за денситометричними та колориметричними характеристиками (оптична щільність, кольоровідтворення, спотворення, графічні елементи тощо);

$m_6 - 6$ – структура матеріалу тиссю (одно-, дво-, тришарові);

$m_7 - 7$ – тип обробки виробів тиссю (каландровані, некаландровані, сухі, вологі, ароматизовані, антисептичні тощо);

$m_8 - 8$ – вплив навколишнього середовища (температура, вологість);

$m_9 - 9$ – умови експлуатації (стійкість до розриву, продавлювання, всотування вологи).

Для того, щоб проаналізувати вплив обраних факторів, позначених підмножиною M , використовуючи можливі взаємозв'язки між ними, що представлені у вигляді приблизного графа (рис. 5.10), елементи підмножин M у вершинах графа розмістимо, а дуги в результаті будуть з'єднувати сусідні вершини (m_i, m_j) , для яких визначаються взаємозв'язки, що вказують на вплив фактора m_i на фактор m_j . Так, наприклад, структура матеріалу та відсоток задрукованої поверхні впливають на якість надрукованого зображення вибраного способу друку, а зовнішній вигляд виробу тиссю залежить від способу друку.

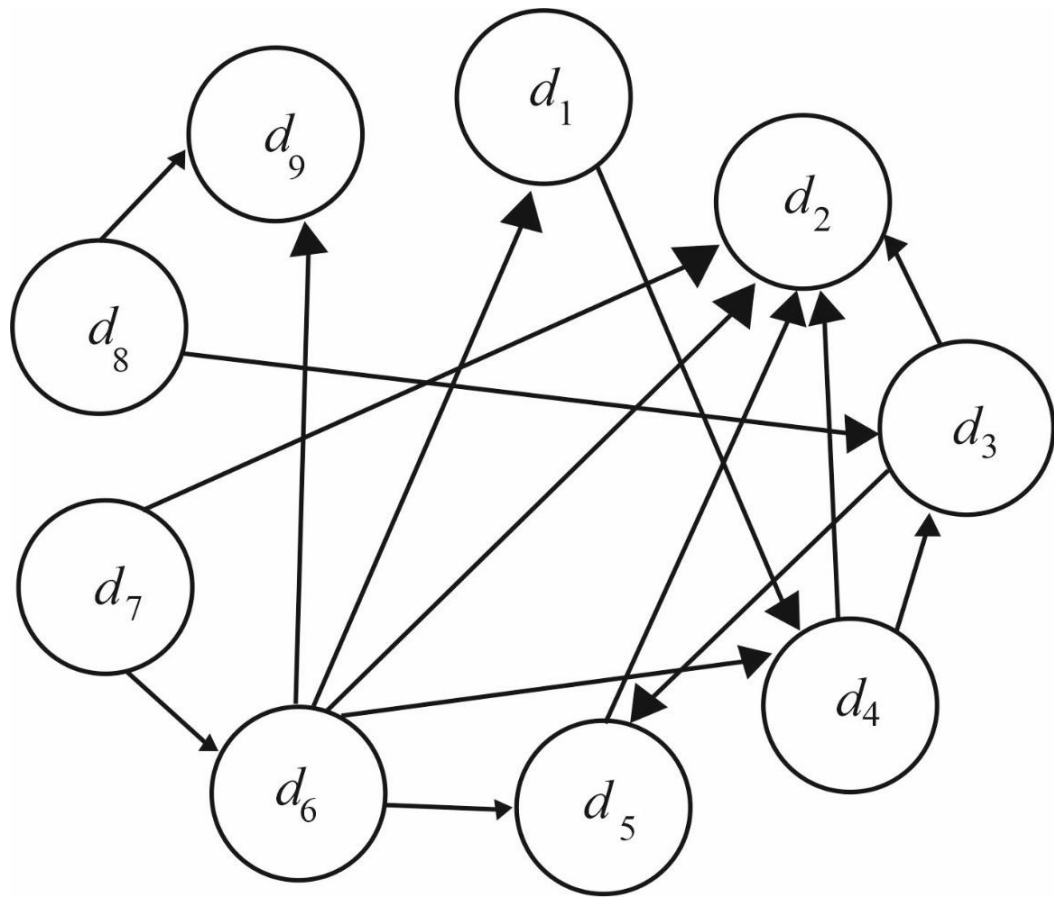


Рис. 5.10. Граф зв'язків, що відображає взаємозв'язок між факторами впливу на процес забезпечення якості надрукованих зображень на виробх тиссю

Встановлюємо рівні пріоритетного впливу факторів на процес забезпечення якості надрукованих відбитків. Для цього використаємо з системного аналізу метод ієрархій. На основі представленого графа зв'язків між факторами впливу будуємо матрицю залежності для множини факторів M .

Використовуючи матрицю A , побудуємо матрицю досяжності, формуючи бінарну матрицю $(I+A)$, де I — одинична матриця, а отримана матриця досяжності повинна задовольняти таку умову:

$$(I + A)^{k-1} \leq (I + A^k) + (I + A)^{k+1}, \quad (5.1)$$

На основі графу побудовано матрицю досяжності, а її побудова зводиться до створення та заповнення табл. 5.4, визначаючи бінарні елементи, які визначаються за логічним правилом:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо зі можна попасти в } j \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases}. \quad (5.2)$$

Таблиця 5.4

Матриця досяжності

К-ть		1	2	3	4	5	6	7	8	9
m		m ₁	m ₂	m ₃	m ₄	m ₅	m ₆	m ₇	m ₈	m ₉
1	m ₁	1	0	0	1	0	0	0	0	0
2	m ₂	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	m ₃	0	0	1	0	1	0	0	0	0
4	m ₄	0	1	1	1	0	0	0	0	0
5	m ₅	0	1	0	0	1	0	0	0	0
6	m ₆	1	1	0	1	1	1	0	0	1
7	m ₇	0	1	0	0	0	1	1	0	0
8	m ₈	0	0	1	0	0	0	0	1	1
9	m ₉	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Вершина m_j є досяжною з вершини m_i, якщо в графі (рис. 5.10) існує шлях, який веде з вершини m_i до вершини m_j. Оскільки дана вершина називається досяжною, підмножину подібних вершин позначимо через R(m_i).

Аналогічно, вершина m_i є провідною для вершини m_j, якщо вона досяжна з цієї самої вершини. Множину провідних вершин позначимо через A(m_i).

Перетин підмножини досяжних вершин і підмножини провідних є підмножиною:

$$K(m_i) = R(m_i) \cap A(m_i), \quad (5.3)$$

Вершина, яка недосяжна з будь-якої множини вершин m_i , що залишилися, визначає певний рівень пріоритетності дії фактора ієрархії, віднесеного до цих вершин. Додатковою умовою є гарантувати рівність:

$$A(m_i) = K(m_i), \quad (5.4)$$

Виконання сукупності вищезазначених кроків дає змогу створити перший рівень ієрархії факторів. Для його визначення на підставі попередньої матриці створюємо табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Перший рівень ієрархії факторів

m_i	$R(m_i)$	$A(m_i)$	$R(m_i) \cap A(m_i)$
1	1, 4	1, 6	1
2	2	2, 3, 4, 5, 6, 7	2
3	3, 5	3, 4, 8	3
4	2, 3, 4	1, 4	4
5	2, 5	3, 5, 6	5
6	1, 2, 4, 5, 6, 9	6, 7	6
7	2, 6, 7	7	7 ←
8	3, 8, 9	8	8 ←
9	9	8, 9, 6	9

Результати першого рівня ієрархії продемонстровано в табл. 5.5, де другий її стовпець – це номери одиничних елементів відповідних рядків матриці досяжності, а третій стовпець – це номери одиничних елементів стовпців цієї матриці.

Тобто перелік співпадіння номерів критеріїв у рівності (2) у третьому та четвертому стовпцях таблиці виконується для факторних елементів з номерами 7 та 8, які позначають фактор: тип обробки виробів тиссю (каландровані, не каландровані, сухі, вологі, ароматизовані, антисептичні тощо) та вплив навколишнього середовища (температура, вологість). Вони будуть факторами

першого рівня ієрархії факторів, які розглядаємо факторами як найбільш пріоритетні в процесі забезпечення якості використання виробів тиссю.

Згідно з відомим методом [166, 167] вилучаємо рядки в таблиці з номерами 7 і 8, а в другому та третьому стовпцях забираємо цифри 7 і 8. У результаті отримаємо нову табл. 5.6, яка буде використовуватися для другого рівня ієрархії для обчислення.

Таблиця 5.6

Другий рівень ієрархії факторів

m_i	$R(m_i)$	$A(m_i)$	$R(m_i) \cap A(m_i)$
1	1, 4	1, 6	1
2	2	2, 3, 4, 5, 6	2
3	3,5	3, 4	3
4	2, 3, 4	1, 4	4
5	2, 5	3, 5, 6	5
6	1, 2, 4, 5, 6, 9	6	6 ←
9	9	9, 6	9

За тією ж процедурою, що й раніше, отримуємо для рівня другого фактора 6 – структура матеріалу тиссю (одно-, дво-, тришарові) (табл. 5.7).

Таблиця 5.7

Третій рівень ієрархії факторів

m_i	$R(m_i)$	$A(m_i)$	$R(m_i) \cap A(m_i)$
1	1, 4	1	1 ←
2	2	2, 3, 4, 5	2
3	3,5	3, 4	3
4	2, 3, 4	1, 4	4
5	2, 5	3, 5	5

9	9	9	9 ←
---	---	---	-----

На 3-ій ієрархічний рівень майбутньої моделі виходить 2 фактори: 1 – вид виробу (серветки, скатертини тощо) та 9 – умови експлуатації (стійкість до розриву, продавлювання, всотування вологи).

Таблиця 5.8

Визначення четвертого рівня ієрархії факторів

m_i	$R(m_i)$	$A(m_i)$	$R(m_i) \cap A(m_i)$
2	2	2, 3, 4, 5	2
3	3,5	3, 4	3
4	2, 3, 4	4	4 ←
5	2, 5	3, 5	5

З табл. 5.8 визначаємо 4-й рівень, який утворює один фактор: 4-й фактор – відсоток задрукованої поверхні (фрагментальне зображення, суцільно задрукована поверхня виробу).

Таблиця 5.9

Визначення п'ятого рівня ієрархії факторів

m_i	$R(m_i)$	$A(m_i)$	$R(m_i) \cap A(m_i)$
2	2	2, 3, 5	2
3	3,5	3	3 ←
5	2, 5	3, 5	5

З табл. 5.9 бачимо, що наступний 5-й рівень складає один фактор: 3-й – характеристики способу друку (флексграфічний, цифровий друк).

Таблиця 5.10

Визначення шостого рівня ієрархії факторів

m_i	$R(m_i)$	$A(m_i)$	$R(m_i) \cap A(m_i)$
2	2	2, 5	2
5	2, 5	5	5 ←

З табл. 5.10 випливає, що на 6 рівень виходить 5 фактор – якість надрукованого зображення (денситометричні та колориметричні характеристики).

Таблиця 5.11

Визначення сьомого рівня ієрархії факторів

m_i	$R(m_i)$	$A(m_i)$	$R(m_i) \cap A(m_i)$
2	2, 5	2	2 ←

З табл. 5.11 випливає, що на 7-й рівень виходить 2 фактори – зовнішній вигляд (оздоблені тисненням і без нього, з надрукованим зображенням, безбарвні, кольорові).

У результаті була отримана ієрархічна структурована модель (рис. 5.11), яка показує сукупність впливу пріоритетних факторів, що розглядаються в процесі забезпечення якості виробів тиссю.

Вибір факторів для забезпечення якості продукції, встановлених експертами, та фактичних зв'язків між ними має вирішальне значення для розв'язання поставленого завдання. Ці вихідні дані подаються у вигляді вихідного графа (див. рис. 5.10), який містить певну суб'єктивну складову елементів сприйняття процесів, що відбуваються. Якщо кількість та суть зв'язків можуть змінитися, це може призвести до модифікації вихідного графа, а отже, і результуючої моделі.

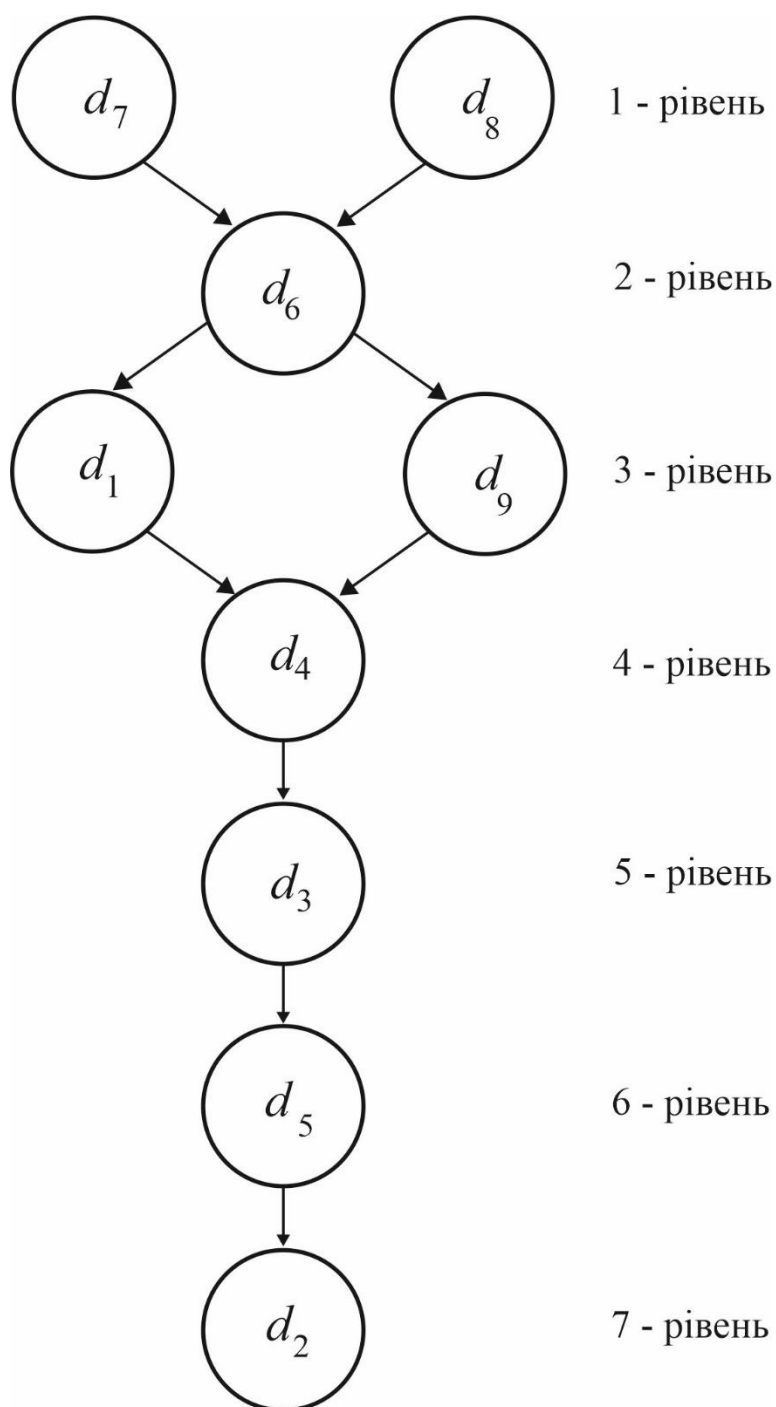


Рис. 5.11. Ієрархічна модель факторів впливу на якість виробів тиссю

На основі сформованої ієрархічної сукупності факторів впливу, представлених на рис. 5.10, яка враховує зв'язки між факторами, відображені у вихідному графі, які показані на (рис. 5.11), якщо кілька факторів формально розташовані на одному рівні, перевага надається тому, до якого приєднано більше вхідних стрілок, що вказують на його вплив на інші фактори. Якщо

кількість стрілок однакова, залучається експертна оцінка. Важливо зазначити, що результати віднесення вибраних факторів до відповідного ієрархічного рівня є об'єктивними, оскільки їх достовірність забезпечується використанням відомих принципів теорії системного аналізу та моделювання, дослідження методології розв'язання проблем забезпечення якості. Поява чи конкретні перешкоди на певному рівні значною мірою залежать від встановлених взаємозв'язків між ними, які відображено у вихідному графіку (рис. 5.10). Якщо кожному фактору присвоїти певне числове значення або відповідний ваговий коефіцієнт пріоритетності дії факторів на процес забезпечення якості виробів тиссю з надрукованими зображеннями, то на основі аналізу рис. 5.11 номеру рівня ієрархії відповідає вагомість фактора. Пріоритетність впливу фактора на процес забезпечення якості виробів тиссю є відносною величиною, яка може змінюватися відповідно до зміни експертної оцінки щодо визначення вагомості впливу того чи іншого фактора на досліджувальний процес.

5.4. Результати досліджень органолептичних показників виробів тиссю з надрукованим флексографічним та цифровим друком зображення

Зовнішній вигляд і характеристики санітарно-гігієнічного паперу є визначальними факторами їх естетичної якості, а саме: кольором, відтінком, засміченістю, художнім оздобленням та іншими показниками. У табл. 5.12 показано органолептичні показники виробів тиссю [151].

Таблиця 5.12

Органолептичні показники виробів тиссю

Колір виробу серветки	Склад	Оздоблення	Запах	Кількість шарів	Зовнішній вигляд
Біла	100 % – целюлоза	З надрукованим тисненням	Без запаху	1-шарова	Згідно ДСТУ 8862:2019
Біла	100 % – целюлоза	З надрукованим тисненням	Без запаху	2-шарова	Згідно ДСТУ 8862:2019

Продовження таблиці 5.12

Біла	100 % – целюлоза	Без тиснення	Без запаху	2-шарова	Згідно ДСТУ 8862:2019
Біла	100 % – целюлоза	З рамковим тисненням та суцільним задруком	Без запаху	3-шарова	Іноді зустрічалися складки
Біла	100 % – целюлоза	Без тиснення	Без запаху	3-шарова	Згідно ДСТУ 8862:2019

Органолептична оцінка даних зразків виробів тиссю виявила, що у п'яти зразків немає жодного запаху. Зовнішній вигляд і характеристики санітарно-гігієнічного паперу є визначальними факторами їх естетичної якості, а саме кольором, відтінком, засміченістю, художнім оздобленням та іншими показниками.

Визначення ступеня узгодженості думок експертів здійснювалося за коефіцієнтом конкордації Кендалла. На якість виробів тиссю впливає багато факторів, які були виокремлені в результаті аналізу наукових джерел, проведених експериментальних досліджень та проаналізовані експертами за певною сумою балів. Тому для визначення ступеня узгодженості думок експертів були вибрані наступні фактори:

$m_1 - 1$ – тип обробки виробів тиссю (каландровані, не каландровані, сухі, вологі, ароматизовані, антисептичні тощо);

$m_2 - 2$ – вплив навколишнього середовища (температура, вологість);

$m_3 - 3$ – структура матеріалу тиссю (одно-, дво-, тришарові);

$m_4 - 4$ – вид виробу (серветки, скатертини тощо);

$m_5 - 5$ – умови експлуатації (стійкість до розриву, продавлювання, всотування вологи);

$m_6 - 6$ – відсоток задрукованої поверхні (фрагментарне зображення, суцільно задрукована поверхня виробу);

$m_7 - 7$ – характеристики способу друку (флексграфічний, цифровий друк);

$m_8 - 8$ – якість надрукованого зображення (денситометричні та колориметричні характеристики);

$m_9 - 9$ – зовнішній вигляд (оздоблені тисненням і без нього, з надрукованим зображенням, безбарвні, кольорові).

В табл. 5.13 представлені результати досліджень факторів впливу на якість санітарно-гігієнічних виробів з урахуванням думок експертів.

Таблиця 5.13

Визначення рангів груп факторів впливу

Фактор/Експерт	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Сума
1	3	4	7	2	5	6	8	9	1	45
2	2	5	7	3	4	6	9	8	1	45
3	4	5	6	1	3	8	7	9	2	45
4	2	5	6	4	3	8	7	9	1	45
5	1	4	7	3	5	6	9	8	2	45
6	5	1	9	2	4	6	7	8	3	45
7	6	5	4	3	2	9	8	7	1	45
8	2	5	6	3	4	8	7	9	1	45
9	2	6	5	4	3	8	9	7	1	45
10	3	5	7	1	4	6	8	9	2	45
11	3	2	6	4	5	9	7	8	1	45

Щоб отримати групову думку експертів, можна використати метод середнього арифметичного ранжування – обчислити суму рангів, присвоєних експертами кожній групі факторів, поділити цю суму на кількість експертів і отримати середній арифметичний та підсумковий ранг (табл. 5.14).

Таблиця 5.14

Підсумковий ранг груп факторів впливу

Фактори	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Сума
Сума рангів	33	47	70	30	42	80	86	91	16	495
Середній арифметичний ранг	3	4,27	6,36	2,72	3,82	7,27	7,81	8,27	1,45	45
Підсумковий ранг	3	5	6	2	4	7	8	9	1	45

Результати визначення підсумкового рангу груп факторів впливу показали наступний результат:

- 1 – вид виробу тиссю (серветки, скатертини тощо);
- 2 – структура матеріалу тиссю (одно-, дво-, тришарові);
- 3 – зовнішній вигляд (оздоблені тисненням і без нього, з надрукованим зображенням, безбарвні, кольорові);
- 4 – спосіб друку (флексografічний, цифровий ink-jet друк);
- 5 – відсоток задрукованої поверхні (фрагментарне зображення, суцільно задрукована поверхня виробу);
- 6 – тип обробки виробів тиссю (каландровані, не каландровані, сухі, вологі, ароматизовані, антисептичні тощо);
- 7 – якість надрукованого зображення за денситометричними та колориметричними характеристиками (оптична щільність, кольоровідтворення, спотворення, графічні елементи тощо);
- 8 – умови експлуатації (стійкість до розриву, продавлювання, всотування вологи);
- 9 – вплив навколишнього середовища (температура, вологість).

Після визначення остаточного висновку експертної робочої групи необхідно визначити ступінь узгодженості думок m експертів. Для визначення ступеня узгодженості експертних думок використовувався коефіцієнт конкордації Кендалла.

Коефіцієнт узгодженості W змінюється в діапазоні від 0 до 1 – $0 \leq W \leq 1$.

Коли $W = 0$, це означає повну неузгодженість, коли $W = 1$ – повну узгодженість думок експертів. Якщо $W < 0,2 - 0,4$, це свідчить про слабку узгодженість експертів; якщо $W > 0,6 - 0,8$, то узгодженість експертів є сильною. $W = 0,6$ свідчить про помірну ступінь узгодженості думок експертів.

Слабка узгодженість зазвичай зумовлена такими причинами:

- відсутність справжньої спільності в думці;
- існування коаліції з високою узгодженістю думок всередині групи, але узагальнена думка цієї коаліції.

Коефіцієнт конкордації Кендалла, тобто коефіцієнт множинної рангової кореляції, необхідний для виявлення узгодженості думок експертів за кількома факторами.

У табл. 5.15 наведені результати розрахунку коефіцієнта Кендалла з урахуванням факторів впливу на якість виробів тиссю, визначених експертами.

Таблиця 5.15

Розрахунок коефіцієнта конкордації Кендалла

1	3	4	7	2	5	6	8	9	1	495
2	2	5	7	3	4	6	9	8	1	
3	4	5	6	1	3	8	7	9	2	
4	2	5	6	4	3	8	7	9	1	
5	1	4	7	3	5	6	9	8	2	
6	5	1	9	2	4	6	7	8	3	
7	6	5	4	3	2	9	8	7	1	
8	2	5	6	3	4	8	7	9	1	
9	2	6	5	4	3	8	9	7	1	
10	3	5	7	1	4	6	8	9	2	
11	3	2	6	4	5	9	7	8	1	
Сума	33	47	70	30	42	80	86	91	16	33195
Квадрат суми	1089	2209	4900	900	1764	6400	7396	8281	256	

Провівши розрахунки за формулами (2) та (3), отримуємо, що $S=5980$. Тоді коефіцієнт конкордації Кендалла, розрахований за формулою (1), $W=0,82$, що свідчить про сильну узгодженість експертів.

Для достовірності факторів впливу на органолептичну оцінку санітарно-гігієнічних виробів доцільно розділити експертні групи на категорії з урахуванням вікової та статевої приналежності, працівників медичної, косметологічної галузей, сфери обслуговування тощо.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5

1. Досліджено експлуатаційні властивості виробів тиссю та встановлено, що фізико-механічні характеристики складових тиссю та кількість шарів у ньому впливають на величину опору продавлювання. Максимальна величина деформації зовнішнього шару характерна для тришарових зразків з тисненням і становить в середньому 15 kPa, а одношаровий та не каландрований зразок витримує найменшу стійкість до деформування шару – 8 kPa.

2. Встановлено, що зі збільшенням кількості шарів зростає деформація міцності на розтяг виробів тиссю, зокрема в поперечному напрямку для одношарових серветок збільшилася на 0,3%, а для двошарових на 0,4% та тришарових на 1,7%. Виявлено, що міцність на розтяг виробів тиссю (у сухому стані) у напрямку MD більша, ніж у напрямку CD і для відбитків флексографічного друку розтяг збільшився на 14,5 N/m, а для відбитків цифрового друку – на 13 N/m. У напрямку MD розтяг виробів тиссю (при вологому стані) більший для не задрукованої серветки, а саме для одношарової – 58,2 N/m, двошарової – 63,6 N/m та тришарової – 61,7 N/m. Міцність на розтяг у поперечному напрямку CD відбитків (у вологому стані) залежить від способу друкування: при флексографічному друці для одношарової серветки зросла на 2 N/m, а для двошарової – на 4,5 N/m, для тришарової серветки з цифровим друком – на 4,1 N/m.

3. Результати проведених досліджень показали, що індекс поверхневого всотування для досліджуваних зразків паперових серветок відповідає нормативним значенням і залежить від пористості паперу тиссю, його структури.

4. Визначено фактори впливу на якість виробів тиссю, визначено їх вагомість та побудовано ієрархічну модель пріоритетного впливу, що дозволить удосконалити процес забезпечення якості продукції з можливістю усунення ймовірних дефектів, які можуть з'явитися при друкуванні та оздобленні відбитків.

5. Методом експертного опитування визначено фактори впливу на органолептичні показники виробів тиссю. Розрахований коефіцієнт конкордації Кендалла $W=0,82$ свідчить про сильну узгодженість думок експертів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні розв'язано актуальне науково-прикладне завдання технологічного забезпечення якості виробів тиссю шляхом виявлення взаємовпливу механізму утворення відбитків флексографічного і цифрового (ink-jet) друку, оздоблення люмінесцентними фарбами на денситометричні та колориметричні показники надрукованих зображень; визначення впливу фізико-хімічних та фізико-механічних властивостей паперу тиссю, його топографії поверхні на експлуатаційні показники продукції, що уможливорює на основі експертного оцінювання факторів впливу на якість виробів, розроблення алгоритму системи обґрунтованого вибору методів друкування та оздоблення для підвищення якості та задоволення запитів споживачів.

При цьому отримано такі нові результати:

1. Вперше розроблено структурну схему процесу забезпечення якості відбитків флексографічного і цифрового (ink-jet) друку на папері тиссю з врахуванням їх фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей, денситометричних, колориметричних та експлуатаційних показників, групування їх за певними ознаками; окреслено дефекти, які часто виникають при флексографічному (ефект Pinholing), та цифровому друці (bleeding), визначені ймовірні причини їх появи, що уможливить прогнозування та підвищення споживчих властивостей готових виробів.

2. Вперше запропоновано метод оздоблення виробів тиссю флексографічними фарбами з домішкою люмінофора, встановлено його оптимальний склад (30%) і за допомогою спектрів свічення модифікованого складу фарби, визначеної оптичної густини, побудованого кола колірнього охоплення відбитку, електронно-мікроскопічних досліджень надрукованих зображень на серветках, підтверджено ефект люмінесценції, що забезпечить підвищення ефективності друкованої реклами на паперовій санітарно-гігієнічній продукції інтенсивного використання.

3. На основі проведених теоретичних і практичних досліджень удосконалено імітаційні моделі, які розкривають механізм формування

зображень струменевим друком на паперах тиссю завдяки взаємодії компонентів чорнила з волокнами целюлози, та моделюють трансфер фарби на субстрат у процесі флексографічного друку, з урахуванням фізико-хімічних властивостей адгезивів і топографії поверхні задруковуваних матеріалів, що дозволяє забезпечити належну якість друкарських відбитків та готових виробів.

4. Виявлено відмінності між денситометричними і колориметричними показниками відбитків флексографічного та цифрового друку на паперах тиссю, зокрема оптична густина для всіх кольорів СМҮК на флексографічному відбитку зростає майже вдвічі, порівняно з відбитками цифрового друку (на контрольній шкалі від 50 до 100%); різниця кольорів на відбитку цифрового друку зростає від фарби yellow до magenta на 1.75%, а для флексографічного відбитку - відповідно на 4%, що підтверджує вплив особливостей механізму утворення друкованих зображень та його врахування для забезпечення якості відбитків при використанні досліджуваних технологій.

5. Вперше підтверджено вплив фарбоємкості анілоксового валика на оптичні та колориметричні показники відбитків флексографічного друку на паперах тиссю, встановлено, що найкраще фарбоперенесення забезпечує комірка анілоксового валика ємністю $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$, що дозволить оптимізувати технологічний процес друкування та зменшити появу дефектів у надрукованих зображеннях.

6. Здійснено термогравіметричний аналіз складових системи «флексографічна фарба – люмінофор – папір тиссю – задрукована серветка», визначено температурний інтервал 20–195 °С, де відбувається виділення летких компонентів зі зразка серветки (7,8%), який супроводжується появою ендотермічного ефекту на кривій ДТА. Початкові термоокисні процеси фарбової композиції починаються за температур, вищих 187 °С і спостерігається незначна втрата маси (1,1%) композиції, зумовлена термоокисленням люмінофора, що підтверджує відсутність негативного впливу люмінофора на процес флексографічного друку та споживчі властивості (за даними проведеного енергодисперсійного рентгенофлуоресцентного аналізу і дозволяє

рекомендувати люмінесцентні фарбові композиції для оздоблення виробів тиссю.

7. Дослідження капілярного поглинання рідин серветками показали, що показник поверхневого поглинання води та композиції (вода + гліцерин) для всіх зразків відповідає вимогам стандарту (більше ніж 20 мм); висота поглинання водних розчинів зростає у 3 рази зі збільшенням кількості з'єднаних паперових шарів, а швидкість і висота капілярного поглинання - у 2 рази відповідно, що підтверджує суттєвий вплив структурної будови та капілярності паперу тиссю на експлуатаційні характеристики виробів.

8. Удосконалено методи дослідження впливу вологи на деформаційні та міцнісні характеристики виробів тиссю, з врахуванням кількості з'єднаних паперових шарів, їх структурної будови, поперечного і поздовжнього напрямку волокон, що дозволить спрогнозувати їх витривалість при розриві, розтягу і продавлюванні під час використання споживачами. Виявлено, що міцність на розтяг флексографічного відбитка зростає зі збільшенням кількості шарів: з 2 N/m для одношарової серветки до 4,5 N/m для двошарової. На величину руйнування серветок при продавлюванні впливає наявність тиснення, яке дещо зменшує стійкість до продавлювання, та друкованого зображення, яке її підвищує.

9. На основі методів експертного опитування здійснено вибір факторів впливу на якість виробів тиссю, визначено їх вагомість з урахуванням органолептичних, технологічних та експлуатаційних показників, на основі чого розроблено ієрархічну модель їх пріоритетного впливу, що дозволить забезпечити прогнозовану якість продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Офіційний сайт Міністерства економічного розвитку і торгівлі України. Целюлознопаперова промисловість України. Retrieved from <http://www.ukrexport.gov.ua/ukr/prom/ukr/25.html>.
2. Оцінка Pro-Consulting (2017). Аналіз ринку паперу тісью (туалетного паперу, паперових рушників і серветок) України. Retrieved from <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-bumagi-ticsyu-tualetnoj-bumagi-bumazhnyh-polotenec-i-salfetok-ukrainy-2017-god>.
3. Андрієвська, Л. В. (2011). Класифікаційні ознаки паперових виробів санітарно-гігієнічного призначення. *Товари і ринки*, 1, 110–114. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/tovary_2011_1_16.
4. Дані аналітичних досліджень ринку. (n.d.). Pro-Consulting. Retrieved from <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/monitoring-cen-na-bumazhnye-izdeliya-rynka-afc-v-ukraine-2019-god>.
5. Золотухіна, К. І. (2022). Аналітичний огляд вітчизняного ринку паперових санітарно-технічних виробів. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доповідей VII Міжнар. наук.-техн. конф.*, 1, 28–29. Харків: ХНУРЕ.
6. Види паперових рушників “Кохавинка”. Retrieved from <https://www.kpf.ua/vydy-papеровyh-rushnykiv-kohavynka/>.
7. Серветки паперові, їх вид, застосування та історія виникнення. (n.d.). Retrieved from <https://clean-spot.com.ua/articles/1402053-servetki-papеровi-ih-vid-zastosuvannya-ta-istoriya-viniknennya/>.
8. Серветки косметичні. (n.d.). Retrieved from horecatrade.od.ua/uk/product-category/sanitarno-gigiienichna-produkciya/servetki-kosmetichni/.
9. Конотопчик, А. В. (2019). Реконструкція технологічного потоку Приватного акціонерного товариства «Київський картонно-паперовий комбінат» з виробництва паперу для серветок. Retrieved from <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/30631>.

10. Личак, Р. Г. (2019). Реконструкція технологічного потоку Приватного акціонерного товариства «Київський картонно-паперовий комбінат» з виробництва паперу-основи для серветок: (Магістерська дисертація: *161 Хімічні технології та інженерія*). Київ. Retrieved from <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/f157c9bd-631f-466b-b511-652ca00c2d83/content>.
11. Скоробогатова, Н. Є., & Гурін, Д. В. (2018). Конкуренентоспроможність українських підприємств целюлозно-паперової промисловості в умовах Індустрії 4.0. *Ефективна економіка*, (12). Retrieved from <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6745>.
12. Тенденції інноваційних процесів у целюлозно-паперовій галузі України. (n.d.). Retrieved from <http://global-national.in.ua/archive/11-2016/73.pdf>.
13. Довганич, В. В., & Довганич, А. В. (2022). АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ПАПЕРОВИХ САНІТАРНО-ГІГІЄНИЧНИХ ВИРОБІВ. *EDITORIAL BOARD*, 475.
14. Оцінка Pro-Consulting. Аналіз ринку виробів з паперу тісською в Україні. (2018). Retrieved from <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-izdelij-iz-bumagi-tissyu-v-ukraine-2018-god>.
15. Оцінка Pro-Consulting. Аналіз ринку виробів з паперу (туалетний папір, серветки, паперові рушники) України. (2019). Retrieved from <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/issledovanie-rynka-izdelij-iz-bumagi-tualetnaya-bumaga-salfetki-bumazhnye-polotenca-ukrainy-2019-god>.
16. Оцінка Pro-Consulting. Аналіз ринку одноразової продукції для індустрії краси України. (2021). Retrieved from <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-odnorazovoj-produkcii-dlya-industrii-krasoty-ukrainy-2021-god>.
17. Оцінка InVenture. Ринок санітарно-гігієнічних паперових виробів та целюлози в Україні. (n.d.). Retrieved from <https://inventure.com.ua/uk/analytics/investments/rinok-sanitarno-gigiyenichnih-papеровih-virobiv-ta-celyulozi-v-ukrayini>.

18. Оцінка Pro-Consulting. Аналіз ринку санітарно-гігієнічної паперової продукції та целюлози в Україні. (2022). Retrieved from <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-sanitarno-gigienicheskoy-bumazhnoj-produkcii-i-cellyulozy-v-ukraine-2022-god>.

19. Jastrzębski, M. (2021). *Rynek papierów higienicznych w Polsce w 2020*. Przegląd Papierniczy, - Tom R. 77, Nr 3 (2021) - BazTech - Yadda. <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-95f1052c-b4cb-4a8f-a30c-35eedc4a5efe>.

20. ANDRIYEVSKA, L. (2010). Основні тенденції розвитку вітчизняного та світового ринку паперових виробів санітарно-гігієнічного призначення. *INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL COMMODITIES AND MARKETS*, 9(1), 41-47.

21. Stellar Market Research. Tissue paper market: Industry Analysis and Forecast (2024–2030) Trends, Statistics, Dynamics. (n.d.). Retrieved from <https://www.stellarmr.com/report/Tissue-paper-market/984>.

22. Market Research Future. Wet Tissue and Wipes Market Research Report Information by Technology (Spunlace, Airlaid, Wetlaid and others), End-Use (Personal Care, Home Care, and Industrial) and Region (North America, Europe, Asia-Pacific, South America, and the Middle East & Africa) – Forecast till 2032. (n.d.). Retrieved from <https://www.marketresearchfuture.com/reports/wet-tissue-wipesmarket-8793>.

23. The Business Research Company. Sanitary Paper Product Global Market Report 2024 By Product (Tissues and Handkerchiefs, Table Napkins, Toilet Paper, Towels, Sanitary Napkins and Tampons, Disposable Diapers), By Application (Residential, Commercial). (2024). Retrieved from <https://www.giiresearch.com/report/tbrc1435539-sanitary-paper-product-global-market-report.html>.

24. O historii papieru toaletowego. (n.d.). Retrieved from <https://muzeumpapiernictwa.pl/zostan-w-domu/o-historii-papieru-toaletowego/>.

25. United States Patent Office (US465588). (n.d.). Retrieved from <https://patentimages.storage.googleapis.com/30/7c/4a/f68bbd4e64a160/US465588.pdf>.

26. Правда про туалетний папір, або Щедрий подарунок до річниці Великого Жовтня. (n.d.). Retrieved from <https://zorya.org.ua/obshhestvo/pravda-pro-tualetnim-papir-abo-shhedrij-podarunok-do-richnici-velikogo-zhovtnya/>.
27. Туалетний папір (Вікіпедія). (n.d.). Retrieved from https://uk.wikipedia.org/wiki/Туалетний_папір.
28. Захопити ринок туалетного паперу і провалитися після 116 років роботи: історія Scott Paper Company. (n.d.). Retrieved from https://teletype.in/@the_old_chest/odq8WAPE0.
29. ДСТУ 2098–92. *Папір. Терміни та визначення*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91113.
30. Wandelt, P. (1998). *Technologia celulozy i papieru. Technologia mas włóknistych*. Warszawa: Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, 280.
31. Przybysz, K. (1997). *Technologia celulozy i papieru. Część I - Technologia papieru*, WSiP, Warszawa.
32. Paulapuro, H. (2000). *Paper and Board Grades. Papermaking Science and Technology Series*. Fapet Oy. ISBN 952-5216-00-7.
33. ISO 12625-1:2016 (n.d.). Retrieved from <https://www.iso.org/ru/standard/66472.html>.
34. Głowacki, K., Onopa, M. (2018). Model oceny jakości papierów higienicznych. *Przegląd Papierniczy*, 74.
35. Ko, Young & Lee, Jae-Bong & Kim, Hyoung-Jin & Sung, Yong. (2016). The Fundamental Absorbency Mechanisms of Hygiene Paper. *Journal of Korea Technical Association of the Pulp and Paper Industry*. 48. 85. 10.7584/JKTAPPI.2016.10.48.5.85.
36. Beuther P.D., Veith M.W., Zwick K.J. (2010). Characterization of Absorbent Flow Rate in Towel and tissue. *Journal of Engineered and Fibers and Fabrics*, 5 (2). <https://doi.org/10.1177/155892501000500201>.
37. Schuster, M. J., Schvezov, E. C., & Rosenberger, R. M. (2015). Analysis of the Results of Surface Free Energy Measurement of Ti6Al4V by Different Methods. *Procedia Materials Science*, 8, 732-741. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.130>.

38. Klepaczka, A., Olejnik, K., & Wysocka-Robak, A. (2000). Postęp w wytwarzaniu papierów sanitarnych. Cz. 2. *Przegląd Papierniczy*, 56(08), 452-454.
39. Przybysz, K. (2007). *Technologia papieru. Część 1, Papiernicze masy włókniste*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11652/1828>.
40. Колотило, П. В., & Харчук, О. Г. (2020). Целюлозно-паперова галузь у контексті інноваційного розвитку і виробництва продукції в Україні та закордоном. *Вчені записки ТНУ імені БІ Вернадського. Серія «Економіка і управління»*, 29-35. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/UZTNU_econ_2020_31\(70\)_1_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/UZTNU_econ_2020_31(70)_1_7).
41. Довганич, А. В., & Довганич, В. В. (2022, 27-30 вересня). Аналіз досліджень тенденції розвитку та виготовлення паперової пакувальної продукції. I Міжнародна науково-практична конференція «Current trends in the development of modern scientific thought», Хайфа, Ізраїль, с. 472-474. Retrieved from <https://isg-konf.com/uk/current-trends-in-the-development-of-modern-scientific-thought/>.
42. De Assis, T., Reisinger, L. W., Pal, L., Pawlak, J., Jameel, H., & Gonzalez, R. W. (2018). Understanding the effect of machine technology and cellulosic fibers on tissue properties—A review. *BioResources*, 13(2), 4593-4629. <https://doi.org/10.15376/biores.13.2.DeAssis>.
43. Видавничо-поліграфічні матеріали. Друкарський папір та картон. (2021). Чернівецький нац. ун-т. Retrieved from https://archer.chnu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/3187/%D0%92%D0%9F%D0%9C_%D0%A71_.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
44. Sun, S. N., Cao, X. F., Li, H. Y., Xu, F., & Sun, R. C. (2014). Structural characterization of residual hemicelluloses from hydrothermal pretreated Eucalyptus fiber. *International journal of biological macromolecules*, 69, 158-164.
45. Our Industry. (n.d.). Retrieved from <https://www.fta-europe.eu/our-industry/>.
46. Repeta, V., Kukura, T., Havrylyshyn, V., & Kukura, Y. (2023). Analysis of factors and construction of prognostic quality models of flexographic printing process

of packaging with solvent based inks. *Journal of Graphic Engineering and Design*, 14(3), 37–44. <https://doi.org/10.24867/jged-2023-3-037>.

47. Зоренко, О. В., Стефанишена, О. Б., Хохлова, Р. А., & Штефан, Є. В. (2021). Трибологічний аналіз системи «друкарська форма глибокого методу друку—відбиток». *Технологія і техніка друкарства*, 1(71), 37–50. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(71\).2021.228973](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(71).2021.228973).

48. Киричок, П. О. (2024). Оптимізація чисельного аналізу для прогнозування деформацій обкладинок під час фальцювання. *Технологія і техніка друкарства*, (2 (84)), 4-20.

49. Довганич, В. В. (2022). Аналіз якості оздоблення флексодруком виробів тиссю. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доповідей VII Міжнар. наук.-техн. конф.*, 1, 24-25. Харків: ХНУРЕ. Retrieved from <https://openarchive.nure.ua/handle/document/20431>.

50. Козик, О. М. (2009). Управління кольороподілом в друкарських технологіях на прикладі флексографського друку. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*, 52 Retrieved from <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/26528>

51. Маїк, Л. Я., Ковальський, Б. М., Дубневич, М. М., & Вітик, Б. М. Дослідження цифрових технологій виготовлення флексографічних форм фірми Dupont. *Поліграфія і видавнича справа*, 1(85), 81-90.

52. Маїк Л. Я., Ткач О. М., Ковальський Б. М., Голубник Т. С. (2023). Система керування Automation Engine Pilot фірми Esko для додрукарської підготовки етикетково-пакувальної продукції. *Наукові записки*, 2 – (67), 32-41.

53. Kopibum. (n.d.). *Флексоdruk: технологія і переваги*. Kopibum. <https://kopibum.com/fleksodruk-tekhnohiiia-i-perevahy-73/>.

54. Босак, В. О., Сенкус, В. Т., & Кравчук, І. М. (2012). Устаткування спеціальних видів друку і спеціального призначення: Львів. *Львів: УАД.*, 139 с.

55. Кукура, Ю. А., Репета, В. Б., Кукура, Т. Ю., Кукура, В. В. (2021). Вплив режимів мікрорастрування флексографічних друкарських форм на якість

відбитків. *Наукові записки*, 2 (63), 42–51. <https://doi.org/10.32403/1998-6912-2021-2-63-42-51>.

56. Repeta, V. B., & Kukura, Y. A. (2022). Potential harmfulness of solvent flexographic inks for flexible packaging printing. *Scientific Papers (Ukrainian Academy of Printing)*, 1(64), 86–95. <https://doi.org/10.32403/1998-6912-2022-1-64-86-95>.

57. Khadzhynova, S., & Jakucewicz, S. (2016). *Sposoby drukowania cyfrowego: monografia*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, SBN 978-83-7283-754-7., 242, Retrieved from <http://hdl.handle.net/11652/1341>

58. Цифровий друк і переваги цифрового друку. (n.d.). *PrintStudio*. Retrieved from <https://printstudio.top/chto-takoe-cifrovaya-pechat-i-preimushhestva-cifrovoj-pechati/>.

59. Що таке цифровий друк. (n.d.). *Kryvyi Rih DP*. Retrieved from <https://kryvyirih.dp.ua/shho-take-cifrovij-druk>.

60. Види друку – цифровий, офсетний, трафаретний. (n.d.). *PRO консультант*. Retrieved from https://pro.com.ua/blog/vidyi-pechati-%E2%80%93-tsifrovaya-ofsetnaya-trafaretnaya-143/?srsltid=AfmBOor4VAV5F-oV-MpqUKPP_YkPjMjF0goUTOKBxK4XMOF6V50EmtVc.

61. Кохановський, В. О., Зоренко, О. В., & Хохлова, Р. А. (2023). Чинники, що визначають потребу поліграфічного підприємства у виробничому технологічному обладнанні. *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).

62. Кульбич, І. К., & Лотоцька, О. І. (2013). Оцінка якості відбитків при цифровому друці. *Технологія і техніка друкарства*, (4(42), 25–39. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(42\).2013.30816](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(42).2013.30816).

63. Гордєєв, А. С. (2021). Комплексна оцінка якості цифрового друку. *Поліграфія і видавнича справа*, 2(82), 29–36. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pivs_2021_2_5.

64. Bernatsek, V., Zanko, N., Labetska, M., & Dovganich, V. (17–19 October, 2021). Research of color reproduction in digital printing of packaging using profiles with

different level of black generation. Proceedings of VIII International Scientific and Practical Conference «Results of modern scientific research and development», 96–99. Retrieved from <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/10/RESULTS-OF-MODERN-SCIENTIFIC-RESEARCH-AND-DEVELOPMENT-17-19.10.21.pdf>.

65. Маршуба, В. П., & Яценко, Л. О. (2015). Деякі аспекти визначення параметрів якості цифрового друку, одиниці виміру, їх еталонні значення та критерії оцінки. *Машинобудування: зб. наук. праць*, 16, 122–130. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mashbud_2015_16_22.

66. 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>.

67. Kyrychok, T., Kazhmuratov, Z., Kyrychok, P., Klymenko, T., & Sokol, O. (2021, December). Optical methods development for banknote deterioration evaluation. In *Fifteenth International Conference on Correlation Optics* (Vol. 12126, pp. 350-359). SPIE.

68. Що таке трафаретний друк? Методи, види, технології та застосування шовкографії. (n.d.). *Forward Print*. Retrieved from <https://forwardprint.com.ua/ua/chto-takoe-trafaretnaya-pechat>.

69. Ковалишин, О. О. (2017). Дослідження якості друку на серветках. *Квалілогія книги*, 2, 54–63. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Kk_2017_2_11.

70. Aichouni, A., Ramlie, F., & Abdullah, H. (2021). Process improvement methodology selection in manufacturing: A literature review perspective. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 8(3), 12–20. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2021.03.002>.

71. Vieira, J. C., Fiadeiro, P. T., & Costa, A. P. (2023). Converting operations impact on tissue paper product properties – A review. *BioResources*, 18 (1), 2303.

72. de Oliveira Mendes, A., Vieira, J. C., Carta, A. M., Galli, E., Simões, R., Silva, M. J. D. S., & Fiadeiro, P. T. (2020). Influence of tissue paper converting

conditions on finished product softness. *BioResources*, 15(3), 7178. <https://doi.org/10.15376/biores.15.3.7178-7190>.

73. Tissue converting. (n.d.). *Tissueeasy*. Retrieved from https://www.tissueeasy.com/_tissue-converting.php.

74. Довганич, В. В. (2023). Оздоблення виробів тиссю методом тиснення. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. VIII Міжнародної науково-технічної конференції*, 1, 25–26. Харків: ХНУРЕ. Retrieved from <https://pmw.nure.ua/download/ukr/Tezisy-konferenciya%20%20PMW-2023.pdf>.

75. Kyrychok, P., Khmiliarchuk, O., Chepurna, K., Barauskiene, O., & Machynskyi, O. (2024, January). Providing optical characteristics of print on synthetic papers by foil stamping. In *Sixteenth International Conference on Correlation Optics* (Vol. 12938, pp. 129-132). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.3011067>.

76. Vieira, J. C., Mendes, A. d. O., Ribeiro, M. L., Vieira, A. C., Carta, A. M., Fiadeiro, P. T., & Costa, A. P. (2022). Embossing pressure effect on mechanical and softness properties of industrial base tissue papers with finite element method validation. *Materials*, 15(12), 23-24. <https://doi.org/10.3390/ma15124324>.

77. Szewczyk, S., Khadzhynova, S., & Pełczyński, P. (2015). Ocena względnego pola powierzchni wytłoczeń wyrobów z papierów higienicznych za pomocą analizy obrazów cyfrowych. *Przegląd Papierniczy*, 71(9), 533–537. <https://doi.org/10.15199/54.2015.9.2>.

78. Szewczyk, W., Khadzhynova, S., & Pełczyński, P. (2015). Wpływ wytłaczania papierów higienicznych na ich właściwości fizyczne. *Przegląd Papierniczy*, 71(12), 699–704. Retrieved from <https://doi.org/10.15199/54.2015.12.2>.

79. Vieira, J. C., Fiadeiro, P. T., & Costa, A. P. (2023). Converting operations impact on tissue paper product properties—a review. *BioResources*, 18(1), 2303–2326.

80. de Oliveira Mendes, A., Vieira, J. C., Carta, A. M., Galli, E., Simões, R., Silva, M. J. D. S., & Fiadeiro, P. T. (2020). Influence of tissue paper converting conditions on finished product softness. *BioResources*, 15(3), 7178–7190. <https://doi.org/10.15376/biores.15.3.7178-7190>.

81. Vieira, J. C., Morais, F., de Oliveira Mendes, A., Ribeiro, M. L., Carta, A. M., Curto, J., & Costa, A. P. (2022). Mechanical and softness characterization of “deco” and “micro” embossed tissue papers using finite element model (FEM) validation. *Cellulose*, 29(10), 5895-5912.
82. Vieira, J. C., Mendes, A. d. O., Ribeiro, M. L., Vieira, A. C., Carta, A. M., Fiadeiro, P. T., & Costa, A. P. (2022). Embossing Pressure Effect on Mechanical and Softness Properties of Industrial Base Tissue Papers with Finite Element Method Validation. *Materials*, 15(12), 4324. <https://doi.org/10.3390/ma15124324>.
83. Vieira, J. C., Mendes, A. de O., Carta, A. M., Galli, E., Fiadeiro, P. T., & Costa, A. P. (2020). Impact of embossing on liquid absorption of toilet tissue papers. *BioResources*, 15(2), 3888–3898. <https://doi.org/10.15376/biores.15.2.3888-3898>.
84. Компанія АТМА «Паперові вироби санітарно-гігієнічного призначення». (n.d.). Retrieved from <https://atma.ua/paperovi-vyroby>.
85. Vieira, J. C., Vieira, A. C., De O Mendes, A., Carta, A. M., Fiadeiro, P. T., & Costa, A. P. (2021). Toilet paper perforation efficiency. *BioResources*, 17(1), 492–503. <https://doi.org/10.15376/biores.17.1.492-503>.
86. Vieira, J. C., Vieira, A. C., Mendes, A. D. O., Carta, A. M., Fiadeiro, P. T., & Costa, A. P. (2021). Mechanical behavior of toilet paper perforation. *BioResources*, 16(3), 4846-4861.
87. Ko, Y., Park, J., & Kim, H.-J. (2017). Characterization of Surface Properties of Paper Towels. *Journal of Korea Technical Association of the Pulp and Paper Industry*, 49(6), 81–89. <https://doi.org/10.7584/JKTAPPI.2017.12.49.6.81>.
88. De Assis, T., Reisinger, L. W., Pal, L., Pawlak, J., Jameel, H., & Gonzalez, R. W. (2018). Understanding the effect of machine technology and cellulosic fibers on tissue properties—A review. *BioResources*, 13(2), 4593-4629. <https://doi.org/10.15376/biores.13.2.DeAssis>.
89. Pawlak, J. J., Frazier, R., Vera, R. E., Wang, Y., & Gonzalez, R. (2022). The softness of hygiene tissue. *BioResources*, 17(2), 3509–3550.
90. Довганич, В. В. (2024). Оцінювання якості цифрового друку зображень на паперових серветках. *Поліграфічні, мультимедійні та web-*

технології : тези доп. IX Міжнар. наук.-техн. конф. Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид». Т. 1, с. 225-226.

91. Приладдя, С.-. П. В. С. (2019, November 4). Серветки паперові, їх вид, застосування та історія виникнення. clean-spot.com.ua. <https://clean-spot.com.ua/articles/1402053-servetki-paperovi-ih-vid-zastosuvannya-ta-istoriya-viniknennya/>.

92. Андрієвська, Л. В., Глушкова, Т. Г., Коптюх, Л. А., & Стретович, С. С. (2016). Підвищення вологоміцності паперу шляхом використання поліамідної смоли. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 1(5 (78)), 31-38. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/pidvischennya-vologomitsnosti-paperu-shlyahom-vikoristannya-poliamidnoyi-smoli>.

93. ГОСТ 12602-93 Папір і картон. Визначення капілярного поглинання. Метод Клема (ИСО 8787-86). Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=94711.

94. ДСТУ 4266:2022. (2022). Папір туалетний із макулатури. Технічні умови. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=97170.

95. ТУ, У. (2013). У 17.1-05509659-033: 2013. Технічні умови на виробництво паперу для виробів санітарно-гігієнічного призначення з целюлози марки СГ. Обухів: Київський картонно-паперовий комбінат.

96. Конотопчик, А. В. (2019). Реконструкція технологічного потоку Приватного акціонерного товариства «Київський картонно-паперовий комбінат» з виробництва паперу для серветок. Retrieved from <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/30631>.

97. Пенкіна Н.М., Колесник В.В., Полупан В.В., Сорокіна С.В., Акмен В.О. (2019). *Товари особистого призначення*: навч. Посібник. ХДУХТ, 361.

98. Стретович, С. С., & Глушкова, Т. Г. (2015). Визначення критеріїв ідентифікації для різних видів паперу. *Актуальні проблеми теорії і практики експертизи товарів: матеріали II міжнародної науково-практичної інтернет-конференції*, 197-200. ПУЕТ.

99. ДСТУ 4266:2022. (2022). *Папір туалетний із макулатури*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=97170.
100. Офіційний сайт Київського картонно-паперового комбінату. (n.d.). Retrieved from <http://www.papir.kiev.ua>.
101. Все по серветці. (n.d.). Retrieved from <https://xn--80abmqjziir9e.com.ua/ua/a210123-vse-salfetke.html>.
102. Головка, Т. М., Акмен, В. О., Сорокіна, С. В., & Більчук, О. С. (2021). Вбирна здатність, як необхідний параметр класифікації паперових виробів санітарно-гігієнічного призначення. *Актуальні питання експертної та оціночної діяльності : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. ЛНУ ім. Тараса Шевченка*. 104–105.
103. Головка, Т. М., Колесник, В. В., & Ходаковська, Д. В. (2017). Експертиза якості паперових рушників різних виробників. *Молодий вчений*, (9), 450–453. Retrieved from <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2017/9/100.pdf>.
104. Коптюх, Л. А., Глушкова, Т. Г., & Легкий В. Н. (2006). Волокниста композиція і її вплив на показники механічної міцності паперу для друку зниженої маси 1м². *Технологія і техніка друкарства*, 1(2), 154–166.
105. Agarwal, S., Srivastava, P., Green, S. I., & Phani, A. S. (2023). The influence of microstructure on the tensile properties of a creped tissue paper: modeling and experiments. *Mechanics of Materials*, 176, 104505. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167663622002691?via%3Dihub>.
106. ДСТУ EN ISO 15755:2005. (2005). *Папір і картон. Визначення небажаних домішок*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=53654.
107. Morais, F. P., Vieira, J. C., Mendes, A. O., Carta, A. M., Costa, A. P., Fiadeiro, P. T., Curto, J. M. R., & Amaral, M. E. (2021). Characterization of absorbency properties on tissue paper materials with and without “deco” and “micro” embossing patterns. *Cellulose*, 29(1), 541–555. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04328-1>.

108. Оси́ка, В. А., Коптюх, Л. А., Комаха, В. О., & Шульга, О. С. (2019). Характеристика мікроструктури та властивостей паперу різної щільності. *Технічні науки та технології*, (3 (17)), 267-274.
109. Ковальський, Б. М., Гавриш, Б. М., & Занько, Н. В. (2023). Модель функціонування ІТ-системи контролю якості поліграфічної продукції на операційному рівні. *Наука і техніка сьогодні*. 12(26), 713-725.
110. TV 503 Line. Available. (n.d.). Retrieved from <https://www.pulpandpaper-technology.com/products/omet-srl/tv-503-line-tissue-converting-line-for-napkins-and-placemats>.
111. «Flexiproof 100» RK PrintCoat Instruments Ltd. (n.d.). Retrieved from <https://industrialphysics.com/wp-content/uploads/2024/01/RK-Flexiproof-v5.pdf>.
112. Нова цифрова друкарська машина HP Nouvelle machine d'impression numérique TICAB PRINTING SYSTEM TP. (n.d.). Retrieved from <https://machineryline.ua/-/prodazh/cifrovi-drukarski-mashini/Ticab-Print/PrintingMachine-TICAB-PRINT-paper-bags-cardboard-boxes--21112411112960281400>.
113. TICAB PRINT Industrial Printer from the Manufacturer: Best Price, Full Service. Retrieved from <https://www.ticabprint.com/uk>.
114. Спектрофотометр X-Rite eXact Advanced. (n.d.). Retrieved from <https://machouse.ua/ru/exactadvanced-ru/>.
115. 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.
116. SO 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*. Online Browsing Platform. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/57833.html>.
117. Спектроденситометр Konica Minolta FD-5bt. (n.d.). Retrieved from <https://www.konicaminolta.eu/eu-en/hardware/measuring-instruments/graphic-arts/fd-5>.

118. AniCAM HD™: Precision Anilox Inspection System. (n.d.). Retrieved from <https://www.daetwyler-usa.com/products/all/anacam-hd/>.
119. Intel Play QX3 USB Microscope.JPG. (n.d.). Retrieved from https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Intel_Play_QX3_USB_Microscope.JPG.
120. Портативний професіональний цифровий мікроскоп x1600. (n.d.). Retrieved from <https://hapstone.pro/uk/instrumenti/portativniy-cifroviy-mikroskop-h1600>.
121. Установка компресорна УК 25-1,6 М. (n.d.). Retrieved from <https://med-texnika.com/Compressor-installation-UK-25>.
122. ISO 12625-4:2022. (n.d.). Retrieved from <https://www.iso.org/standard/80328.html>.
123. Тестовий пристрій TIRA 28005. (n.d.). Retrieved from <https://www.directindustry.fr/prod/tira-gmbh/product-69591-2469548.html>.
124. TSA – Tactile Sensation Analyzer. (n.d.). Retrieved from <https://www.emtec-electronic.de/en/tsa-tissue-softness-analyzer.html>.
125. Havenko, S., Dovhanych, V., & Kochubei, V., (2025). Defining features of decorating sanitary-hygienic products by the method of flexographic and digital printing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1,1(133), 62–72. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.320495>.
126. ДСТУ 8862:2019. (n.d.). *Вироби з паперу санітарно-гігієнічної та побутової призначеності. Технічні умови*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83256.
127. Папір і картон на основі макулатури, призначені для пакування сухих харчових продуктів. Гігієнічні вимоги, критерії оцінки якості і безпечності, методи визначення (45118). (n.d.). Retrieved from <https://dnaop.com/html/45118/doc-papir-i-karton-na-osnovi-makulaturi-priznacheni-dlya-pakuvannya-suhih-kharchovih-produktiv-gigijenichni-vimogi-kriteriji-ocinki->.
128. Про затвердження Державних санітарних правил і норм «Папір і картон на основі макулатури, призначені для пакування сухих харчових продуктів. Гігієнічні вимоги, критерії оцінки якості і безпечності, методи

визначення». (n.d.). Retrieved from <https://ips.ligazakon.net/document/RE13140?an=107>.

129. Пенкіна, Н. М., Колесник, В. В., Полупан, В. В., Сорокіна, С. В., & Акмен, В. О. (2019). *Товари особистого призначення*. Навч. посібник. ХДУХТ. 264 с.

130. ISO 12625-6:2016. (n.d.). Retrieved from <https://www.iso.org/ru/standard/66472.html>.

131. Ваги для лабораторії A500. (n.d.). Retrieved from <https://ukrvesi.com.ua/ua/p352131366-vesy-dlya-laboratorii.html>.

132. ДСТУ EN 20534:2005. (2005). *Папір і картон. Визначення товщини і уявної щільності одиничного аркуша та в стосі (EN 20534:1993, IDT)*. Retrieved from https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=53860.

133. Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process (AHP). *The Journal of the Operational Research Society*, 41(11), 1073-1076.

134. Ротштейн, О. П., & Ракитянська, Г. Б. (2006). Діагностика на базі нечітких відношень в умовах невизначеності. *Вінниця: УНІВЕРСУМ*. 275.

135. Кондратенко, Ю. П. (2014). Методи обробки нечіткої лінгвістичної інформації в задачах багатокритерійного прийняття рішень. In *Матеріали VI міжнар. наук.-практ. конф. "Сучасні інформаційні та іноваційні технології на транспорті". –Херсон: ХДМА* (pp. 161-163).

136. Желдак, Т. А., Коряшкіна, Л. С., & Ус, С. А. (2020).). *Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень*: навч. посіб. НТУ «ДП». 387 с. Retrieved from <https://ir.nmu.org.ua/entities/publication/829f0bc0-9a83-4fe1-852a-0ae751eade02>.

137. Копчак, Ю., Лобунець, Т., & Луковський, Р. (2024). SWOT-аналіз як важливий інструмент у розробці стратегії бізнесу. *Економіка та суспільство*, (61). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-146>.

138. Kovalskiy, B., Dubnevych, M., Holubnyk, T., Skarga-Bandurova, I., Maik, L., & Selmenska, Z. (2022). Analysis of the Effectiveness of Means to Achieve Optimal Color Balancing in Obtaining a Digital Photographic Image. *CEUR Workshop*

Proceedings, [online] 3156,520-538 Retrieved from <https://ceur-ws.org/Vol-3156/paper40.pdf>.

139. Довганич В. В. (2022). Дослідження задрукованих салфеток флексографічним друком. *Квалілогія книги: збірник наукових праць*, 2 (42), 48-53. doi: 10.32403/2411-3611-2022-2-42-48-53.

140. Довганич, В. В. (2022). Дослідження якості друкованих зображень на паперових салфетках. *Квалілогія книги*, 1 (41), 56-61. doi: 10.32403/2411-3611-2022-1-41-56-61.

141. Благодір, О. Л., & Величко, О. М. (2016). Аналіз розвитку технологій друкування з використанням анілоксових валиків. *Поліграфія і видавнича справа*, (1), 113-118.

142. Sauer, H. M., Daume, D., & Dörsam, E. (2015). Lubrication theory of ink hydrodynamics in the flexographic printing nip. *Journal of Print and Media Technology Research*, 4(3), 163-172.

143. Благодір, О. Л. (2015). Аналіз конфігурації поверхонь анілоксових валиків у коротких фарбодрукарських системах. *Наукові записки [Української академії друкарства]. Серія: Технічні науки*, (1), 52-58.

144. Nguyen, H. A. D., Shin, K., & Lee, C. (2015). Effect of nip force on ink transfer in high resolution roll-to-roll printing. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 16, 517-523.

145. Lorenz, A., Senne, A., Rohde, J., Kroh, S., Wittenberg, M., Krüger, K., & Biro, D. (2015). Evaluation of flexographic printing technology for multi-busbar solar cells. *Energy Procedia*, 67, 126-137.

146. Dovhanych, A., & Dovhanych, V. (2023). Study of the influence of the surface structure of the substrates on the imprints quality. *Innovations in Publishing, Printing and Multimedia Technologies*, 26-33. <https://doi.org/10.59476/ilpmt2023.26-33>.

147. Havenko S., Dovhanych V., Labetska M. (2023). Study of operational (consumer) properties of paper napkins. *Packaging Review*, 4, 22-27. Retrieved from https://packagingreview.eu/wp-content/uploads/2024/12/PR_4_2023.pdf.

148. Довганич, В. В. (2023, January). Дослідження якості друку виробів тиссю флексографічним способом. 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. 445).

149. Гавенко, С. Ф., & Довганич, В. В. (2024). Дослідження механізму утворення кольорових зображень флексографічним способом друку на виробі тиссю. / *Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. працівн. і аспір., 1*, 55. Львів: УАД.

150. Гавенко, С. Ф., & Довганич, В. В. (2023). Дослідження стійкості виробів тиссю до продавлювання. *V Міжнародній науково-практичній конференції студентів, магістрантів та аспірантів. Квалілогія книги*, 56-58. Львів: УАД.

151. Довганич, В. В. (2023). Оздоблення виробів тиссю методом тиснення. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології : тези доп. VIII Міжнародної науково-технічної конференції (PMW2023)*. Харків: ХНУРЕ, Т.1, 25–26. Retrieved from <https://pmw.nure.ua/download/ukr/Tezisy-konferenciya%20%20PMW-2023.pdf>.

152. *ГОСТ 12602-93 Папір і картон. Визначення капілярного поглинання. Метод Клема (ISO 8787-86)*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=94711.

153. Довганич, В. В. (2023). Дослідження капілярного поглинання санітарно-гігієнічних виробів задрукованих флексографічним друком. *Квалілогія книги: збірник наукових праць*, 2 (44), 126–132. doi: 10.32403/2411-3611-2023-2-44-126-132.

154. Нестеренко, А., & Вислоух, С. (2018). Імітаційне моделювання виробничого процесу складання. *Молодий вчений*, (3 (55)), 406-409. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2018_3%282%29__6.

155. 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>.

156. Verkhola, M., Panovyk, U., Kalytka, M., Babych, O. (2021). Modeling and analysis of the ink splitting factors influence on ink filling in offset printing. *Journal of Print and Media Technology Research*, 10(4), 215–229. <https://doi.org/10.14622/JPMTR-2113>.

157. Калитка, В. М., Верхола, М. І., Калитка, М. І., & Бабич, О. Є. (2022). Моделювання та дослідження впливу коефіцієнтів передачі фарби на параметри фарбодрукарської системи. *Комп'ютерні технології друкарства*, 1 (47), 21-36.

158. Верхола, М. І., Бабич, О. Є., Качур, Р. Р., & Давидкін, М. Я. І. (2024). Комп'ютерне моделювання та дослідження процесу передачі фарби і зволожувального розчину у фарбодрукарській системі офсетного типу. *Технологія і техніка друкарства*, (1 (83)), 39-54.

159. Верхола М.І., Бабич О. Є., Качур Р.Р., Давидкін М.І (2023). Моделювання та дослідження впливу величини розчеплення фарби в різних позиціях зон контакту валиків і циліндрів на точність фарбодрукарської системи. *Комп'ютерні технології друкарства*, 1 (49), 8-21.

160. Лямець, В. І., & Тевяшев, А. Д. (2004). *Системний аналіз. Вступний курс* (2-е вид., перероб. та допов.). 448. Х.: ХНУРЕ.

161. 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.

162. Золотухіна, О. А., & Шушура, О. М. (2017). Функціональне моделювання інформаційної системи управління ресурсами підприємства в умовах невизначеності або недостовірності даних. *Зв'язок*, (6), 52–57.

163. Івахів, О. В. (2017). Основи побудови систем керування з нечіткою логікою: навч. пос./О. Івахів, М. Наконечний. *Львів: Растр-7*. 129 с.

164. Довганич, В. В. Фактори впливу на якість паперових виробів тиссю. *І Міжнародна науково-практична конференція «Current issues of science and integrated technologies»*. Мілан, Італія. 697–700. Retrieved from <https://isg-konf.com/uk/current-issues-of-science-and-integrated-technologies/>.

165. Довганич, В. В. (2024). Експертне оцінювання факторів впливу на забезпечення якості надрукованих зображень на виробі тиссю. *Квалілогія книги: збірник наукових праць*, 2(46), 42-51. doi: 10.32403/2411-3611-2024-2-46-42-51.

166. Сеньківський, В. М., & Піх, І. В. (2013). Математичне моделювання процесу ранжування факторів. *Моделювання та інформаційні технології*, (69), 142-146. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtit_2013_69_20.

167. Kondratenko, Y., & Kondratenko, N. (2018). Real-Time Fuzzy Data Processing Based on a Computational Library of Analytic Models. *Data*, 3(4), 59. <https://doi.org/10.3390/data3040059>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А1. ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Публікації у наукових виданнях, включених до наукометричної бази Scopus:

1. Havenko, S., Dovhanych, V., & Kochubei, V., 2025. Defining features of decorating sanitary-hygienic products by the method of flexographic and digital printing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1, 1(133), p.62–72. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.320495>.

Публікації у зарубіжних наукових виданнях:

2. Havenko S., Dovhanych V. & Labetska M., 2023. Study of operational (consumer) properties of paper napkins. *Packaging Review*. 4, p. 22-27. doi: 10.15199/42.2023.4.3.

Публікації у фахових наукових виданнях України:

3. Довганич В. В., 2022. Дослідження якості друкованих зображень на паперових салфетках. *Квалілогія книги*, 1 (41), с.56-61. doi: 10.32403/2411-3611-2022-1-41-56-61.

4. Довганич В. В., 2022. Дослідження задрукованих салфеток флексографічним друком. *Квалілогія книги*, 2 (42), с.48-53. doi: 10.32403/2411-3611-2022-2-42-48-53.

5. Довганич В. В., 2023. Дослідження капілярного поглинання санітарно-гігієнічних виробів задрукованих флексографічним друком. *Квалілогія книги*, 2 (44), с. 126–132. doi: 10.32403/2411-3611-2023-2-44-126-132.

6. Довганич В. В., 2024. Експертне оцінювання факторів впливу на забезпечення якості надрукованих зображень на виробках тиссю. *Квалілогія книги*, 2 (46), с. 42-51. doi: 10.32403/2411-3611-2024-2-46-42-51.

Публікації у збірниках матеріалів конференцій:

7. Bernatsek, V., Zanko, N., Labetska, M., & Dovganich, V. (17–19 October, 2021). Research of color reproduction in digital printing of packaging using profiles with different level of black generation. Proceedings of VIII International Scientific and Practical Conference «Results of modern scientific research and development», с. 96–99. Retrieved from <https://sci-conf.com.ua/wp->

content/uploads/2021/10/RESULTS-OF-MODERN-SCIENTIFIC-RESEARCH-AND-DEVELOPMENT-17-19.10.21.pdf.

8. Довганич, В. В. (2022). Аналіз якості оздоблення флексодруком виробів тиссю. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доповідей VII Міжнар. наук.-техн. конф.*, 1, с. 24-25. Харків: ХНУРЕ. Retrieved from <https://openarchive.nure.ua/handle/document/20431>.

9. Довганич, А. В., & Довганич, В. В. (2022). 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*, 1, с. 472-474. Haifa, Israel. Retrieved from <https://isg-konf.com/uk/current-trends-in-the-development-of-modern-scientific-thought/>.

10. Довганич, В. & В., Довганич, А. В. (2022). Аналіз тенденцій розвитку паперових санітарно-гігієнічних виробів. *Current trends in the development of modern scientific thought. Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference*, с. 475–477. Haifa, Israel. Retrieved from <https://isg-konf.com/uk/current-trends-in-the-development-of-modern-scientific-thought/>.

11. Довганич, В. В. (2023). Фактори впливу на якість паперових виробів тиссю. *I Міжнародна науково-практична конференція. Current issues of science and integrated technologies*. Мілан, Італія. с. 697–700. Retrieved from <https://isg-konf.com/uk/current-issues-of-science-and-integrated-technologies/>.

12. Довганич В. В. (2023). Дослідження якості друку виробів тиссю флексографічним способом. *II Міжнародна науково-практична конференція «Modern education using the latest technologies»*, с.445-446. Лісабон, Португалія

13. Dovhanych, A., & Dovhanych, V. (2023). Study of the influence of the surface structure of the substrates on the imprints quality. *Innovations in Publishing, Printing and Multimedia Technologies*, с. 26-33. <https://doi.org/10.59476/ilpmt2023.26-33>.

14. Довганич, В. В. (2023). Оздоблення виробів тиссю методом тиснення. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. VIII*

Міжнародної науково-технічної конференції, 1, с. 25–26. Харків: ХНУРЕ. Retrieved from <https://pmw.nure.ua/download/ukr/Tezisy-konferenciya%20%20PMW-2023.pdf>.

15. Гавенко, С. Ф., & Довганич, В. В. (2023). Дослідження стійкості виробів тиссю до продавлювання. *V Міжнародній науково-практичній конференції студентів, магістрантів та аспірантів. Квалілогія книги*, с. 56-58. Львів: УАД.

16. Гавенко, С. Ф., & Довганич, В. В. (2024). Дослідження механізму утворення кольорових зображень флексографічним способом друку на виробих тиссю. / *Тези доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. працівн. і аспір., 1*, с. 55. Львів: УАД.

17. Довганич, В. В. (2024). Оцінювання якості цифрового друку зображень на паперових серветках. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології : тези доп. IX Міжнар. наук.-техн. конф.* Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид». Т. 1, с. 225-226. Retrieved from <https://pmw.nure.ua/download/ukr/Tezisy-konferenciya%20%20PMW-2024.pdf>.

ДОДАТОК А2. ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні результати дисертації доповідалися та обговорювалися 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.);
- Proceedings of VIII International Scientific and Practical Conference «Results of modern scientific research and development» (Madrid, Spain, October 17-19 2021р.);
- VII і VIII Міжнародній 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 р.).

**ДОДАТОК Б. ЕКСПЕРТНЕ ОПИТУВАННЯ ФАХІВЦІВ, ЩОДО
ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ НАДРУКОВАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА
ВИРОБАХ ТИССЮ**

У цьому додатку наведено опитування за допомогою Google форми.

[illegible]

5. Чи впливає відсоток задрукованої поверхні на якість відбитку?
(фрагментальне зображення, суцільно задрукована поверхня виробу)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

6. Яку роль відіграють денситометричні та колориметричні характеристики надрукованого зображення у загальній оцінці якості виробу?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

7. Чи впливає тип обробки паперу тиссю на якість виробів? (калдровані, не калдровані, сухі, вологі, ароматизовані, антисептичні тощо)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

8. Чи впливають механічні характеристики виробів тиссю (стійкість до розриву, продавлювання) на використання споживачем ?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

9. Чи впливає навколишнє середовище (температура, вологість) на експлуатаційні характеристики виробів тиссю?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Надіслати

Очистити форму

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

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор
Інституту поліграфії та медійних технологій
Угрин Я. М.
«18» грудня 2024 р.

АКТ

про використання в навчальному процесі результатів дисертаційної роботи Довганич Валентини Василівни

Дисертаційна робота аспірантки Довганич В. В. присвячена технології забезпечення якості відбитків флексографічного та цифрового друку на папері тиссю.

Результати досліджень використано в лекційних та лабораторних курсах з дисциплін “Технологія друкарських процесів”, “Інженерія якості пакувальної продукції”, які забезпечує кафедра поліграфічних технологій та пакувань для студентів спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія».

Викладач, доц., к. т. н.,



Ривак П. М.

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

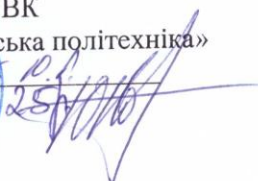


Конюхова І. І.

Підписи Ривак П. М., Конюхова І. І. засвідчую

Начальник ВК

НУ «Львівська політехніка»

ДОДАТОК Д. АКТИ ВИРОБНИЧИХ ВИПРОБУВАНЬ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор
Бораківський О. Й.
Компанія ТОВ Марго
3 квітня 2023 р.



АКТ

Випробування методики оцінювання якості друкування на папері тиссю у виробничих умовах.

Ми, представники компанії ТОВ Марго, завідуючий виробництва Малашніак Мирон Миколайович з одного боку та представники Української академії друкарства, аспірантка Довганич В. В. з другого боку склали даний акт про те, що 3 квітня 2023 року пройшла апробації методики оцінювання якості друкування на паперах марки Huchtemeier Papier GmbH, з використанням екологічних водорозчинних фарб фірми Аквафлекс Плюс. Процес друкування здійснювався методом флексографічного друку на машині ОМЕТ TV 503 Лессо (Італія).

Методика оцінювання якості надрукованих зображень здійснювалась за 5 паралельними замірами показників оптичної густини та кольоровідтворень після кожної тисячі надрукованих серветок. Аналіз результатів показав високу якість надрукованих зображень.

Представники

Українська академія друкарства

Аспірантка  Довганич В.В.

Представник

Компанії ТОВ Марго

Директор Бораківський О. Й.

Зав. виробництва Малашніак М. М.



ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор
 Боровський Павло Болеславович
 Фірма ЕкоКрафт



АКТ

виробничих випробувань процесу друкування на виробх тиссю методом цифрового ink-jet друку.

Ми, представники фірми ЕкоКрафт, технолог Боровський Павло Болеславович з одного боку та представники Української академії друкарства, аспірантка Довганич В.В. з другого боку, склали даний акт про те, що був проведений процес друкування на серветках методом цифрового друку на машині Tiscad. Вироби тиссю в подальшому підлягали оцінюванню експертним методом та за допомогою спектроденситометра моделі Konica Minolta FD-5bt. Проведені дослідження денситометричних і колориметричних показників відбитків, зокрема оптичної щільності та кольоровідтворення, підтвердили доцільність застосування цифрового друку для оздоблення виробів тиссю. Статистична обробка результатів оцінювання надрукованих зображень на серветках групою експертів, також показала високий рівень їх якості.

Представники
 Української академії друкарства
 Аспірантка Довганич В.В.

Представник
 Поліграфічної фірми ЕкоКрафт
 Технолог Боровський П.О.Б.

