

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

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

КУКУРА ТЕТЯНА ЮРІЇВНА

УДК 655.326.1

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ФЛЕКСОГРАФІЧНОГО ДРУКУ ГНУЧКИХ ПАКОВАНЬ

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.



Т. Ю. Кукура

Науковий керівник: Репета Вячеслав Богданович, доктор технічних наук, професор.

АНОТАЦІЯ

Кукура Т.Ю. Удосконалення технологічного процесу флексографічного друку гнучких паковань. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 186 «Видавництво та поліграфія» (18 «Виробництво та технології»). – Національний університет «Львівська політехніка», Інститут поліграфії та медійних технологій, Львів, 2025.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-прикладного завдання удосконалення технології флексографічного друку гнучких паковань спиртовими фарбами шляхом дослідження впливу режимів мікрорастрування поверхні друкуючих елементів фотополімерних форм на якісні показники відбитків з встановленням оптимального режиму; дослідження адгезійної взаємодії на двох етапах друкарського контакту; розроблення методу оцінювання ступеня очищення комірок анілоксових валів різної лініатури; дослідження впливу характеристик анілоксових валів на якість друкарських відбитків; визначення факторів і пріоритетності їх впливу на якість технологічних процесів вимивання анілоксових валів і флексографічного друку паковань і побудови прогностичних моделей, що уможливило обґрунтоване використання методів якісного друкування гнучких паковань із забезпеченням енергоефективності і ресурсоощадливості.

У першому розділі роботи наведено аналіз сучасного стану і тенденцій розвитку технології та матеріалів флексографічного друку. Особлива увага присвячена новітнім технологіям виготовлення флексографічних друкарських форм, анілоксових валів, ножів-ракелів флексографічного фарбового апарату, полімерним плівкам, які використовуються для виготовлення гнучких паковань та технологіям обробки їх поверхонь. На основі опрацьованої літератури виокремлено фактори якості та операції контролю процесу флексографічного

друку паковань і проведено їх аналіз, який підтвердив необхідність проведення додаткових досліджень та встановлення пріоритетності впливу виокремлених факторів на технологічний процес флексографічного друку гнучких паковань.

У другому розділі детально описано характеристики досліджуваних матеріалів та методики досліджень основних етапів технологічного процесу. Зокрема, при дослідженні поверхневих властивостей друкарських форм використано цифрову камеру із 150-кратним збільшенням, для вимірювання рівня поверхневої енергії полімерних плівок використано методику дослідження кінетики розтікання рідин з використанням для аналізу отриманих результатів комп'ютерної програми „Кутоаналізатор”. Для підвищення рівня поверхневої енергії плівок їх обробку проведено з використанням пристрою Corona-Station AV-150 C/D. Для визначення аномалії в'язкості друкарських фарб використовувався метод згідно зі стандартом DIN 53211. Для аналізу поверхні анілоксових валів використано 3D-мікроскоп AniCAM та програмне забезпечення британської компанії Troika Systems. Особлива увага в розділі приділена розробці методу кількісного оцінювання ступеня забруднення комірок анілоксових валів, а саме: розробці комп'ютерної програми «AniTest», яка проводить додаткову обробку цифрових зображень, отриманих на 3D-мікроскопі AniCAM. На всіх етапах дослідження аналіз якості друкарських відбитків проводили з використанням сучасних денситометричних та колориметричних методик, застосовувалися методи імітаційного та математичного моделювання. Для опрацювання експериментальних даних та перевірки їх достовірності використано програмні методи математичної статистики.

У третьому розділі роботи наведено результати досліджень впливу матеріалу та технології обробки поверхні фотополімерних флексографічних друкарських форм на якісні показники відбитків. Визначено оптимальні типи мікроструктури поверхні форм для фотополімерів різних виробників при використанні анілоксових валів різної лініатури. Аргументовано доведено

ефективність введення розчинника етилацетату до друкарських фарб в процесі друкування та підібрана його оптимальну концентрацію.

У розділі проведено аналіз адгезійної взаємодії спирторозчинних фарб флексографічного друку з поверхнею фотополімерних форм, який показав змінний характер рівня поверхневої енергії форм в процесі експлуатації та вплив на поверхневу взаємодію складу друкарських фарб, зокрема типу пігменту.

У розділі також подано результати досліджень поверхневої енергії полімерних плівок та її зміни в процесі зберігання. Отримано залежності впливу на поверхневу енергію плівок режимів їх обробки коронним розрядом. Визначено вплив рівня поверхневої енергії плівок на показники стійкості фарбового шару на відбитках та якість фарбоперенесення (оптичну щільність відбитків). Аналіз отриманих залежностей дав змогу встановити оптимальні режими обробки поверхні різних типів полімерних плівок коронним розрядом (потужність обробки, швидкість руху полотна) з точки зору якісних та стійкісних показників відбитків. На основі аналізу отриманих результатів розроблено алгоритм проходження технологічних операцій для забезпечення достатньої енергетичної взаємодії у друкарському контакті системи «друкарська форма-фарба-полімерна плівка».

У четвертому розділі роботи наведено результати дослідження впливу параметрів анілоксових валів на якість відбитків. Із використанням 3D-мікроскопа AniCAM та програмного забезпечення Troika Systems були встановлені залежності впливу лініатури та об'єму анілоксів на показники оптичної щільності відбитків і показник розтискування. У розділі також здійснено аналіз впливу характеристик анілоксів на коректність кольоровідтворення (показник відхилення кольору). Особлива увага приділена питанню очищення анілоксових валів. Зокрема, виявлено вплив показника аномалії в'язкості спирторозчинних друкарських фарб на ефективність процесу очищення анілоксів різної лініатури. Встановлено залежності ефективного об'єму комірок анілоксів від кількості змивань

очищуючим засобом для валів різної лінійності та визначені оптимальні режими очищення валів. Проаналізовано ефективність використання змивних засобів різних виробників для глибокого та регулярного очищення валів.

У п'ятому розділі здійснено прогнозування ефективності процесу очищення аналоксових валів засобами нечіткої логіки. Зокрема, сформована нечітка база знань встановлення ефективності процесу очищення аналоксових валів. З використанням системи нечіткого управління Fuzzy Logic Toolbox обчислювального середовища MATLAB з алгоритмом нечіткого логічного виводу Мамдані з дефазифікацією за принципом «Center of Gravity» проведено моделювання впливу технологічних факторів на ефективність процесу очищення аналоксів і побудовано прогностичні моделі. Відповідно до отриманих моделей проведено розрахунок ефективності процесу, результатом якого став кількісний показник, що відкриває можливості для встановлення оптимальної тривалості процесу, зниження енерговитрат та ресурсозбереження.

У розділі також проведено аналіз факторів, що визначають якість флексографічного друку, зв'язки між якими представлено у вигляді семантичної мережі. Методом ранжування встановлено оптимальну вагу для них, що еквівалентно пріоритетності їх впливу на процес флексографічного друку пакувань спирторозчинними фарбами. За допомогою емпіричного правила Парето виокремлено чотири основні фактори, які забезпечують 70% якості досліджуваного процесу та побудовано схему логічного формування якості цього процесу.

В результаті моделювання впливу факторів пріоритетності процесу флексографічного друку з використанням нечіткої логіки у розділі сформована база знань і нечітких логічних рівнянь для обчислення функцій належності лінгвістичних змінних з відповідними заданими термами. Проведено їх логічний аналіз та операцію дефазифікації і отримано кількісну оцінку якості процесу флексографічного друку та побудовано прогностичну модель.

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

- розроблено модель технологічного процесу флексографічного друку гнучких паковань, що включає фактори процесу як сукупність елементів, що перебувають у певній взаємодії один із одним і створюють цілісну систему, що уможливорює аналіз процесу із застосуванням методів контролю, які узгоджені з відповідними стандартами та встановлює пріоритетність впливу цих факторів на якість технологічного процесу;

- розроблено метод кількісного оцінювання ступеня очищення комірок анілоксного вала з реалізацією у вигляді програмного застосунку, що уможливило використання результатів для визначення вихідного параметра якості при створенні моделі прогнозування ефективності процесу очищення анілоксних валів;

- побудовано прогностичну модель процесу флексографічного друку шляхом представлення пріоритетних факторів у вигляді лінгвістичних змінних із термами оцінювання на відповідних універсальних множинах, формування функції належності, нечіткої бази знань, нечітких логічних рівнянь і проведення дефазифікації нечітких значень, що дозволило удосконалити процес флексографічного друку гнучких паковань та кількісно оцінити його якість.

Удосконалено:

- метод контролю величини енергетичної взаємодії у друкарському контакті системи «друкарська форма-фарба-полімерна плівка», що дозволило покращити фарбопередачу та забезпечити високі адгезійні й оптичні показники друкарських відбитків.

Отримали подальший розвиток:

- дослідження впливу на поверхневу енергію полімерних плівок обробки коронним розрядом, що дозволило встановити залежності між

режимами обробки полімерних плівок і якісними показниками відбитків флексографічного друку і підібрати оптимальні режими обробки;

– дослідження впливу лініатури анілоксових валів і їх фарбоємності на оптичні показники друкарських відбитків, отриманих різними типами друкарських фарб та встановлено залежності впливу цих параметрів на оптичні показники друкарських відбитків, що дає можливість оперувати даними показниками за рахунок правильного вибору анілоксового вала з відповідними характеристиками.

Практичне значення одержаних наукових результатів спрямоване на формування на основі аналізу отриманих результатів практичних рекомендацій щодо ефективного використання:

- досліджуваних друкарських форм у друкарських процесах флексографічного друку шляхом підбору оптимальних режимів їх виготовлення та експлуатації;

- анілоксових валів у технологічних процесах флексографічного друку шляхом підбору оптимальних режимів їх експлуатації та режимів і матеріалів очищення;

- полімерних плівок шляхом підбору ефективних режимів обробки їх поверхні коронним розрядом;

- друкарських фарб шляхом раціонального регулювання їх в'язкості в процесі друкування, що в комплексі дозволить забезпечити якість відбитків флексографічного друку на гнучких пакуваннях.

Зокрема, для підвищення ефективності процесу очищення анілоксових валів розроблено комп'ютерну програму «AniTest», яка проводить додаткову обробку цифрових зображень, отриманих на 3D-мікроскопі AniCAM. Побудовані у роботі прогностичні моделі впливу параметрів друкарської форми, анілоксового вала, в'язкості друкарської фарби та поверхневої енергії на якість відбитків дають змогу спрогнозувати у цілому якість процесу флексографічного друку гнучкого пакування, що має безпосереднє практичне значення.

Апробація розробленого у роботі застосунку «AniTest» та його впровадження у виробничий процес здійснене в умовах підприємства СП ТзОВ «Полі Пак» (м. Львів). Результати досліджень також впроваджено у навчальний процес підготовки студентів спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія» ОПП «Мультимедійні видавничо-поліграфічні технології» (дисципліни «Матеріали і технології флексографічного друку», «Видавничо-поліграфічні матеріали»).

Результати впровадження підтверджені відповідними документами.

Ключові слова: пакування, флексографічний друк, друкарська форма, фарбоперенесення, фарбовий шар, фарбодрукарська система, анілоксовий вал, відбитки, оптична щільність, кольоровідтворення, якість друку, параметри, моделі.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Публікації у наукових виданнях, включених до наукометричної бази Scopus:

1. Vyacheslav Repeta, Tetiana Kukura, Volodymyr Havrylyshyn, Yurii Kukura. 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. 2023. №14(3). pp.37-44. DOI: 10.24867/JGED-2023-3-037.
2. Vyacheslav Repeta, Tetiana Kukura, Yurii Kukura, Ihor Myklushka, Bohdan Durniak. Assessment and Prognostic Models of the Efficiency of Anilox Rollers Cleaning Process. CEUR Workshop Proceedings. 1st International Workshop on Advanced Applied Information Technologies (AdvAIT-2024). Khmelnytskyi, 2024. P. 35-44. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3899/paper4.pdf>.

Публікації у наукових фахових виданнях України:

3. Кукура Ю. А., Репета В. Б., Кукура Т. Ю., Кукура В. В. Вплив режимів мікрорастрування флексографічних друкарських форм на якість відбитків. Наукові записки УАД. 2021. №2(63). С.42-51. DOI: 10.32403/1998-6912-2021-2-63-42-51
4. Кукура Т.Ю. Дослідження впливу характеристик анілоксових валів на якісні показники відбитків флексографічного друку. Поліграфія і видавнича справа. 2023. №1(85). С.145-154. DOI: 10.32403/0554-4866-2023-1-85-145-154
5. Кукура Т.Ю., Вархоляк В.І. Адгезійна взаємодія флексографічних фарб з поверхнею фотополімерних друкарських форм. Поліграфія і видавнича справа. 2024. №1(87). С.133-139. DOI:10.32403/0554-4866-2024-1-87-133-139
6. Кукура Т.Ю., Кукура В.В. Дослідження процесу очищення анілоксових валів у виробничих умовах. Наукові записки УАД. 2024. №1(68). С.153-160. DOI:10.32403/1998-6912-2024-1-68-153-160.

Публікації у збірниках матеріалів конференцій:

7. Кукура Ю.А., Кукура Т.Ю. Поліетилентерефталатні плівки у виробництві гнучкої упаковки. Наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. прац. і аспір. УАД, 18–21 лютого 2020 р. : тези доп. Львів, 2020. С.43.

8. Репета В.Б., Шибанов В.В., Кукура Т.Ю. Фотополімеризаційно-здатний адгезив для «холодного» тиснення фольгою на флексографічних відбитках. Modern Advances in Organic Synthesis, Polymer Chemistry and Food Additives : Internatnal Scientific Online Conference, December 7-8 2021 / НУ«ЛП». Львів, 2021. С.21.

9. Репета В.Б., Кукура Т.Ю. Прогнозування міграції шкідливих компонентів УФ-фарби при експлуатації віддрукованих пакувань. Якість та безпечність товарів : VI Міжнар. наук.-прак. конф. молод. учених та студ., 13 травня 2022 р. Луцьк, 2022. С.47-49.

10. Кукура Ю.А., Кукура Т.Ю. Дослідження властивостей поліетиленових плівок. Наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. прац. і аспір. УАД, 7–11 лютого 2022 р. : тези доп. Львів, 2022. С.64.

11. Кукура Т. Ю. Репета В. Б. Фактори якості процесу флексографічного друку пакувань спиртовими фарбами. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології : VII Міжнар. наук.-техн. конф., 17-21 травня 2022 р./ ХНУРЕ. Харків, 2022. Т.1. С.36-37.

12. Кукура Т.Ю. Дослідження властивостей термозбіжних поліетиленових плівок. Наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. прац. і аспір. УАД, 6–10 лютого 2023 р. : тези доп. Львів, 2023. С.64.

13. Кукура Т.Ю. Дослідження поверхневих властивостей друкарських елементів форм флексографічного друку. Наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. прац. і аспір. УАД, 5–9 лютого 2024 р. : тези доп. Львів, 2024. С.76.

ABSTRACT

Kukura T.Yu. Improvement of the technological process of flexographic printing for flexible packaging. Qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 186 "Publishing and Printing" (18 "Production and Technologies"). – Lviv Polytechnic National University, Institute of Printing Art and Media Technologies, Lviv, 2025.

The dissertation thesis is devoted to solving the current scientific and applied problem of improving the flexographic printing technology of flexible packaging with alcohol inks by studying the influence of micro-screening modes of the printing element surface of photopolymer plates on the quality indicators of imprints determining the optimal mode; studying the adhesive interaction at two stages of the printing contact; developing a method for assessing the cleaning degree of cells in anilox rollers of different lineatures; studying the influence of the anilox roller characteristics on the imprint quality; determining the factors and priority of their influence on the quality of technological processes of anilox roller washing out and packaging flexographic printing and constructing predictive models, which make it possible to use methods of high-quality printing of flexible packaging with energy efficiency and resource saving.

The first chapter of the work provides an analysis of the current state and trends in the development of flexographic printing technology and materials. Special attention is paid to the latest technologies for manufacturing flexographic printing plates, anilox rollers, doctor blades of a flexographic inking unit, polymer films used for the flexible packaging manufacturing and technologies for processing their surfaces. Based on the reviewed literature, quality factors and control operations of the flexographic printing process of packaging are identified and their analysis is carried out, which confirms the need for additional research and prioritization of the influence of the identified factors on the technological process of flexographic printing for flexible packaging.

The second chapter describes the characteristics of the studied materials and the research methods of the main stages of the technological process in detail. In particular, when studying the surface properties of printing plates, a digital camera with a 150-fold magnification is used, the method of studying the kinetics of liquid spreading is used to measure the surface energy level of polymer films, and the computer program "Kutoanalizator" to analyse the results obtained. To increase the surface energy level of the films, their processing is carried out using the Corona-Station AV-150 C/D device. To determine the viscosity anomaly of printing inks, the method according to DIN 53211 standard is used. To analyse the surface of anilox rollers, an AniCAM 3D microscope and software from the British company Troika Systems are used. Special attention in the chapter is paid to the development of a method for quantitatively assessing the contamination degree of anilox roller cells, namely the development of the computer program "AniTest", which performs additional processing of digital images obtained on the AniCAM 3D microscope. At all stages of the study, the quality analysis of imprints is carried out using modern densitometric and colorimetric techniques, simulation and mathematical modelling methods are used. To process the experimental data and verify their reliability, software methods of mathematical statistics are used.

The third chapter of the work presents the results of research into the influence of the material and surface treatment technology of photopolymer flexographic printing plates on the quality indicators of imprints. The optimal types of microstructure of the plate surface for photopolymers of different manufacturers when using anilox rollers of different lineatures are determined. The efficiency of introducing ethyl acetate solvent into the printing inks during the printing process is proven and its optimal concentration is selected.

The chapter analyses the adhesive interaction of alcohol-soluble flexographic printing inks with the photopolymer plate surface, which shows the variable nature of the surface energy level of the plates during the operation and the influence of the printing ink composition on the surface interaction, in particular the type of pigment.

The chapter also presents the results of studies of the polymer film surface energy and its changes during storage. The dependencies of the influence of corona discharge treatment modes on the film surface energy are obtained. The influence of the film surface energy level on the stability indicators of the ink layer on imprints and the ink transfer quality (optical density of imprints) is determined. The analysis of the obtained dependencies makes it possible to establish the optimal modes of corona discharge treatment of the polymer film surface of different types (treatment power, web speed) from the point of view of the quality and stability of imprints. Based on the analysis of the obtained results, an algorithm for technological operations is developed to ensure a sufficient energy interaction in the printing contact of the “printing plate-ink-polymer film” system.

The fourth chapter of the work presents the study results of the influence of anilox roller parameters on the quality of imprints. Using the AniCAM 3D microscope and Troika Systems software, the dependencies of the influence of the lineature and the volume of anilox rollers on the optical density of imprints and the squeezing indicator are established. The chapter also analyses the influence of anilox characteristics on the correctness of colour reproduction (a colour deviation indicator). Special attention is paid to the issue of the anilox roller cleaning. In particular, the influence of the viscosity anomaly indicator of alcohol-soluble printing inks on the efficiency of the cleaning process of anilox rollers of different lineatures is revealed. The dependencies of the efficient volume of anilox cells on the number of washes with a cleaning agent for rollers of different lineatures are established and the optimal cleaning modes for rollers are determined. The efficiency of using washing agents from different manufacturers for deep and regular cleaning of rollers is analysed.

In the fifth chapter, the efficiency of the anilox roller cleaning process is predicted using fuzzy logic. In particular, a fuzzy knowledge base for determining the efficiency of the anilox roller cleaning process is formed. Using the Fuzzy Logic Toolbox fuzzy control system of the MATLAB computing environment with the Mamdani fuzzy logic inference algorithm with defuzzification according to the

“Center of Gravity” principle, the influence of technological factors on the efficiency of the anilox roller cleaning process is simulated and predictive models are constructed. According to the obtained models, the process efficiency is calculated, the result of which is a quantitative indicator that opens up opportunities for determining the optimal process duration, reducing the energy consumption and saving the resources.

The chapter also analyses the factors that determine the flexographic printing quality the relationships between which are presented in the form of a semantic network. The ranking method establishes the optimal weight for them, which is equivalent to the priority of their influence on the flexographic printing process of packaging with alcohol-soluble inks. Using the empirical Pareto rule, four main factors are identified that provide 70% of the studied process quality and a scheme for logical formation of the process quality is constructed.

As a result of modelling the influence of priority factors of the flexographic printing process using fuzzy logic, a knowledge base and fuzzy logic equations are formed in the chapter for calculating the membership functions of linguistic variables with the corresponding set terms. Their logical analysis and defuzzification operation are carried out and a quantitative quality assessment of the flexographic printing process is obtained and a predictive model is constructed.

As a result of the theoretical and experimental research, a scientific and applied problem is solved and the following new results have been obtained:

- a model of the technological process of flexographic printing for flexible packaging is developed, which includes the process factors as a set of elements that are in a certain interaction with each other and create a holistic system, which makes it possible to analyze the process from the point of view of the availability of appropriate control methods consistent with relevant standards, and to determine the priority of the factors influence on the technological process quality;
- a method for quantitatively assessing the cleaning degree of anilox roller cells is developed with its implementation in the form of a software application,

which makes it possible to use the results for the initial quality parameter when designing a model for predicting the efficiency of the anilox roller cleaning process;

- a predictive model of the flexographic printing process is constructed by representing priority factors in the form of linguistic variables with evaluation terms on the corresponding universal sets, forming a membership function, a fuzzy knowledge base, fuzzy logical equations and defuzzifying fuzzy values, which allows one to quantitatively assess the quality of the flexographic printing process of flexible packaging.

The following issue has been improved:

- a method for controlling the energy interaction degree in the printing contact of the “printing plate-ink-polymer film” system, which allows improving the ink transfer and ensuring high adhesive and optical parameters of imprints.

The following issues have got the further development:

- a study of the influence of corona discharge treatment on the surface energy of polymer films, which allows determining the dependency between the treatment modes of polymer films and the quality indicators of flexographic printing imprints and selecting the optimal treatment modes;

- a study of the influence of the anilox roller lineature and its ink capacity on the optical indicators of imprints obtained with different types of printing inks and the dependencies of the influence of these parameters on the optical indicators of imprints are determined, which makes it possible to operate with these indicators by correctly selecting an anilox roller with the appropriate characteristics.

The practical significance of the obtained scientific results is aimed at forming practical recommendations based on the analysis of the obtained results, for the effective use of:

- the studied printing plates in flexographic printing processes by selecting the optimal modes of their manufacturing and operation;
- the anilox rollers in technological processes of flexographic printing by selecting the optimal modes of their operation and cleaning modes and materials;

- the polymer films, by selecting effective modes of corona discharge treatment of their surface;

- the printing inks, by rationally regulating their viscosity during the printing process, which in combination will ensure the flexographic printing quality of flexible packaging.

In particular, to increase the efficiency of the anilox roller cleaning process, “AniTest” computer program is developed, which performs additional processing of digital images obtained on AniCAM 3D microscope. The predictive models of the influence of the parameters of the printing plate, anilox roller, ink viscosity and surface energy on the quality of imprints designed in the work make it possible to predict the overall quality of the flexographic printing process of flexible packaging, which has direct practical significance.

Testing of the “AniTest” application developed in the work and its implementation in the production process is carried out in the conditions of the company JV “Poly Pak” Ltd (Lviv). The results of the research are also introduced in the educational process of training the students of specialty 186 “Publishing and Printing” of EPP “Multimedia Publishing and Printing Technologies” (disciplines “Materials and Technologies of Flexographic Printing Method”, “Publishing and Printing Materials”).

The results of the implementation are confirmed by relevant documents.

Keywords: packaging, flexographic printing, printing plate, ink transfer, ink layer, ink printing system, anilox roller, imprints, optical density, colour reproduction, printing quality, parameters, models.

LIST OF PUBLICATIONS

Publications in scientific journals included in the Scopus scientometric database:

1. Vyacheslav Repeta, Tetiana Kukura, Volodymyr Havrylyshyn, Yurii Kukura. 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. 2023. №14(3). pp.37-44. DOI: 10.24867/JGED-2023-3-037.
2. Vyacheslav Repeta, Tetiana Kukura, Yurii Kukura, Ihor Myklushka, Bohdan Durniak. Assessment and Prognostic Models of the Efficiency of Anilox Rollers Cleaning Process. CEUR Workshop Proceedings. 1st International Workshop on Advanced Applied Information Technologies (AdvAIT-2024). Khmelnytskyi, 2024. P. 35-44. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3899/paper4.pdf>.

Publications in scientific professional journals of Ukraine:

3. Kukura Yu. A., Repeta V. B., Kukura T. Yu., Kukura V. V. The influence of microscreening modes of flexographic printing plates on the quality of imprints. Scientific Notes of Ukrainian Academy of Printing. 2021. No. 2(63). P. 42-51. DOI: 10.32403/1998-6912-2021-2-63-42-51
4. Kukura T. Yu. Research on the influence of the characteristics of anilox rollers on the quality indicators of flexographic printing imprints. Printing and Publishing. 2023. No. 1(85). P. 145-154. DOI: 10.32403/0554-4866-2023-1-85-145-154
5. Kukura T. Yu., Varkholjak V. I. Adhesive interaction of flexographic inks with the surface of photopolymer printing plates. Printing and Publishing. 2024. No. 1(87). P. 133-139. DOI:10.32403/0554-4866-2024-1-87-133-139
6. Kukura T.Yu., Kukura V.V. Research of the cleaning process of anilox rollers in production conditions. Scientific Notes of UAP. 2024. No. 1(68). P. 153-160. DOI:10.32403/1998-6912-2024-1-68-153-160.

Publications in conference proceedings:

7. Kukura Y.A., Kukura T.Yu. Polyethylene terephthalate films in the production of flexible packaging. Scientific and technical conference of professors, scientific workers and PhD students of Ukrainian Academy of Printing, February 18–21, 2020: abstracts. Lviv, 2020. P.43.
8. Repeta V.B., Shibanov V.V., Kukura T.Yu. Photopolymerizable adhesive for “cold” foil embossing on flexographic imprints. Modern Advances in Organic Synthesis, Polymer Chemistry and Food Additives: International Scientific Online Conference, December 7-8, 2021 / NU “LP”. Lviv, 2021. P.21.
9. Repeta V.B., Kukura T.Yu. Forecasting the migration of harmful components of UV ink during the operation of printed packaging. Quality and safety of goods: VI International Scientific-Practical Conference of Young Scientists and Students, May 13, 2022. Lutsk, 2022. P.47-49.
10. Kukura Yu.A., Kukura T.Yu. Research on the properties of polyethylene films. Scientific and technical conference of professors, scientific workers and PhD students of Ukrainian Academy of Printing, February 7–11, 2022: abstracts. Lviv, 2022. P.64.
11. Kukura T.Yu. Repeta V.B. Quality factors of the flexographic printing process of packaging with alcohol inks. Printing, multimedia and web technologies: VII International Scientific and Technical Conference, May 17-21, 2022 / KhNURE. Kharkiv, 2022. T.1. P.36-37.
12. Kukura T.Yu. Research on the properties of heat-shrinkable polyethylene films. Scientific and technical conference of professors, scientific workers and PhD students of Ukrainian Academy of Printing, February 6–10, 2023: abstracts. Lviv, 2023. P.64.
13. Kukura T.Yu. Research on the surface properties of printing elements of flexographic printing plates. Scientific and technical conference of professors, scientific workers and PhD students of Ukrainian Academy of Printing, February 5–9, 2024: abstracts. Lviv, 2024. P.76.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕРІАЛИ У ПРОЦЕСАХ ФЛЕКСОГРАФІЧНОГО ДРУКУ.....	30
1.1. Технології виготовлення фотополімерних друкарських форм.....	30
1.2. Анілоксові вали і ножі-ракелі флексографічного фарбового апарату.....	38
1.3. Поверхнева енергія полімерних матеріалів та способи її підвищення.....	44
1.4. Обробка поверхні полімерних плівок коронним розрядом.....	46
1.5. Фактори якості та операції контролю процесу флексографічного друку паковань.....	50
Висновки до розділу 1.....	53
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ....	55
2.1. Методика дослідження технологій модифікації поверхні друкарської форми мікрорастріванням.....	55
2.2. Методика дослідження впливу режимів обробки плівок коронним розрядом на їх адгезійні властивості.....	56
2.3. Методика дослідження кінетики розтікання рідин.....	58
2.4. Методика визначення аномалії в'язкості друкарської фарби.....	61
2.5. Методика оцінювання стану комірок анілоксових валів.....	61
2.6. Метод кількісного оцінювання ступеня очищення комірок анілоксового вала.....	63
Висновки до розділу 2.....	66
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДРУКАРСЬКОГО КОНТАКТУ НА ФАРБОПЕРЕДАЧУ.....	67
3.1. Дослідження технологій модифікації поверхні друкарських форм мікрорастріванням.....	67

3.2. Дослідження впливу обробки поверхні плівок коронним розрядом на адгезійну взаємодію у друкарському контакті.....	82
3.3. Адгезійна взаємодія флексографічних фарб з поверхнею фотополімерних друкарських форм.....	95
Висновки до розділу 3.....	100
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ АНІЛОКСОВИХ ВАЛІВ НА ЯКІСТЬ ВІДБИТКІВ ФЛЕКСОГРАФІЧНОГО ДРУКУ.....	102
4.1. Дослідження впливу параметрів анілоксових валів на оптичні характеристики відбитка.....	102
4.2. Дослідження ефективності процесу очищення анілоксових валів...	112
Висновки до розділу 4.....	120
РОЗДІЛ 5. ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСІВ ВИМИВАННЯ АНІЛОКСОВИХ ВАЛІВ І ФЛЕКСОГРАФІЧНОГО ДРУКУ.....	122
5.1. Прогнозування ефективності процесу очищення анілоксів засобами нечіткої логіки.....	124
5.2. Встановлення пріоритетності факторів якості процесу флексографічного друку методом ранжування.....	130
5.3. Побудова прогностичної моделі впливу факторів за допомогою інструментів нечіткої логіки.....	136
Висновки до розділу 5.....	144
ВИСНОВКИ.....	145
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	148
ДОДАТКИ.....	163
Додаток А. Опис роботи програмного застосунку.....	164
Додаток Б. Текст комп'ютерної програми.....	169
Додаток В. Акт впровадження результатів наукового дослідження.....	177
Додаток Г. Акт впровадження результатів наукового дослідження в навчальний процес.....	178

ВСТУП

Актуальність теми. Гнучке пакування – це сектор пакувальної промисловості, який швидко розвивається, забезпечуючи широкий спектр захисних функцій при мінімізації використання матеріалів. Розмір світового ринку гнучких пакувань оцінювався в 294,88 мільярда доларів США у 2023 році і, за оцінками експертів, досягне 488,72 мільярда доларів США до 2034 року, збільшуючись на 4,7% CAGR між 2024 і 2034 роками. Аналіз свідчить про те, що галузь переживає виняткові темпи зростання, які обумовлені постійними інноваціями та технологічним прогресом. Результатом цих досягнень стало створення легких пакувальних рішень, які значно покращили привабливість, міцність, захист продукту та герметичність гнучких пакувань [1].

Основним способом друку, що застосовується при виготовленні гнучких пакувань є флексографія. Адже флексографію можна використовувати для задруковування практично усіх відомих полімерних плівок, паперу, картону, алюмінієвої фольги – ключових матеріалів пакувальної індустрії. Окрім того, підвищення якості друку дозволило флексографії не тільки вийти на ринок етикетки, а й успішно конкурувати із традиційним плоским офсетним друком та новітніми цифровими технологіями. Зростаючий попит на більшу різноманітність і меншу довжину тиражів сприяє розвитку флексографічних технологій, спрямованих на підвищення ефективності на ринку, який все більше цифровізується. За аналізом компанії Smithers до 2027 року глобальний ринок флексографії становитиме 205 мільярдів доларів США [2].

Такі досягнення стали можливими завдяки значним вдосконаленням матеріалів та технології флексографічного друку. У додрукарських процесах пройшли революційні зміни із використанням новітнього програмного забезпечення, технологій кольороподілу, растрування, кольоропроби. Використання нових типів полімерів у поєднанні із новітніми технологіями експонування та обробки повністю змінили обличчя формних процесів. У друкарських процесах застосування цифрових засобів керування та контролю

в поєднанні із повною роботизацією і автоматизацією процесу та використанням нових ефективних і безпечних фарб [3] значно збільшило швидкість друкування, скоротило час переходу з тиражу на тираж та підняло якість віддрукованої продукції на новий рівень. В огляді «Flexographic Printing Machine Market Outlook from 2024 to 2034» наводиться прогноз, що глобальний ринок флексографічних друкарських машин зростатиме на 2,6 % CAGR із прогнозованою вартістю 1131,4 мільйона доларів США до 2032 року [4]. У післядрукарських процесах використання сучасних технологій ламінування і адгезивів [5] у поєднанні з розробкою відповідного обладнання відкрило нові можливості, особливо у виготовленні безпечних складних багат шарових пакувальних матеріалів.

Вагомий внесок у розвиток та вдосконалення технології флексографічного друку та забезпечення якості друкованої продукції зробили наступні вітчизняні і закордонні науковці: Благодір О.Л., Верхола М.І., Дорош А.К., Дурняк Б.В., Гавенко С.Ф., Киричок Т.Ю., Ковальський Б.М., Козак О.П., Кохан В.Ф., Кукура Ю.А., Лазаренко Е.Т., Луцків М.М., Маїк В.З., Регей І.І., Розум Т.В., Сеньківський В.М., Слободяник В.Г., Репета В.Б., Хаджинова С.Є., Шибанов В.В., Шостачук О.П., Ярема С.М., Claypole T., Crouch J.P., Izdebska J., Stepień K., Scarpeta E., Stefano d'Andrea, Valdec D. та інші.

Однак навіть за умови використання найсучасніших розробок у друкарському процесі без належного контролю його класичних, «ключових» ділянок неможливо досягнути потрібних результатів. Такою ділянкою у флексографії є процес фарбоперенесення, визначальними чинниками якого є анілоксовий вал, фарба, друкарська форма та задруковуваний матеріал. Основні технологічні параметри анілоксу (лініатура, об'єм комірки, її конфігурація, кут гравіювання) визначають кількість фарби, яка передається на друкарську форму, рівномірність та точність цієї передачі, тим самим визначаючи характеристики фарбового шару на відбитку. Через те, що під час експлуатації поверхня анілоксового вала може забруднитися (наприклад,

внаслідок засихання фарби) і це призведе до зміни його технологічних характеристик, важливими є також знання про ефективні методи його очищення.

Поверхневі властивості фотополімерної друкарської форми, особливості обробки її поверхні та реологічні і друкарсько-технічні характеристики фарби визначають можливості нанесення технологічно необхідного шару фарби на поверхню задрукованого матеріалу. Для отримання відбитку з високими якісними та стійкісними показниками фарбового шару ще однією необхідною умовою є ефективна енергетична взаємодія фарби з поверхнею субстрату, яка повинна володіти певним рівнем поверхневої енергії.

Саме тому комплексне експериментальне дослідження та математичний аналіз вагомості впливу перелічених вище факторів на якість відбитків флексографічного друку є актуальним науково-прикладним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до Закону України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» №2519-17 та його змін, внесених згідно із Законами № 5460-VI від 16.10.2012, № 848-VIII від 26.11.2015, № 1162-IX від 29.01.2021, № 2031-IX від 01.02.2022, № 2859-IX від 12.01.2023, № 3534-IX від 21.12.2023.

Робота безпосередньо пов'язана з тематичними напрямками наукових досліджень Інституту поліграфії та медійних технологій НУ «Львівська політехніка», зокрема кафедри мультимедійних технологій, а також виконувалась в рамках договору №300-2020 між Українською академією друкарства та СП ТзОВ «Полі Пак» на виконання науково-технічного проекту «Дослідження поверхневих властивостей полімерних плівок».

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є встановлення закономірностей впливу основних факторів технологічного процесу флексографічного друку (властивостей друкарських форм, фарби,

полімерних плівок та анілоксових валів) на показники якості відбитків флексографічного друку і розробка прогностичних моделей для удосконалення процесу флексографічного друку гнучких паковань спирторозчинними фарбами.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

- провести аналіз літературних джерел щодо досліджень впливу характеристик матеріалів, режимів та технологічного забезпечення процесу флексографічного друку на показники якості друкарських відбитків та на його основі розробити модель технологічного процесу флексографічного друку гнучких паковань і встановити пріоритетність впливу факторів технологічного процесу на якість відбитків;
- дослідити вплив матеріалів та режимів виготовлення фотополімерних флексографічних друкарських форм на процес фарбоперенесення і якість відбитків;
- дослідити адгезійну взаємодію спирторозчинних фарб з поверхнею друкарських елементів форм;
- визначити закономірності впливу характеристик анілоксових валів на показники якості друкарських відбитків;
- розробити метод оцінювання ступеня очищення комірок анілоксового вала та розробити модель прогнозування ефективності процесу очищення анілоксових валів;
- на основі результатів проведених експериментальних досліджень побудувати прогностичні моделі і кількісно розрахувати ефективність процесу очищення анілоксів;
- дослідити здатність друкарської фарби до структурування та визначити вплив аномалії в'язкості фарб на процес фарбопередачі і ефективність очищення анілоксових валів;
- встановити пріоритетність факторів та кількісно оцінити їх вплив на якість процесу флексографічного друку гнучких паковань і побудувати прогностичну модель.

Об'єктом дослідження є технологічний процес флексографічного друку гнучких паковань.

Предметом дослідження є матеріали та обладнання, які приймають участь у процесі фарбоперенесення під час флексографічного друку, моделі, методи і засоби оцінювання якості флексографічного друку спирторозчинними фарбами на полімерних плівках та комплексна оцінка факторів впливу на якісні характеристики друкарських відбитків.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети у роботі використано сучасні методи дослідження, зокрема методи денситометричного та сенситометричного контролю якості друкарських відбитків із використанням спектросенситометра X-Rite eXact (X-Rite Pantone, США), методи мікрофотозйомки поверхні друкарських форм та відбитків, оцінювання поверхневої енергії полімерних матеріалів, дослідження стійкості фарбового шару на відбитку, методи аналізу поверхні анілоксових валів з використанням 3D-мікроскопа AniCAM та програмного забезпечення Anilox QC Application (Troika Systems). Імітаційне моделювання реалізовано з допомогою графічного середовища технологічних розрахунків Matlab та системи розробки Fuzzy Logic Toolbox. Для опрацювання експериментальних результатів використано програмний пакет Microsoft Excel.

Наукова новизна одержаних результатів. У результаті проведення наукових досліджень розв'язано науково-прикладну задачу підвищення якості флексографічного друку гнучких паковань на основі встановлення закономірностей впливу основних чинників технології (параметри друкарських форм, анілоксових валів, полімерних плівок та спирторозчинних фарб) на процес фарбоперенесення і якісні характеристики друкарських відбитків.

Під час виконання дисертаційної роботи отримані такі нові результати:
вперше:
— розроблено модель технологічного процесу флексографічного друку гнучких паковань, що включає фактори процесу як сукупність елементів, що

перебувають у певній взаємодії один із одним і створюють цілісну систему, що уможлиблює аналіз процесу із застосуванням методів контролю, які узгоджені з відповідними стандартами та встановлює пріоритетність впливу цих факторів на якість технологічного процесу;

- розроблено метод кількісного оцінювання ступеня очищення комірок анілоксового вала з реалізацією у вигляді програмного застосунку, що уможливило використання результатів для визначення вихідного параметра якості при створенні моделі прогнозування ефективності процесу очищення анілоксових валів;

- побудовано прогностичну модель процесу флексографічного друку шляхом представлення пріоритетних факторів у вигляді лінгвістичних змінних із термами оцінювання на відповідних універсальних множинах, формування функції належності, нечіткої бази знань, нечітких логічних рівнянь і проведення дефазифікації нечітких значень, що дозволило удосконалити процес флексографічного друку гнучких паковань та кількісно оцінити його якість.

Удосконалено:

- метод контролю величини енергетичної взаємодії у друкарському контакті системи «друкарська форма-фарба-полімерна плівка», що дозволило покращити фарбопередачу та забезпечити високі адгезійні й оптичні показники друкарських відбитків.

Отримали подальший розвиток:

- дослідження впливу на поверхневу енергію полімерних плівок обробки коронним розрядом, що дозволило встановити залежності між режимами обробки полімерних плівок і якісними показниками відбитків флексографічного друку і підібрати оптимальні режими обробки;
- дослідження впливу лініатури анілоксових валів і їх фарбоємності на оптичні показники друкарських відбитків, отриманих різними типами друкарських фарб та встановлено залежності впливу цих параметрів на оптичні показники друкарських відбитків, що дає можливість оперувати даними показниками за

рахунок правильного вибору анілоксового вала з відповідними характеристиками.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення роботи полягає у формуванні на основі аналізу отриманих результатів практичних рекомендацій щодо ефективного використання:

- досліджуваних друкарських форм у друкарських процесах флексографічного друку шляхом підбору оптимальних режимів їх виготовлення та експлуатації;
- анілоксових валів у технологічних процесах флексографічного друку шляхом підбору оптимальних режимів їх експлуатації та режимів і матеріалів очищення;
- полімерних плівок, шляхом підбору ефективних режимів обробки їх поверхні коронним розрядом;
- друкарських фарб, шляхом раціонального регулювання їх в'язкості в процесі друкування, що в комплексі дозволить забезпечити якість відбитків флексографічного друку на гнучких пакуваннях.

Зокрема, для підвищення ефективності процесу очищення анілоксових валів розроблено комп'ютерну програму «AniTest», яка проводить додаткову обробку цифрових зображень, отриманих на 3D-мікроскопі AniCAM. Побудовані у роботі прогностичні моделі впливу параметрів друкарської форми, анілоксового вала, в'язкості друкарської фарби та поверхневої енергії на якість відбитків дають змогу спрогнозувати у цілому якість процесу флексографічного друку гнучких пакувань, що має безпосереднє практичне значення.

Апробацію розробленого у роботі застосунку «AniTest» та його впровадження у виробничий процес здійснено в умовах підприємства СП ТЗОВ «Полі Пак» (м. Львів). Результати досліджень також впроваджено у навчальний процес підготовки студентів спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія» ОПП «Мультимедійні видавничо-поліграфічні технології»

(дисципліни «Матеріали і технології флексографічного друку», «Видавничо-поліграфічні матеріали»).

Результати впровадження підтверджені відповідними документами.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати теоретичних і експериментальних досліджень отримано здобувачем самостійно.

Особистий внесок автора у спільних працях полягає в: одержанні експериментальних залежностей і аналізу впливу матеріалу та технологій виготовлення флексографічних друкарських форм на якість відбитків [118]; проведенні розрахунку поверхневої енергії друкарських форм і аналізі адгезійної взаємодії спирторозчинних фарб з їх поверхнею [125]; отриманні експериментальних залежностей та проведенні аналізу впливу матеріалів та режимів очищення анілоксових валів на якість фарбоперенесення у флексографічному друці [130]; формуванні універсальної множини змінних і створенні нечіткої бази знань [151]; виборі факторів процесу флексографічного друку, побудові орієнтованого графа з розподілом по етапах формування фарбового шару, виокремлені факторів за принципом Парето [102,156]; проведенні аналізу перспектив розвитку та дослідженні властивостей полімерних плівок [91,121,122] і фотополімеризаційноздатних матеріалів [3,5] у технологічних процесах виготовлення гнучких пакувань.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на наукових конференціях та опубліковані в їх тезах і матеріалах:

Міжнародній науковій конференції International Scientific Online Conference «Modern Advances in Organic Synthesis, Polymer Chemistry and Food Additives» (Львів, 7–8 грудня 2021 року), VI Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Якість та безпечність товарів» (Луцьк, 13 травня 2022 року), VII Міжнародній науково-технічній конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» (Харків, 17-21 травня 2022 р.), Науково-практичних конференціях професорсько-

викладацького складу, наукових працівників та аспірантів УАД (Львів, 2022 р., 2023 р., 2024 р.), 1st International Workshop on Advanced Applied Information Technologies (AdvAIT-2024) (Хмельницький, 5 грудня 2024 року).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 13 наукових праць, зокрема:

- 2 публікації у виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази SciVerse SCOPUS (з них 1 публікація в зарубіжному науковому виданні);

- 4 публікації у періодичних виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus і наукових фахових видань України (з них 1 одноосібна);

- 7 публікацій у матеріалах і тезах конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 156 найменувань та 4 додатків. Загальний обсяг роботи – 178 сторінок, 126 з яких займає основний текст. У дисертації 74 рисунки та 11 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕРІАЛИ У ПРОЦЕСАХ ФЛЕКСОГРАФІЧНОГО ДРУКУ

1.1 Технології виготовлення фотополімерних друкарських форм

Одним з суттєвих недоліків флексографії, що, як вважалося, гальмував її прискорений розвиток, була дещо нижча якість друкування в порівнянні із плоским офсетним та глибоким друком. Причиною, в вершу чергу, було використання еластичних форм високого друку, які не забезпечували високої оптичної щільності фарбового шару, а їх друкарські елементи в результаті порівняно більшого розтискування не забезпечували належної точності кольоровідтворення [6]. Протягом останніх років удосконалення технології формних процесів флексографічного друку завдяки використанню інноваційних рішень, дозволило практично вирішити ці проблеми.

У сучасному флексографічному друці використовуються фотополімерні друкарські форми (ФДФ) на основі твердих чи рідких фотополімеризаційноздатних композицій. Під дією УФ-випромінювання мономерні, олігомерні чи мономернополімерні суміші, які входять до складу основного фотополімерного шару (ФПШ) форми, змінюють свій хімічний та фізичний стан – утворюються тверді пружні нерозчинні полімери [7].

Цифрові технології для виготовлення ФДФ отримали широкий розвиток починаючи з 1995 р. в результаті створення ФДФ з маскувальним шаром фірмою DuPont [8, 9]. Головною відмінною рисою цих матеріалів є наявність тонкого (кілька мікрон) чорного шару-маски, який має високу оптичну щільність. Він служить для створення первинного зображення, сформованого за допомогою лазера, і є маскою при подальшому експонуванні ФПШ УФ-випромінюванням. Масковий шар, який не чутливий до УФ-випромінювання і водночас термочутливий в ІК-діапазоні спектра, має

товщину 3-5 мкм і складається сажового наповнювача в розчині олігомера [8, 79].

Завдяки активному поглинанню ІЧ-випромінювання чорним масковим шаром відбувається його абляція (тому технологія отримала назву LAMS (Laser Ablatable Mask - маска, яка видаляється лазером). Отримання чіткого зображення на інтегральній масці залежить від структури і технічних характеристик маскового шару (однорідності, оптичної щільності, адгезії до фотополімеру), а також від правильних налаштувань пристрою лазерного опромінення [10].

Проведення наступних операцій технологічного процесу не має принципових відмінностей від їх виконання при виготовленні флексографічних ФДФ за аналоговою технологією, тому цифровий спосіб може бути легко інтегрований в уже існуючі технологічні ланцюжки виготовлення флексографічних форм [11].

Технологія High Definition Flexo, розроблена компанією Esco, стала революційним етапом у розвитку технологій виготовлення друкарських форм для флексографії. Нюанси та переваги цієї технології були неодноразово описані віце-президентом Esco Єном Холлом [12].

Рушійною силою до розробки цієї технології стали різко зростаючі вимоги до якості друкування у флексографії. Як відомо, одним з ключових показників якості є роздільна здатність. Для першого покоління StP-пластин цей показник складав 2100 пікселів на дюйм (ppi), в кінці 90-х він зріс до 2540 ppi, а після застосування технології HD Flexo – до 4000 ppi [13]. Однією з новинок технології HD Flexo було використання в світлих ділянках растрових точок різного розміру. Завдяки такому способу око бачить, що точки відображаються рівномірно, формуючи однорідний тон і таким чином вирішується проблема обриву тону. Поряд з використанням точок різних розмірів в світлих ділянках є окремі точки, які більші, ніж стандартні мінімальні. Ці точки більш стабільні і можуть легше протистояти тиску в процесі друку. Дрібні точки підтримуються більшими і тому не деформуються

при друкуванні, залишаючись стабільними навіть на довгих тиражах, наближаючи градієнти у світлих ділянках до нуля [12, 14].

Нерівномірність нанесення фарби на плашках при друкуванні з традиційних цифрових форм обумовлюється появою так званих «шпилькових проколів». Фарба схильна до ефекту злипання в згустки через поверхневий натяг і неідеальну змочуваність субстрату, що призводить до утворення сітчастого візерунку з осередками розміром 100 мкм. У результаті на плашках утворюються видимі дефекти («проколи»), які знижують однорідність фону та оверпринту [12].

Друге покоління технології HD Flexo дозволяє наносити на флексоформи спеціальні впорядковані мікроструктури. Злипання фарби і утворення згустків виключається, фарбовий шар стає більш однорідним. Мікрочарунки дозволяють фарбі залишатися на місці, а не розтікатися в різні боки, тому фарба наноситься на плашки рівномірним шаром. За рахунок передачі більшої кількості фарби, ніж при друкуванні звичайних суцільних плашок, технологія HD Flexo може підвищити оптичну щільність на 0,1-0,3D у залежності від друкованого зображення. HD Flexo з мікрочарунками забезпечує найкращий баланс між підвищенням оптичної щільності і правильним відтворенням плашки. Це дозволяє скоротити витрати фарби і при цьому друкувати плашки без «проколів» [12-14].

Важливим аспектом використання технології HD Flexo є застосування при виготовленні форм удосконалених систем лазерного та УФ-експонування, які враховують зниження інтенсивності ламп у процесі експонування та забезпечують абсолютну рівномірність світлового потоку. Одним з технологічних варіантів є використання в процесі експонування УФ-світлодіодів [12].

Наступним етапом розвитку технології виготовлення ФДФ стала технологія Full HD Flexo. Фахівці звернули увагу на форму вершин друкарських елементів. Відомо, що точки з плоскою вершиною забезпечують насичені кольори і дуже високу щільність суцільної заливки [15-16]. На жаль,

технології плоских точок мають і зворотну сторону. Збільшення розміру точки на світлих ділянках зображення, яке виникає в результаті формування плоскої вершини точки, обмежує плавність переходу градієнту до нуля, а це приводить до різкого обриву тонів. Технологія Full HD Flexo забезпечує отримання округлих точок на світлих ділянках і плоских в тінях зображення. Нова технологія включає програмування регулювання інтенсивності і часу роботи УФ-світлодіодів при основному УФ-експонуванні. Цифрове управління УФ-діодом основної експозиції можна використовувати для формування обох видів точок в залежності від виду виконуваної роботи: можна виготовляти форми як з округлими точками, так і з плоскими. Це забезпечується за рахунок регулювання рівня питомої потужності УФ-експозиції [15]

Оскільки тоновий діапазон на формах розширився, Full HD Flexo може з високою точністю відтворювати більше пантонних кольорів за допомогою стандартної тріади СМҮК. Однорідні плашки і повноцінні світлі ділянки розширюють зону кольорового охоплення. Понад 70% всіх пантонних кольорів можна відтворити на стандартній машині для друкування на гнучких пакувальних матеріалах з використанням фарб СМҮК (з відхиленням $\Delta E < 3$). Фарба наноситься однорідно, без «проколів», оптимальна оптична щільність плашок забезпечує отримання кольорів, які відповідають стандартам ISO [15].

Відомо, що класична цифрова технологія виготовлення ФДФ (технологія StP) передбачає основне експонування фотополімерної пластини УФ лампами діапазону «А» (315-400 нм) в присутності кисню. Інгібуючий вплив кисню при основному експонуванні ФДФ призводить до формування кулеподібної растрової точки (рис.1.1), і, у свою чергу, до зменшення розмірів друкарського елемента, підвищення його чутливості до тиску друкування і зниження висоти растрових точок [17,18].

Таким чином, особливості цифрової технології виготовлення друкарських форм призводять як до формування нестабільних друкарських елементів в світлах, так і до спотворень у тінях зображення. Одним із шляхів вирішення перерахованих вище проблем є формування «плоских» вершин

друкарських елементів (Flat Top Dots), яке ґрунтується на блокуванні інгібуючого впливу молекулярного кисню на поверхню ФДФ.

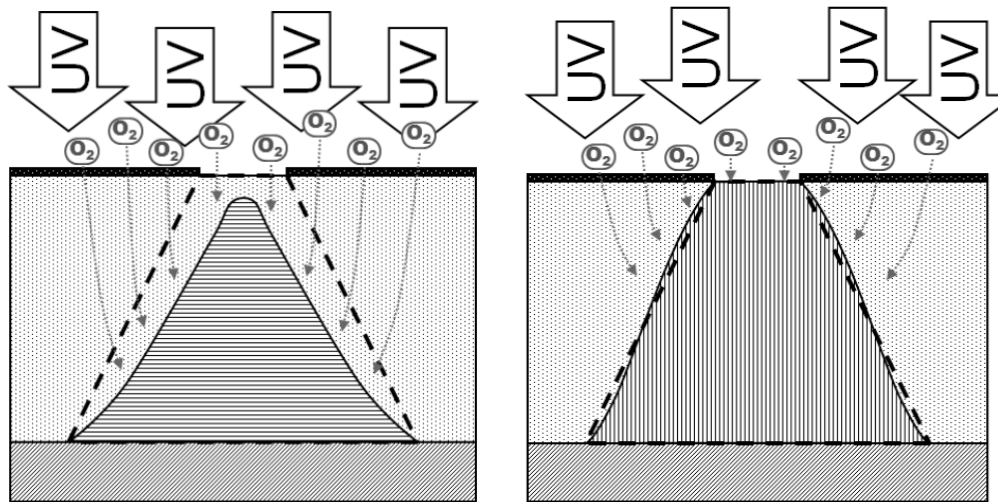


Рис. 1.1. Профіль растрової точки цифрової форми, сформований в звичайних умовах (ліворуч) та при використанні безкисневих технологій (праворуч) [18]

На сьогоднішній день існує два основні способи усунення негативного впливу кисню на процес полімеризації: протекторний та фотохімічний [18].

Однією з перших розробку формних матеріалів з плосковерхніми точками проводила компанія Mac Dermid Printing Solutions (США), результатом цих досліджень стала технологія LUX [19]. Компанією запропоновано достатньо просте та очевидне вирішення – ламінування поверхні формної пластини спеціальною мембраною перед основним експонуванням УФ-випромінюванням із її подальшим видаленням. Мембрана виключає участь кисню повітря в реакції полімеризації та створює можливість перенесення зображення на форму один до одного. В результаті навіть дрібні растрові точки чітко відтворюються, зображення менш чутливе до тиску у друкарській парі, форма набуває вищої зносостійкості, тонкі деталі відтворюються краще. Перевагами цієї технології, окрім забезпечення плоскої вершини друкарських елементів форми, є те, що вона легко адаптується до стандартного технологічного процесу виготовлення флексографічних форм,

практично не має обмежень щодо формату та товщини пластин. Однак технологія LUX потребує використання додаткового ламінувального обладнання [20-22].

Технологія Flexcel NX Digital Flexographic System, розроблена компанією «Kodak» (США), є, по суті, аналоговою технологією виготовлення друкарських форм для флексографії з використанням елементів поелементного запису первісного зображення [23]. Суттєвою відмінністю цієї технології є використання в якості первісного носія інформації не фотоформи, а спеціальної термоформи, яка виготовляється на термочутливій плівці Thermal Imaging Layer (TIL-плівка). На цій плівці за допомогою лазерного випромінювання з довжиною хвилі 830 нм формується негативне зображення, яке далі застосовується для копіювання на формну пластину. Термочутлива плівка, товщиною приблизно 165 мкм, має багатошарову структуру (10-12 шарів) [24], один із яких складається з великої кількості мікролінз, що дозволяє при експонуванні посилювати ефективність дії випромінювання. Верхній (реєстровий) шар цієї плівки є термочутливим, тобто він чутливий до дії ІЧ-випромінювання. Для запису інформації на термоплівку TIL реалізується процес сублімації, тому не має потреби у проявленні. Запис первинного зображення виконується на обладнанні типу Trendsetter NX - модифікації термального експонуючого пристрою компанії «Kodak». Після запису зображення отриману термоформу (так званий TIL-негатив) ламінують (припресовують) до поверхні формної пластини на пристрої Laminator NX [25].

Для реалізації технологій Flexcel NX компанією «Kodak» були запропоновані також інші технічні розробки, які дозволяють удосконалити процес запису зображення. Одна з них - технологія растрівання DigiCap - нанесення по усій площі друкарських елементів додаткових чарунок (мікрозаглибин) із мінімальним розміром 5x10 мкм [23]. Ще однією реалізованою раніше та застосованою у рамках технології Flexcel NX інновацією є використання для запису попереднього зображення на термоплівку технології SquareSpot, яка передбачає формування квадратних

растрових точок за рахунок рівномірного розподілу енергії випромінювання в лазерній плямі [26].

Компанією DuPont Packaging Graphics була розроблена технологія DuPont Cyrel DigiFlow, яка передбачає відносно просту і недорогу модифікацію існуючої лінійки експонуючих пристроїв DuPont - додавання камери для створення контрольованої атмосфери під час основного експонування [27-30]. Створення контрольованої атмосфери, яка складається практично з чистого азоту дозволяє виготовляти цифрові пластини з відтворенням зображення 1:1 [27-31]. У поєднанні з програмою растрування плашок (HD Flexo Microcell) [32] створюються гібридні точки з плоскою вершиною, що дозволяє досягти нового рівня якості форм. Система Cyrel DigiFlow може з легкістю змінювати співвідношення газів в атмосфері для досягнення ідеального профілю точки, залежно від типу пластин або системи їх обробки. При друкуванні на гофрованому картоні оптимальною є атмосфера практично з чистого азоту, а для цифрових форм найкраще співвідношення становить приблизно 99% азоту і 1% кисню [33]. Оскільки азот і кисень – природні елементи, що містяться в повітрі, додаткові відходи, як у випадку використання додаткових (ламінуючих) плівкових матеріалів, відсутні. Використання цієї технології дозволяє забезпечити абсолютно точне відтворення друкарських елементів з високою роздільною здатністю, суттєво підвищити оптичну щільність плашки та їх рівномірність, з мінімальним числом точкових проколів. Растрові точки по всій градаційній шкалі мають чіткі грані з однорідною структурою поверхні. Тому результат друку відрізняється підвищеною контрастністю і розширеним діапазоном кольорів [27-31].

Технологія виготовлення цифрових друкарських форм nyloflex NExT (Flint Group Flexographic Products) [34-36] базується на інноваційному способі експонування флексографічних ФДФ у два етапи:

1-й етап - високоінтенсивне експонування світлодіодами (UV LED). Світловий потік високої інтенсивності випалює кисень з поверхні пластини, тим самим зменшуючи негативне кисневе інгібування полімеризації, завдяки чому друкарські елементи набувають плоскої вершини;

2-й етап - експонування UV-A лампами для формування стійкого профілю друкарського елемента [18, 34-36].

Для експонування фотополімерних пластин за технологією nyloflex NExT використовується спеціальне експонуюче устаткування Nyloflex NExT Exposure з різними форматами та опціями. Пристрої обладнані світлодіодами UV-A високої інтенсивності ($>800 \text{ мВт/см}^2$) та засобами контролю інтенсивності випромінювання, що гарантує високоефективну експозицію для точного відтворення зображень і постійність заданих параметрів експонування [37-38].

Ще одна відома світова компанія - Asahi Photoproducts також розробляє нові технології виготовлення ФДФ для флексографічного друку. Реалізована у пластинах серії Asahi AFP-TOP технологія Pinning Top Dot («Технологія повного фарбоперенесення») забезпечує максимальне перенесення фарби з форми на задруковуваний матеріал [39]. Це стало можливим завдяки низькій поверхневій енергії особливого полімеру, з якого виготовлена пластина. Таким чином, форми, виготовлені за цією технологією, не потрібно очищати настільки часто, як звичайні цифрові сольвентновимивні. Збільшення інтервалів між зупинками машини для очищення форм підвищує продуктивність і якість друку та істотно знижує кількість відходів. Ця технологія була розвинута і вдосконалена у пластинах серії AFP-BFTN. У таких пластинах реалізована технологія повного фарбоперенесення в поєднанні із друкуванням із мінімальним натиском. Вона добре адаптована до будь-якого виробничого процесу і не вимагає спеціального обладнання. Висока лініатура растру цифрової пластини Asahi AFP-BFTN забезпечується завдяки виготовленню пластини у вакуумі [39-40].

Невід'ємним елементом друкарської флексографічної системи, завдяки якому фотополімерна форма фіксується на формному циліндрі машини, є монтажна стрічка. В асортименті стрічок пропонуються стрічки з різною твердістю, що дає можливість у технологічному процесі друкування контролювати розтискування растрових точок [41]. При цьому на вибір монтажної стрічки впливають не тільки особливості налаштування апарату друкарської машини, але й складність і характер зображення на формі, яке необхідно відтворити (плашка, текст, ілюстрація чи виворіт) [41].

1.2. Анілоксові вали і ножі-ракелі флексографічного фарбового апарату

Як відомо, поверхня анілоксогового вала - рівномірно розподілені комірки, однакової форми та глибини, які утворюють растрову структуру на його поверхні. Структура растра і форма растрової комірки - два взаємозв'язані параметри, що визначають фарбоємність анілоксогового вала, а також його поведінку в друкарському процесі, в першу чергу перенесення фарби. Розмір комірок і щільність їх розташування на поверхні анілоксогового вала визначають його лініатуру [42-43]. Фарбоємність вала залежить від лініатури, растрової структури комірок і їх форми. Знаючи фарбоємність вала, можна розрахувати кількість і товщину шару фарби на друкарській формі та відбитку, що робить фарбоємність основним показником при виборі анілоксогових валів для конкретних видів робіт [42-44].

Протягом останнього десятиліття більшість фірм-виробників анілоксів продовжують використовувати при їх виготовленні CO₂-лазери (для низьких лініатур) і твердотільні YAG-лазери для більш високих [45-47]. При виготовленні анілоксів застосовуються різні схеми гравіювання, але найбільш поширеним є рівномірне гравіювання з кутом нахилу комірок 60°. Шестикутна форма комірок (нагадує бджолині стільники) вважається найбільш ефективною, бо кількість комірок на одиницю площі вала у цьому

випадку є максимальною. Однак, все частіше застосовуються альтернативні схеми гравіювання: лінійні зі спіральним (tri-helical) растром і каналними комірками, з кутами нахилу растра в 45° і 30°. Як правило, вони розраховані на спеціальні завдання, наприклад нанесення товстим шаром вузьких покриттів. Застосовуються нестандартні форми і комірки різного об'єму - як правило, для комбінованого друку [48-49].

Поряд зі стабільністю якості анілоксів, що дозволяє без проблем застосовувати нові растрові вали разом з наявними, особливу увагу виробники анілоксів традиційно приділяють підвищенню терміну їх служби. За цими двома напрямками і відбуваються основні розробки. Компанія Harper інвестувала понад 5 млн. доларів у створення технології й обладнання Platinum XLT, які поєднували метод підготовки поверхні кераміки Platinum Surface Technology з технологією лазерного гравіювання eXtreme Laser Technology (XLT) [50]. Наступною інновацією компанії стала розробка LaserKote – міцного, стійкого до лазерного випромінювання покриття, призначеного для точного нанесення в найбільш жорстких умовах друкування та ламінування [51]. Протягом останніх років на ринку також широко використовуються анілокси виготовлені за технологіями XDW (для «тяжких» пігментованих фарб) [52] та XVR (для нанесення дуже тонких плівок фарби) [53].

Компанія Sardon Global у співпраці з Sericol inks розробила технологію гравіювання анілоксів High Opacity White - для нанесення білої криючої фарби. До переваг технології, окрім плашок «трафаретного рівня», відноситься відтворення чітких шрифтів 4-5 пунктів. Склад запропонованої для даних валів фарби Supernova White від Sericol забезпечує оптимальне її затвердіння, якість поверхневого шару максимально наближена до трафаретного. Заміна трафаретної технології флексографією при нанесенні криючого білого шару скорочує витрати додрукарської підготовки, приладки, придбання фарб, передбачає потенційно більш високі швидкості друку [54]. Ще один розроблений компанією спосіб гравіювання - технологія

iPro, орієнтована на виробництва, оснащені високошвидкісними флексомашинами з центральним друкарським циліндром. Найдрібніші комірки при технології гравіювання iPro відмінно забезпечують друк з високою роздільною здатністю і підвищеною якістю, компенсуючи недостатнє фарбоперенесення, спричинене високою швидкістю руху поверхні анілоксу [55].

Високолінійні анілокси дають найкращий результат за умови забезпечення необхідної колірної насиченості. Це і стало причиною створення растрових валів з підвищеним фарбоперенесенням. Компанія Cheshire Engraving представила цілий ряд розробок, зокрема технологію SuperMaxFlo, яка дозволяє високолінійному анілоксу переносити значну кількість фарби. Це унікальне поєднання дозволяє друкувати плашку і півтони одним анілоksom, досягаючи високої оптичної щільності. Технологія реалізується завдяки застосуванню оптоволоконного мультиімпульсного лазера. Результатом є створення дуже відкритої комірки з пологим рельєфом. Ефективність нової форми комірки - 90% порівняно з 60%, характерними для стандартного гравіювання [56]. Гравіювання TwinFlo має кут повороту растра 45° і дозволяє наносити більш товсті шари фарби і уникнути ефекту «зоряного неба» за рахунок більш глибокої комірки з відкритими каналами. Гравіювання EasyFlo застосовується для УФ-фарб і ліній до 200 лін/см з кутом повороту растра 30° . Даний вид гравіювання дозволяє уникнути проблем розбризкування і появи смуг завдяки тунельному з'єднанню комірок, яке дозволяє фарбі вільно перетікати між ними. Гравіювання ProFlo є гібридом стандартної гексагональної комірки 30° і MaxFlo. При куті повороту растра 70° , воно дозволяє друкувати в HD якості за рахунок підвищеного фарбоперенесення і використання високолінійних валів [57-58].

Провідний австралійський виробник анілоксів - компанія UMS Australasia Pty Ltd розробила технологію Pegasus Anilox Transfer GEN II з використанням лазерного гравіювання високої чіткості (HDLE). Завдяки також розробленій в компанії технології P-Coat досягається оптимальна швидкість

частинок при нанесенні на вал, що гарантує можливість швидкого виготовлення рівномірного та повторюваного високоякісного керамічного покриття відповідно до системи управління якістю SABS ISO 9001. Технологія Pegasus Plus Anilox (доступна у форматах Roller, Sleeve та Lightweight) використовує вдосконалені функції HDLE: MBA (Multi-Beam Anilox) та MAD (Micro Anilox Displacement). Основними перевагами цієї технології є: непроникний бар'єрний шар для захисту від корозії, розширена геометрія комірок Pegasus, що забезпечує оптимальне вивільнення фарби, більш висока стійкість до осколкових і поверхневих пошкоджень порівняно із звичайною технологією, спрощення очищення вала [59].

Іншою інновацією компанії є технологія eCell (HD) HDLE, яка була спеціально розроблена для того, щоб досягнути вищої якості друку та повністю використати переваги новітніх технологій CTP, HD, NX, Flat-Top Dot Plate. У ній також використовуються методи лазерного гравіювання високої чіткості - MBA, MAD, Custom Cell, завдяки яким формується унікальна витягнута форма комірки та нове керамічне покриття Black Pearl, нанесення якого повністю роботизоване [60].

Спільно з компанією Uteco, науково-дослідницький відділ фірми Printing Praxair Surface Technology розробив ефективний продукт для вирішення складної проблеми флесографії - смугоутворення – растрові вали Praxair Anilox під назвою SLR (Score Line Resistant - «стійкий до утворення смуг»). В технології використовується поєднання стійкого керамічного покриття з особливою лазерною програмою [61]. Серед найновіших розробок компанії можна виділити лінійку анілоксів Novaline та Proline. [62].

Відома компанія APEX розробила принципово нову технологію анілоксів валів GTT (Genetic Transfer Technology) з унікальною формою гравіювання. Анілоксіві вали GTT гравіруються безперервним лазером малої потужності і замість ізольованих комірок на поверхні вала створюється структура відкритих хвилеподібних каналів [63]. Така технологія дозволяє докорінно змінити спосіб фарбоперенесення на друкарську форму (рис. 1.2).

Завдяки відкритій формі каналів, фарба переноситься на кліше рівномірною тонкою плівкою із заданою точністю: шар фарби лягає тільки на вершину растрової точки і покриває собою всю її площу. При цьому досягається висока оптична щільність і точність дрібних елементів, зменшується розтискування, кількість точкових пропусків і ореолів [64]. За рахунок зменшеної глибини і підвищеної гладкості каналів анілоксів GTT, при друкуванні не потрібно посилювати тиск ракельного ножа і друкарської форми, а це знижує зношування устаткування та форми.

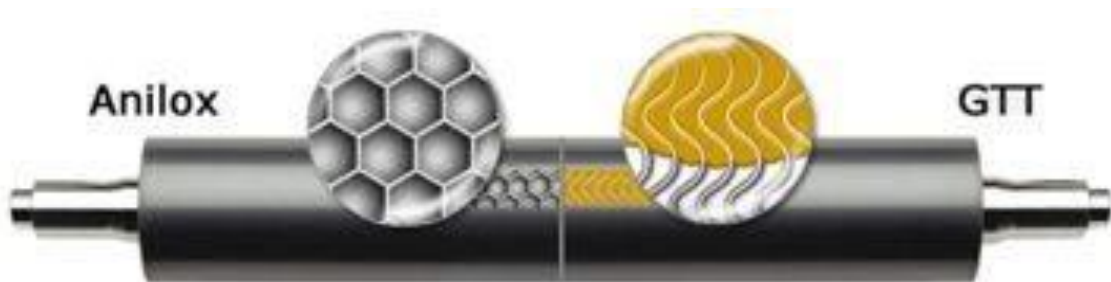


Рис. 1.2. Відмінності між гравіюванням традиційних анілоксів та анілоксів GTT [63]

Спеціально для того, щоб анілоксові вали GTT можна було гравіювати за допомогою безперервного лазера, компанія APEX розробила особливий склад керамічного покриття. Кераміка анілоксів GTT на 80% складається з суміші оксиду хрому і на 20% з частинок діоксиду титану. Пористість кераміки GTT до гравіювання - менша 0,5%, а твердість понад 1500 HV. Анілоксові вали GTT володіють відмінними антикорозійними властивостями за рахунок нікелевого шару, розташованого під керамікою. Усі ці рішення надають новим анілоксам особливу міцність та гладкість. Компанія активно продовжує вдосконалювати таку технологію [65-66].

Нову лінійку анілоксів INOflex розробила також компанія INOMETA. При їх виготовленні використовується унікальна система гравіювання INOcell, вали виготовляють зі сталі, алюмінію чи вуглепластику [67-68].

В Україні також ведуться розробки у цій галузі, наприклад у Відділі газової електроніки Інституту фізики НАН України розроблена новітня плазмова технологія виготовлення анілоксових валів. Запатентований технологічний процес складається з іонного очищення, полірування та спеціальної техніки нанесення покриття анілоксового вала. Ця технологія збільшує адгезію поверхні анілоксового вала та попереджує його забруднення. Осадження бінарних хімічних сполук (нітридів, оксидів, карбідів) збільшує міцність та стійкість до корозії анілоксового шару та збільшує його вологостійкість. Спеціальна конструкція вакуумної камери, дозволяє переміщувати анілоксовий вал від зони нагріву до зони плазмової очистки, а потім в зону нанесення, де обертання циліндричного магнетрону формує покриття [69].

Окрім власне новітніх технологій виготовлення анілоксів, наприклад нанотехнологій [70-71] продовжуються різноманітні дослідження і у інших напрямках, наприклад створення нових унікальних керамічних шарів для лазерного гравіювання [72], чи анілоксів із вмонтованими системами примусової циркуляції терморегулюючої рідини для його охолодження в процесі експлуатації [73].

Одним з елементів сучасних систем подачі фарби у флексографічному друці є ракельний ніж, який призначений для усунення надлишку фарби з поверхні анілоксового вала і тим самим регулювання кількості фарби, яка подається на фотополімерну друкарську форму. У роботі [74] запропоновано класифікацію ножів ракельних фарбових апаратів (рис.1.3).

Властивості друкарської фарби, її компонентний склад, лініатура анілоксів, ширина друку, тип змивного розчину – це ті фактори, які визначають вибір того чи іншого типу ракельного ножа.

На поліграфічному ринку свою продукцію представляють наступні виробники ракельних ножів: TOYO, Rotoswiss Sagl, William Pinder & Sons, Flexo Concepts, Allison Systems, Fuji Shoko, Daetwyler AG, BTG Group-TKM

Inc., PrimeBlade Sweden AB, Provident LLC, AkeBoose Graphic Products, FLXON Incorporated, Tresu Group.



Рис. 1.3. Класифікація ножів ракульних фарбових апаратів [74].

1.3. Поверхнева енергія полімерних матеріалів та способи її підвищення

Отримати якісний друк на полімерних плівках за допомогою сучасних високошвидкісних машин можна, коли фарби з друкарських форм без перешкод переносяться і потім надійно утримуються на гнучких полімерних основах протягом усього часу використання готових пакувань. Однак дуже

корисна властивість полімерних плівок при контакті з запакованим продуктом - хімічна інертність, а відповідно, і низька поверхнева енергія - робить їх малосприйнятливими до друкарських фарб і до інших типів покриттів. Для нанесення фарби на полімерні плівки крім хімічної відповідності між фарбовою композицією і задруковуваним матеріалом, необхідна хороша змочуваність плівки. Для доброї адгезії фарб поверхнева енергія полімерних плівок повинна бути приблизно на 10 мН/м вищою, ніж поверхневий натяг фарб або нанесених покриттів. Як правило, для достатнього рівня адгезії фарб на основі розчинників необхідно, щоб поверхнева енергія плівки складала принаймні 38 мН/м, а для клеїв і водорозчинних фарб - не менше 42 мН/м [75-79].

Існують чотири методи обробки поверхні з метою збільшення поверхневої енергії матеріалу: коронний розряд, кислотне або плазмове травлення, вогнева обробка (обробка полум'ям), ґрунтування [80].

Перевага методу обробки поверхні полімерних плівок полум'ям у порівнянні з коронним розрядом полягає у вищій стабільності попередньої обробки протягом часу. Крім цього, зворотна сторона плівки не обробляється і товщина плівки не має значення. В процесі обробки згорають тонкі забруднені шари на поверхні матеріалу, тобто обробку полум'ям можна вважати очищенням (тонке очищення). Товщина обробленої поверхні становить приблизно один молекулярний шар [81].

Революцію в попередній обробці поверхні здійснюють сьогодні плазмові технології. Використання попередньої плазмової обробки дозволяє наносити надтонкі шари на робочий матеріал [82-83]. Технологія Aldyne (Softal Electronic GmbH), відома також як ґрунтування в газовій фазі, була розроблена спільно з компанією Air Liquide. Aldyne - це обробка плазмою атмосферного тиску в контрольованій газовій атмосфері. Пристрій для Aldyne займає практично стільки ж місця, скільки техніка для коронування, отже, може вільно інтегруватися в наявне обладнання для підвищення якості поверхонь. На поверхні пластику утворюються зовсім інші хімічні сполуки -

аміни, аміди та іміди. Наявність цих азотних груп веде не тільки до помітного підвищення поверхневої енергії, але також і до багаторазового збільшення зчеплення середовищ, які наносяться. Таким чином, на БОПП плівках може, зокрема, виконуватися друкування УФ-фарбами без необхідності нанесення шару праймера [82-84].

1.4. Обробка поверхні полімерних плівок коронним розрядом

Коронний розряд - характерна форма самостійного газового розряду, який виникає при тиску порядку атмосферного і вище в різко неоднорідних полях, що супроводжується видимим світлом - «короною» [75-79]. Коронний розряд формується у вузькому повітряному проміжку з високою різницею потенціалів між електродами, через нього протягується полотно полімерної плівки, яка обробляється. Для отримання рівномірного коронного розряду використовується висока напруга з частотою 25-50 кГц [75,85].

Обробка плівок коронним розрядом призводить до значного зростання їх поверхневої енергії, при цьому змінюється тільки верхній шар макромолекул товщиною не більше 0,00001 мкм, без впливу на об'ємні властивості полімеру і на зовнішній вигляд матеріалу [78].

Коли плівка рухається в повітряному проміжку між електродом високої напруги і ізольованим валиком в однорідному полі коронного розряду, вільні електрони, які завжди присутні у повітрі, прискорюються до заземленого електроду і іонізують газ з такою енергією, що відривають електрони з молекул в повітряному проміжку, в результаті створюючи лавиноутворення електронів. При цьому в повітряному проміжку після зіткнення молекул кисню з прискореними в електричному полі електронами, кисень дисоціює на атоми, утворюючи озон - нестабільну сполуку з надзвичайно високою окислюючою здатністю. Озон, який утворився, окислює поверхню плівки, збільшуючи адгезію клеїв та фарб [86]. Коли плівка потрапляє в зону коронного розряду, електрони, що утворилися в полі коронного розряду, впливають на її поверхню

з енергією в 2-3 рази більшою, ніж необхідно для розриву молекулярних зв'язків на поверхні більшості полімерних плівок, при цьому утворюються різні дуже реакційноздатні проміжні функціональні групи. Саме ці карбонільні, карбоксильні, гідропероксидні і гідроксильні групи ефективно збільшують хімічну взаємодію з полімерної матрицею. Для таких груп характерна висока хімічна спорідненість з полярними фарбами і клеями, що сприяє значному збільшенню поверхневої енергії і, отже, підвищенню адгезії. На поверхні плівки відбувається випалювання пластифікаторів і добавок, які підвищують ковзання, а також мікротравлення, в результаті чого утворюються мікропори, в які затікають фарби або клей, підвищуючи міцність з'єднання [75-78,85].

Збільшенню поверхневої енергії і загальної площі контакту в чималому ступені сприяє формування електретів на поверхні плівки, тобто областей на поверхні діелектричного матеріалу, які утворюються в полі коронного розряду і тривало зберігають просторові електричні заряди або поляризацію. Формування поверхневих електретів підвищує адгезійну взаємодію як між шарами багат шарових плівок, так і з іншими матеріалами завдяки додатковому внеску електретної складової в адгезійну взаємодію. У поверхневому шарі електроізоляційного матеріалу утворюється просторовий заряд, що співпадає за знаком зі знаком заряду електрода. Відбувається перенесення носіїв заряду з області електричного розряду в повітряному проміжку на поверхню електроізоляційного матеріалу і фіксування їх на енергетичних поверхневих пастках. Через деякий час ці заряди релаксують, електрети згодом «розтікаються» і пропадають. Розпад електретів дещо знижує поверхневу енергію плівки вже через кілька годин після обробки коронним розрядом [75-78].

Постійна розробка нових полімерних матеріалів, друкарських фарб і адгезивів, а також великої кількості пристроїв для технології обробки коронним розрядом, зумовлює те, що вимоги до індивідуальних рівнів обробки визначаються відповідно до застосуваннями продукту і вимог, які висувуються до кінцевих властивостей продукту. Дуже високі рівні обробки створюють

полярні групи, які гідрофільні за своєю природою, і можуть поглинати надмірну кількість води, що негативно впливає на шар склеювання на поверхні основи. Крім того, надмірна обробка може створювати продукти з низькою молекулярною масою на поверхні, які не можуть зберігати адекватну взаємодію з основною речовиною основи [87].

Вихідною точкою для визначення розмірності системи обробки є енергоживлення в кіловатах та ширина станції обробки, які вже, в свою чергу, визначають максимальну ширину полотна, що обробляється. В процесі роботи плівку обробляють певним рівнем енергії на поверхню протягом певного часу. Такий параметр співвідношення енергії і часу вимірюється у вигляді щільності потужності, що визначається як потужність на квадратний метр в хвилину:

$$W_d = (PS_w) / (WW * LS_{pm} * NST), \quad (1.1)$$

де: W_d — щільність потоку потужності (Вт/(м² *хв));

PS_w — потужність (Вт);

WW — ширина полотна (м);

LS_{pm} — швидкість потокової лінії (м/хв);

NST — кількість сторін, які оброблюються [88].

Хоча застосовувана щільність потужності безпосередньо пов'язана з підвищенням рівня поверхневого натягу, це співвідношення не має лінійного характеру, і є різним для кожного типу оброблюваного матеріалу [88].

Всі параметри, які впливають на щільність потужності можна розділити на дві групи: системні параметри та параметри матеріалу і технології [85]. Найбільш очевидними системними параметрами є потужність джерела живлення і розмір станції (ширина оброблюваного полотна). Для того, щоб отримати потрібну щільність потужності, яка виходить за межі максимальної номінальної потужності електродів, необхідно додати у пристрій додаткові електроди. Швидкість лінії є іншим системним параметром, який ускладнює підрахунок розмірності. Перебуваючи в обернено пропорційній залежності з щільністю потужності, швидкість лінії істотно впливає на розміри і вартість системи [77, 89].

Різні матеріали (основи) по-різному реагують на обробку коронним розрядом. Наприклад, деякі поліестери добре сприймають обробку, і демонструють швидке підвищення поверхневого натягу при відносно низьких рівнях щільності потужності, скажімо від 0,9 до 1,2. Інші матеріали, такі як поліетилен, гірше сприймають обробку та демонструють менш значне підвищення поверхневого натягу при помірних значеннях щільності потужності, скажімо від 2,0 до 2,5. Окрім того, є матеріали, такі як поліпропілен, які складно обробляти, і які дають лише помірне підвищення поверхневого натягу при відносно високих рівнях щільності потужності, скажімо від 2,5 до 3,0 [89-91].

Зважаючи на значну кількість факторів впливу на ефективність поверхневої обробки полімерних матеріалів, науковцями проводяться різноманітні дослідження процесу та режимів коронного розряду. Зокрема, визначаються вплив потужності обробки на адгезивні властивості матеріалів [92-93], а також можливості застосування доз корони, які перевищують рекомендовані, на поверхневу енергію різних типів полімерних плівок та стійкість скріплення ламінатів, отриманих з їх використанням [94], встановлено вплив діелектричного бар'єру із застосуванням різних типів електродів на ефективність обробки плівок [95]. Достовірність отриманих результатів підтверджується використанням найсучасніших методів досліджень: рентгенівської фотоелектронної спектроскопії, скануючої електронної мікроскопії, атомно-силової мікроскопії [96].

Результатом практичного застосування наукових розробок стали пристрої Polimetal и Poliplast Kappa Plus («Ferrari & Benelli»). Ці системи є виключно універсальними. Вони можуть оснащуватися алюмінієвими електродами (для обробки плівок і паперу), керамічними електродами (для обробки металізованих плівок), а також електродами з втягувальними частинами для обробки у певній зоні. Новою і ключовою особливістю цих пристроїв є те, що електродні вузли повністю взаємозамінні і забезпечують можливість обробки всіх видів матеріалів з найкращими результатами [97].

У виробничих та лабораторних умовах також проводяться дослідження обробки полімерних плівок у процесах виготовлення гнучких пакувань [98-99].

Відповідно до сучасної тенденції максимального виключення участі оператора у виробничому процесі джерело живлення повинно автоматично реагувати на відповідну ширину полотна. Джерело живлення також повинно бути забезпечене датчиком падіння рівня обробки, який подає сигнал тривоги, якщо вихідна потужність падає нижче потрібного рівня. Такий сигнал буде негайно прийнятий оператором, і дозволить уникнути виробництва браку через те, що пристрій для обробки працює з недостатньою потужністю [100].

Сучасні джерела живлення на основі мікрокомп'ютерів можуть автоматично знаходити відповідності вихідної потужності і резонансної частоти навантаження і ефективно передавати номінальну потужність [101].

1.5. Фактори якості та операції контролю процесу флексографічного друку пакувань

Процес флексографічного друку гнучких пакувань спиртовими фарбами можна розглядати як сукупність елементів, що перебувають у певній взаємодії один з одним і створюють певну цілісність – систему. Таким чином, на основі аналізу встановлено фактори, які визначають якість процесу флексографічного друку гнучких пакувань спиртовими фарбами:

f_1 – Тип ножів камер-ракельної системи (DB)

f_2 – Тип анілоксового вала (AN)

f_3 – Притиск між анілоксом і формою (PR1)

f_4 – Тип липкої монтажної стрічки (TE)

f_5 – Параметри фотополімерної друкарської форми (PP)

f_6 – Реологічні показники фарби (VI)

f_7 – Розтискування (PR2)

f_8 – Поверхневі властивості задрукованого матеріалу (SP)

f_9 – Товщина фарбового шару (IL)

f_{10} — Режими сушіння відбитків (ID) [102].

Функціонування флексографічної фарбодрукарської системи та вплив відібраних факторів на друкарський процес відображено на рис. 1.4.

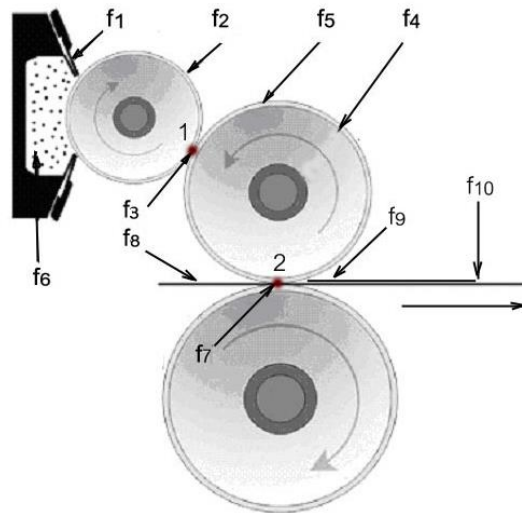


Рис.1.4. Модель функціонування флексографічної фарбодрукарської системи:

f_1 - f_{10} – фактори, що визначають якість процесу друкування; 1 і 2 – етапи фарбопередачі

Досягнення необхідних показників якості друкарського процесу можливе тільки при постійному і періодичному здійсненні операцій контролю, які здебільшого регламентуються відповідними стандартами. На рис.1.5. показано основні операції контролю технологічного процесу флексографічного друку гнучких паковань спиртовими фарбами. Операції контролю проводяться на кожному етапі проходження технологічного процесу: перший етап включає операції, які необхідно провести перед друкуванням (контроль в'язкості фарби ASTM D1200-23 [103], контроль поверхневої енергії полімерної плівки ISO 8296:2003 [104], візуальний контроль отриманої друкарської форми, контроль стану комірок анілоксових валів); другий етап - операції у процесу проходження друку, а саме контроль колориметричних показників відбитків ISO 12647-6:2020 [105], контроль

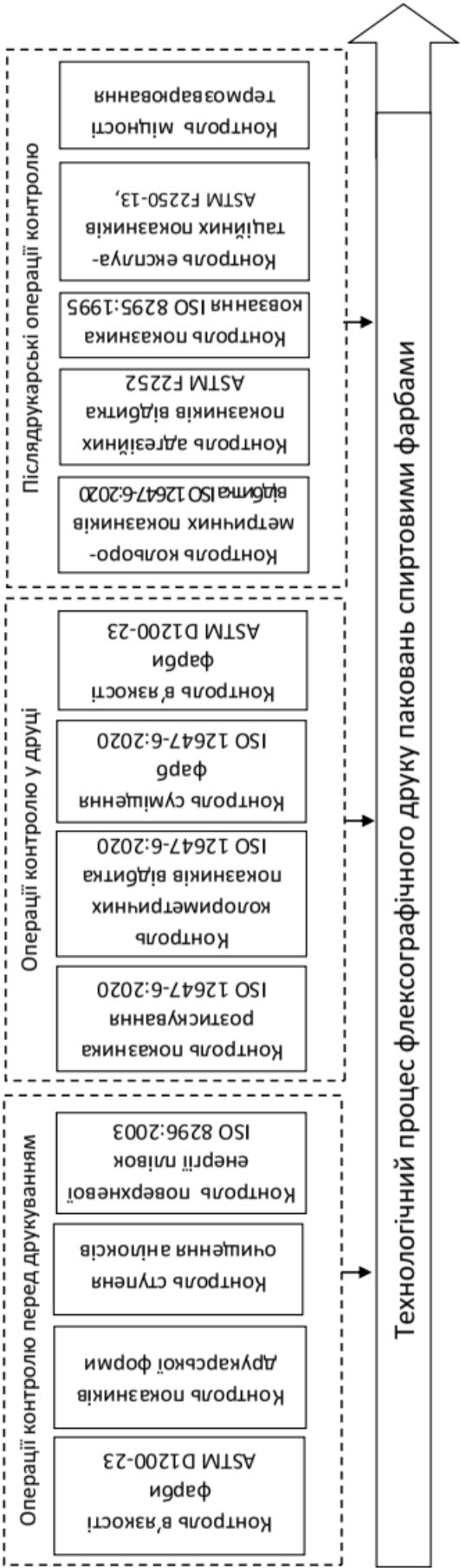


Рис. 1.5. Операції контролю технологічного процесу флексографічного друку паковань спиртовими фарбами

показника розтискування, суміщення фарб ISO 12647-6:2020 [105], продовжується подальший контроль в'язкості фарби ASTM D1200-23; третій етап включає операції, які включають наступний контроль колориметричних показників відбитків, контроль адгезійних показників відбитка ASTM F2252 [106], визначення експлуатаційних показників відбитків (зносостійкості BS 3110:1959 [107] і хімічної стійкості ASTM F2250-13 [108]) і показників, які визначають поведінку віддрукованих відбитків при виготовленні самих пакувань (показник ковзання ISO 8295:1995 [109], міцність термозварювання ASTM F2029-16 [110]).

Аналіз операцій контролю показує на необхідність приділення уваги в межах першого етапу операції контролю стану анілоксових валів, як основного фактора, який визначає необхідну кількість фарби на друкарській формі. Важливість даного фактора обґрунтовано вище у підрозділі 1.2. Вибір анілоксових валів з відповідними параметрами визначатиме вплив цих параметрів на стан комірок після експлуатації і після процедури їх очищення.

Енергетична взаємодія фарби з поверхнями друкарського контакту також вимагає додаткового дослідження, адже при фарбопередачі вона визначає не тільки колориметричні показники відбитка, але й здатність відбитка забезпечити відповідні стійкісні властивості готового пакувального виробу.

Висновки до розділу 1

1. Іноваційні рішення у технологіях виробництва флексографічних друкарських форм зробили можливим отримувати не тільки друкарські форми з високою роздільною здатністю і контрольованою за розміром растровою точкою, але й керувати друкуючими елементами форми, з точки зору сприймання та передавання друкарської фарби, на двох етапах контакту в фарбово-друкарській системі: анілоковий вал – друкарська форма і друкарська форма – задруковуваний матеріал, що зробило флексографічний друк конкурентоздатним у порівнянні з офсетним і глибоким способами друку.

2. Збільшення роздільної здатності друкарських форм супроводжується удосконаленням виробництва анілоксових валів з високими лініатурами і зносостійкістю поверхні, що забезпечує стабільне формування фарбового шару камер-ракельними апаратами, залежно від відтворюваного сюжету зображення.

3. Процес флексографічного друку гнучких паковань включає сукупність елементів, що перебувають у взаємодії один з одним і створюють певну цілісність – систему. Відповідно, на основі аналізу процесу флексографічного друку встановлено наступні фактори, які визначають його якість: тип ножів камер-ракельної системи; тип анілоксового вала; притиск між анілоксовим валом і формою; тип липкої монтажної стрічки; параметри фотополімерної друкарської форми; реологічні показники фарби; розтискування; поверхневі властивості задрукованого матеріалу; товщина фарбового шару; режими сушіння відбитків. Виявленні фактори вимагають подальшого їх дослідження з встановленням пріоритетності впливу на технологічний процес флексографічного друку.

4. Хімічна будова більшості полімерних матеріалів обумовлює інертність їх поверхні і низьку взаємодію з рідинами (друкарськими фарбами), що вимагає операції модифікації поверхні для збільшення їх поверхневої енергії, контролю її величини і при необхідності її додаткової обробки, що дасть можливість отримати відбитки з високими колориметричними і адгезійними показниками.

5. Послідовний аналіз технологічного процесу дозволив згрупувати методи контролю показників якості матеріалів і друкарських відбитків на трьох етапах процесу флексографічного друку. Більшість з них обґрунтовуються стандартами і використанням вимірювальних приладів, а деякі – оцінюються візуально. Зокрема, встановлено, що операція очищення анілоксових валів на етапі оцінювання стану їх комірок вимагає додаткових рішень щодо її удосконалення.

РОЗДІЛ 2.

ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методика дослідження технологій модифікації поверхні друкарської форми мікрораструванням

Експериментальні дослідження виконувались у виробничих умовах СП ТзОВ «Полі Пак» (м. Львів). В експериментальній роботі використовувалися фотополімерні друкарські форми для флексографічного друку товщиною 1,14 мм (таб. 2.1) DuPont Cyrel DPR (виготовлені в умовах ТОВ «Репро Студія Діалог»), Flint Group Nyloflex ACE (ТОВ «Лазер Флекс»), MacDermid LUX ITP (ТОВ «Алеф Inc»), Asahi AFP–TOP (ПП «Континент»).

Таблиця 2.1

Технічні характеристики флексографічних фотополімерних
друкарських форм

Технічні характеристики	Тип пластини			
	Cyrel DPR	nyloflex ACE	LUX ITP	AFP-TOP
Товщина, мм	1,14	1,14	1,14	1,14
Твердість (Шор А)	76	78	78	77
Відтворювана градація, %	1-98	1-98	1-99	1-95
Мінімальна товщина лінії, мм	0,05	0,1	0,05	0,08
Мінімальний діаметр точки, мм	0,2	0,2	0,1	0,15

Для виготовлення друкарських форм застосовувалися сучасні технології «плосковерхих» точок – DigiFlow (DuPont), NExT (Flint Group), LUX (MacDermid). Для монтажу форм використовували двосторонню липку стрічку 3М 1320 товщиною 0,5 мм. Для друкування використовували восьмифарбову

флексографічну друкарську машину Fisher&Krecke 10DF з анілоксовими валами лініатурою 340 лін/см та 400 лін/см. Швидкість друкування складала 160 м/хв. В процесі друкування використовували спирторозчинні друкарські фарби серії Polistar Метокс та розчинник РФЛ («Флексорес», Україна). Друкування виконували на перлисто-білій поліпропіленовій плівці товщиною 35 мкм (Treofan Group).

Для оцінювання режимів мікрорастрування та якісних показників форм використовувалися тестові форми, які містили набори спеціальних контрольних елементів з урахуванням конкретних умов друкування. Для аналізу якості відтворення растрових точок і контрольних елементів на друкарській формі та відбитку, а також генерованих мікроструктур на друкарських елементах використовували цифрову камеру із 150-кратним збільшенням, якою обладнаний пристрій для монтажу флексографічних форм Du Pont Microflex MS 1320 [111]. Якісні характеристики друкарських відбитків оцінювали за допомогою спектроденситометра eXact (X-Rite Pantone) [112]. Вимірювання проводили 5 разів і визначали середнє значення.

2.2. Методика дослідження впливу режимів обробки плівок коронним розрядом на їх адгезійні властивості

В процесі експерименту досліджувалися властивості різних полімерних плівок, які використовуються для виготовлення гнучких паковань та етикетки:

- плівка поліпропіленова, перлисто-біла марки STD товщиною 28 мкм виробництва компанії Treofan Group (Німеччина);
- плівка поліпропіленова, перлисто-біла марки SHH товщиною 28 мкм виробництва компанії Jindal (Індія);
- плівка поліпропіленова, прозора марки MLD товщиною 20 мкм виробництва компанії Treofan Group (Німеччина);
- плівка поліпропіленова, прозора марки GND товщиною 20 мкм виробництва компанії Treofan Group (Німеччина);

- плівка поліпропіленова, прозора марки BICOR 20MB400 товщиною 20 мкм виробництва компанії Jindal (Індія);
- плівка поліетиленова марки ELITE виробництва компанії DOW (США) ;
- плівка поліетиленова 50 мкм виробництва компанії «Плівзахист» (Україна);

Обробка плівок проводилася на пристрої Corona-Station AV-150 C/D (рис. 2.1) виробництва компанії AFS (Німеччина), який агрегатований для роботи в лінію на флексографічній друкарській машині FISCHER & KRECKE 10 DF 8 CNC (СП ТзОВ «Полі Пак», Львів). Швидкість роботи машини змінювали від 50 до 200 м/хв. Пристрій Corona-Station AV-150 C/D здатен генерувати коронний розряд частотою 15-50 кГц та потужністю до 3000 Вт.

Для процесу друкування використовували фотополімерні друкарські форми, виготовленні з використанням пластин Cyrel DPR (DuPont) товщиною 1,14 мм, та спирторозчинні друкарські фарби серії Polistar (Флексорес).



Рис.2.1. Пристрій Corona-Station AV-150 C/D (AFS)

Для вимірювання рівня поверхневої енергії полімерних плівок використовували набір тестових чорнил (рис. 2.2) компанії AFS (Німеччина), які відповідають різним рівням поверхневого натягу. Вимірювання проводили легким натиском пензлика чи кінчика маркера на поверхню досліджуваного матеріалу, накреслюючи лінію 3-4 мм по всій його довжині.

Згортання лінії у краплі менше ніж за 3 секунди показує відсутність, або дуже низький рівень поверхневої енергії. Для визначення критичної оцінки змочування необхідно використовувати чорнило чи маркер з більш високим значенням.



Рис. 2.2 Набір тестових чорнил компанії AFS для визначення поверхневої енергії полімерних плівок

Для вимірювання рівня адгезії фарби до полімерної плівки використовували тест липкою стрічкою (скотч-тест). На поверхню задрукованого матеріалу наклеювали липку стрічку (використовувалася стандартна липка стрічка Scotch 610 компанії 3M). Потім половину стрічки знімали плавним зусиллям, другу частину – швидким рухом під кутом 90° . Стрічка повинна бути без фарбового шару, а на шарі фарби не повинно бути пошкоджень. Якість адгезії оцінювали за відсотком фарби, яка перейшла на липку стрічку із задрукованої поверхні [113].

Для вимірювання оптичної щільності фарбового шару на відбитках флексографічного друку використовували спектроденситометр eXact (X-Rite Pantone, США).

2.3. Методика дослідження кінетики розтікання рідин

Виконання експерименту складалося із двох частин: отримання цифрового зображення краплини рідини, яка була нанесена на поверхню

субстрату, і автоматичний розрахунок косинуса крайового кута змочування (ККЗ) [114-115].

Для отримання цифрового зображення краплини потрібно виконати наступні операції:

1. Запустити програму Logitech QuickCam.
2. В меню програми активувати клавіші Quick Capture → Open Quick Capture, після чого на екрані монітора відкриється вікно з зображенням, яке реєструє камера.
3. Заповнити шприц-дозатор досліджуваною рідиною.
4. Закріпити дозатор з рідиною на штативі.
5. Встановити позицію столика з зразком друкарської форми пропорційно по відношенню до кадра зображення.
6. Навести зображення на різкість.
7. Нанести краплину рідини на поверхню зразка форми.
8. Фотографувати проекції крапель при натисканні кнопки “Take a Picture” з автоматичним збереженням отриманого кадру.

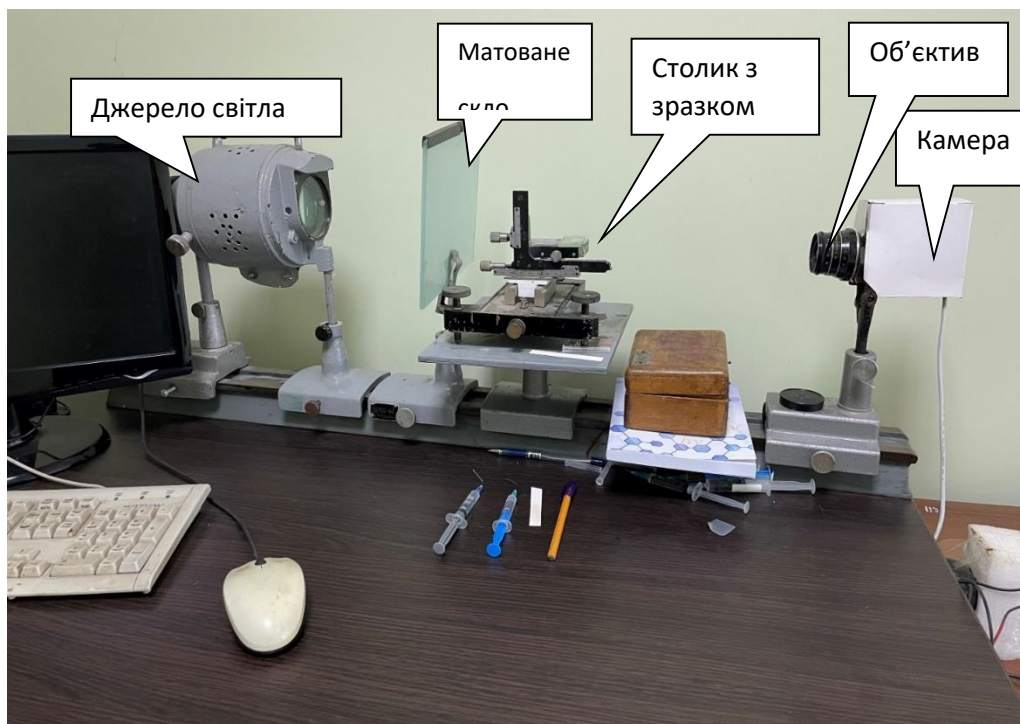


Рис. 2.3. Пристрій для визначення ККЗ

Автоматичний розрахунок косинуса ККЗ проводиться згідно зі співвідношенням:

$$\cos \theta = (R^2 - h^2) / (R^2 + h^2) \quad (2.1)$$

де $h = y_3 - ((y_1 + y_2) / 2)$ – найбільша висота краплини;

$R = (x_2 - x_1) / 2$ – радіус площі контакту досліджуваної краплини з поверхнею субстрату.

Для цього необхідно:

1. Запустити програму „Кутоаналізатор” (рис. 2.4).
2. Відкрити файл з отриманим цифровим зображенням профілю краплини.
3. Навести курсор на лівий край профіля краплини (точка 1, рис. 2.5) і натиснути ліву клавішу миші (здійснюється введення координат X_1 і Y_1).
4. Не відпускаючи клавіші миші, перемістити курсор на правий край профіля краплини (точка 2, рис. 2.5) і, відпустивши її, ввести координати X_2 і Y_2 .
5. Навести курсор миші на вершину профіля краплини (точка 3, рис. 2.5) і натиснувши праву клавішу миші, ввести координату Y_3 .

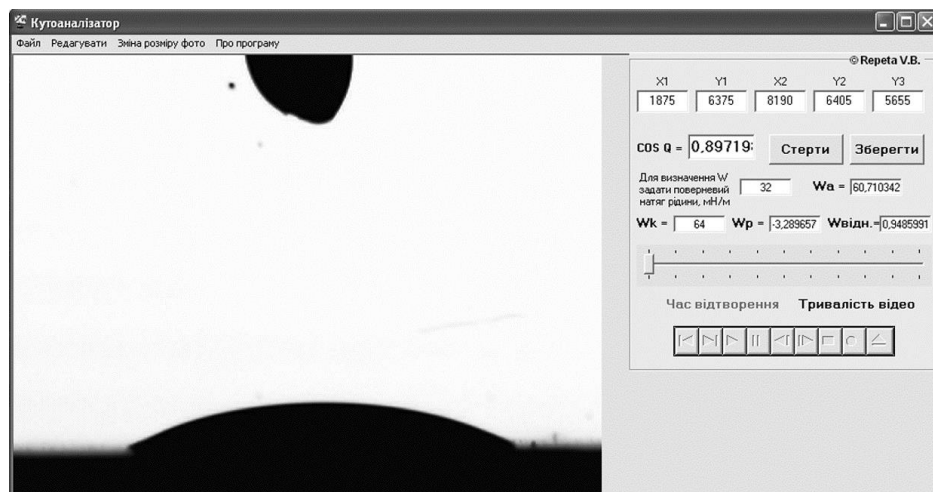


Рис. 2.4. Вікно програми „Кутоаналізатор” для автоматичного визначення кутів змочування

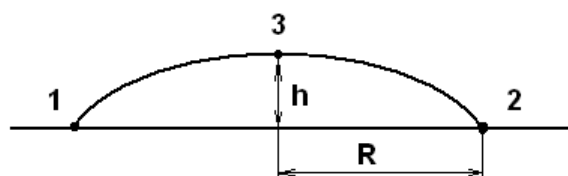


Рис. 2.5. Геометричні розміри проекції профіля краплини

За отриманими координатами програма автоматично розраховує косинус контактного кута змочування $\cos \theta$. За результат приймають середнє арифметичне значення з п'яти вимірів [115].

2.4. Методика визначення аномалії в'язкості друкарської фарби

Методика полягає у визначенні умовної в'язкості фарби за часом неперервного витікання заданого об'єму фарби з чаші стандартного об'єму крізь отвір визначеного діаметра ($\varnothing=4$ мм). Фарбу наливають у чашу-віскозиметр, який попередньо встановлюють на горизонтальну площину, і вирівнюють за рівнеміром. Під отвір лійки встановлюють склянку на 150 мл. Витягують корок, що закриває отвір, і секундоміром вимірюють час витікання суцільним потоком досліджуваної фарби з чаші. Дослідження обґрунтовується стандартом DIN 53211 [116].

Аномія в'язкості розраховується за співвідношенням:

$$A = \eta_{\max} / \eta_{\min} \quad (2.2)$$

де $\eta_{\min}$ – в'язкість фарби при перемішуванні;

$\eta_{\max}$ – в'язкість фарби після вистоювання протягом 30 хв.

2.5. Методика оцінювання стану комірок анілоксових валів

В процесі експерименту досліджувався комплект анілоксових валів різної лініатури та об'єму. Всі досліджувані вали мають керамічне покриття поверхні, кут гравіювання 60° , гексагональну форму комірки.

Друкування проводилося на поліпропіленовій перлистобілій плівці STD товщиною 28 мкм виробництва компанії Treofan Group (Німеччина) з використанням цифрових фотополімерних друкарських форм Cyrel DPR (DuPont) товщиною 1,14 мм та спирторозчинних друкарських фарб серії Polistar Метокс (Флексорес). Робоча в'язкість фарб складала 17-21 секунду (DIN 4), швидкість друкування 160-180 м/хв, температура сушки - 50°C .

Для аналізу поверхні анілоксових валів використовували 3D-мікроскоп AniCAM та програмне забезпечення британської компанії Troika Systems (рис. 2.6), люб'язно надані компанією IMPRIMO (м. Київ).

Пристрій поставляється з набором з трьох змінних лінз, що дають збільшення в 4, 10 і 20 раз і призначені для зйомки об'єктів з різними розмірами і глибиною рельєфу. Всі вимірювання AniCAM виконує безконтактним способом, не торкаючись поверхні валів вимірювальною частиною. Для зменшення площі контакту корпусу в пристрої використовуються пластикові насадки на бічних ніжках-полозах корпусу. Подібна конструкція ніжок також дозволяє здійснювати встановлення приладу на циліндричних поверхнях (форми на гільзах, вали або циліндри), що мають діаметр більший 63 мм [117].



Рис. 2.6. Вимірювання параметрів анілоксових валів із застосуванням 3D-мікроскопа AniCAM

Управління камерою і перетворення серії двовимірних знімків в єдину тривимірну картину, а також розрахунок фізичних характеристик на кшталт

кутів, товщини, глибин і об'ємів проводиться на комп'ютері за допомогою відповідного програмного забезпечення (Anilox QC Application). Отримані під час вимірювання дані аналізуються, за результатами створюється тривимірна модель поверхні. Плоске зображення з камери може бути розфарбоване відповідно до рівнів висот (як на географічній карті), або подане у вигляді набору поперечних перерізів, або в об'ємному вигляді, як комп'ютерна 3D-модель, яку користувач може крутити в ту чи іншу сторону.

Заявлена в специфікації точність автоматичних обчислень становить $\pm 3\%$, вимірювання, проведені вручну, дозволяють знизити похибку до $\pm 0,5\%$. Автоматичне вимірювання об'єму комірок анілоксових валів виконується з точністю до $\pm 5\%$.

Для очищення анілоксових валів використовували змивальні розчини Flexo Hard та Flexo Soft (3V Group) та Anilox Cleaner (Flexoclean).

Для аналізу якісних показників друкарських відбитків, отриманих з використанням різних анілоксів, використовували спектроденситометр X-Rite eXact (X-Rite Pantone, США), який дає змогу точно та швидко визначити оптичну щільність відбитків, розтискування растрової точки та відхилення кольору (ΔE).

2.6. Метод кількісного оцінювання ступеня очищення комірок анілоксового вала

Для кількісного оцінювання ступеня забруднення комірок розроблено комп'ютерну програму «AniTest», яка проводить додаткову обробку цифрових зображень, отриманих на 3D-мікроскопі AniCAM. Програма аналізує кольорові пікселі зображення і при визначенні пікселів червоного діапазону, робить їх заміну на пікселі білого кольору, після чого, також перетворює сині і зелені кольори зображення в пікселі чорного кольору та проводить підрахунок кількості білих пікселів, встановлюючи їх відсоток на зображенні, що характеризує площу комірок анілокса. При заданій умові - лініатурі анілоксового

вала, проводиться розрахунок і визначення ступеня очищення його комірок з візуалізацією результату за термами «достатньо», «посередньо» і «погано».

Інтерфейс комп'ютерної програми «AniTest» показано на рис. 2.7, а результат обробки зображення поверхні анілокса - на рис. 2.8.

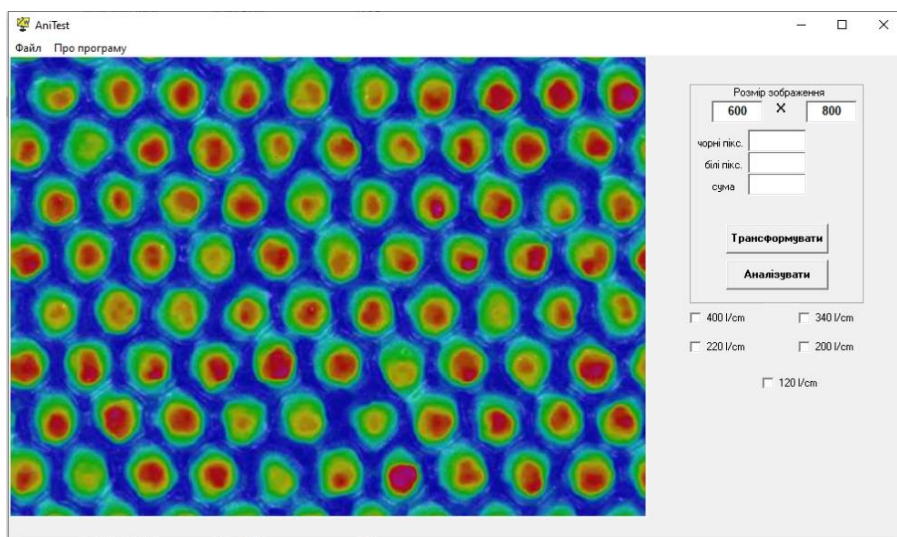


Рис. 2.7. Інтерфейс програми AniTest

При завантаженні зображення відбувається підрахунок пікселів за шириною і довжиною зображення, при активації команди «Трансформувати» відбувається пошук пікселів червоного кольору і заміна їх на білі та пікселів синього кольору - на чорні. Неідентифіковані відтінки залишаються без змін.

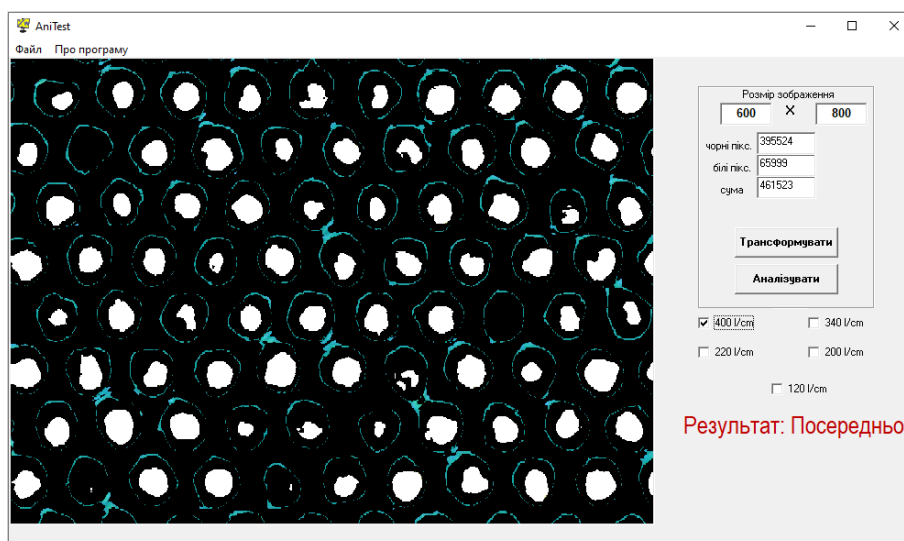


Рис. 2.8. Результат обробки цифрового зображення програмою AniTest

Дослідження трансформування показало, що якщо зображення зробити одразу чорно-білим, то не ідентифіковані кольори стають білими і являють собою «шуми» при їх підрахунку. Порядковий підрахунок кількості чорно-білих пікселів відбувається після представлення цифрового зображення у вигляді масиву.

За результатами аналізу зображень поверхні анілоксів із різним ступенем очищення встановлено наступні параметри площі розподілених по поверхні комірок як співвідношення білих пікселів до загальної кількості пікселів у %:

- Для анілоксу з лініатурою 400 лін/см :
 - $\geq 19 \%$ очищення комірок «достатнє»
 - $<19 \text{ і } >13 \%$ очищення комірок «посереднє»
 - $\leq 13 \%$ очищення комірок «погане»
- Для анілоксу з лініатурою 340 лін/см:
 - $\geq 22,5 \%$ очищення комірок «достатнє»
 - $<22,5 \text{ і } >15 \%$ очищення комірок «посереднє»
 - $\leq 15 \%$ очищення комірок «погане»
- Для анілоксу з лініатурою 220 лін/см:
 - $\geq 24 \%$ очищення комірок «достатнє»
 - $<24 \text{ і } >16 \%$ очищення комірок «посереднє»
 - $\leq 16 \%$ очищення комірок «погане»
- Для анілоксу з лініатурою 200 лін/см:
 - $\geq 26 \%$ очищення комірок «достатнє»
 - $<26 \text{ і } >17 \%$ очищення комірок «посереднє»
 - $\leq 17 \%$ очищення комірок «погане»
- Для анілоксу з лініатурою 120 лін/см:
 - $\geq 19 \%$ очищення комірок «достатнє»
 - $<19 \text{ і } >12,5 \%$ очищення комірок «посереднє»
 - $\leq 12,5 \%$ очищення комірок «погане».

Результати аналізу програмою ступеня чистоти комірок анілоксу будуть лежати у основі межі значень вихідної величини лінгвістичних змінних для анілоксів з різною лініатурою і, відповідно, різницею у об'ємі комірок.

Висновки до розділу 2

1. Більшість методик наукових досліджень реалізовано саме на флексографічному виробництві гнучких паковань, що є максимально наближеним до виробничих умов і, відповідно, отримані результати мають практичне значення.

2. Використані і розроблені методики забезпечують комплекс експериментальних досліджень для поетапної оцінки якості процесу флексографічного друку, що дозволить за отриманими результатами комплексно оцінити технологічний процес

3. Розроблений метод кількісного оцінювання ступеня очищення комірок анілоксового вала дозволяє встановити відмінності у стані (відкритості) комірок анілоксових валів з різною лініатурою з візуалізацією у вигляді нечітких термів «достатньо», «посередньо» і «погано». Результати, отримані за розробленим методом, будуть використані для вихідного параметру при створенні прогностичної моделі ефективності процесу очищення анілоксів.

РОЗДІЛ 3.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДРУКАРСЬКОГО КОНТАКТУ НА ФАРБОПЕРЕДАЧУ

3.1. Дослідження технологій модифікації поверхні друкарських форм мікрорастровуванням

Для того, щоб інтегрувати останні досягнення при виготовленні друкарських форм у виробничий процес необхідні ретельні та всебічні дослідження, проведені у конкретних виробничих умовах. Аналіз таких досліджень дозволить не тільки оцінити якість тих чи інших друкарських форм, а й якість друкарського процесу в цілому.

Аналіз проводився за тест-об'єктами відповідно до особливостей технологічних процесів виготовлення форм (технологій растровання HD Flexo) та технологій формування плоских вершин друкарських елементів (DigiFlow, NExT, LUX).

Вже на першому етапі тестування (Step test) було експериментально підтверджено позитивний вплив мікрорастровування на оптичну щільність відбитків. Оптична щільність плашки з використанням пластин Cyrel DPR та Nyloflex ACE без мікроструктур складала $D=1,23-1,3$, а найкращі результати відповідають мікроструктурам типу MCWSI. Максимального приросту оптичної щільності (рис. 3.1) для пластин DPR досягнуто при використанні налаштувань WSI boost 320 - $\Delta D=0,27$ (анілокс 340 лін/см) і $\Delta D=0,26$ (анілокс 400 лін/см). Для пластин ACE максимальний приріст оптичної щільності спостерігається при використанні налаштувань WSI boost 250 - $\Delta D=0,21$ (анілокс 340 лін/см) і $\Delta D=0,2$ (анілокс 400 лін/см) [118].

Отримані результати мають наочне візуальне підтвердження. За допомогою мікрофотозйомки отримано зображення поверхні друкарських елементів із різними типами мікроструктур та мікрофотографії поверхні плашки із мікроструктурою MCWSI та плашки без сформованої мікроструктури

(рис. 3.2), а також поверхні відбитка, отриманого з цих форм (рис. 3.3). Можемо спостерігати щільне та рівномірне закрочування плашки друкарською фарбою, яке пояснюється «роботою» мікроструктурування – за рахунок комірок мікроструктури фарба рівномірно змочує поверхню друкарського елемента, фарба не утворює згустки та не стікає за межі поверхні друкарського елемента (рис. 3.3) [118].

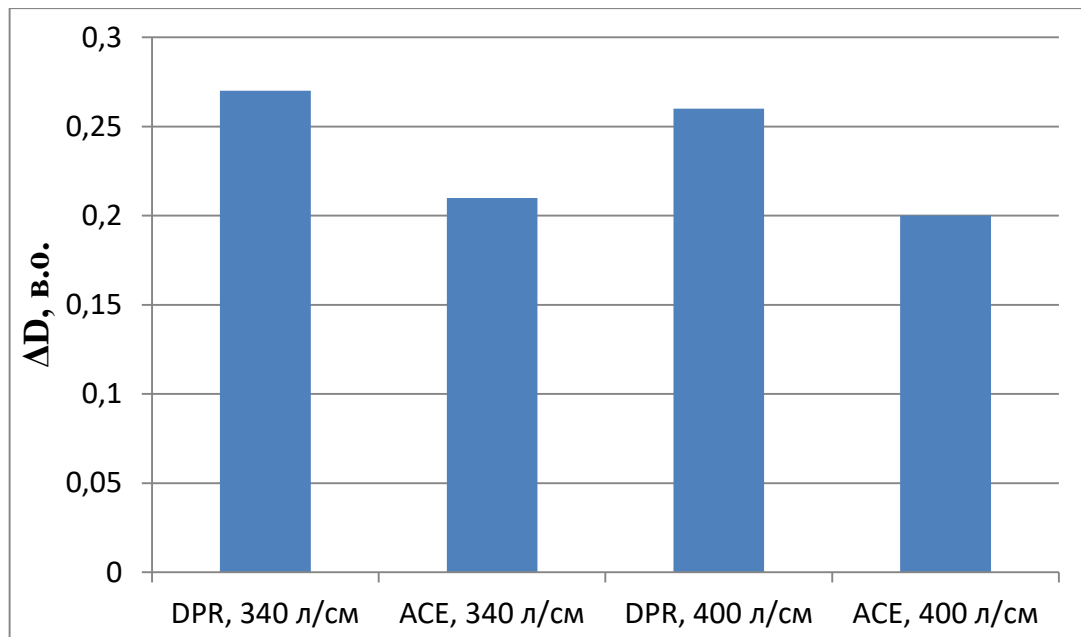


Рис. 3.1. Максимальний приріст оптичної щільності плашки при використанні мікрорастровування для пластин DPR та ACE (Step test)

Наступний етап тестування - підготовка та друкування одноколірного тестового зображення із застосуванням встановлених у першому тесті налаштувань та з використанням додаткових алгоритмів растровування для покращення якості відбитка. Було проведено друкування з тестових друкарських форм та виміряно основні параметри отриманих відбитків. Для зручності аналізу введено умовні позначення використаних режимів мікрорастровування (табл. 3.1).

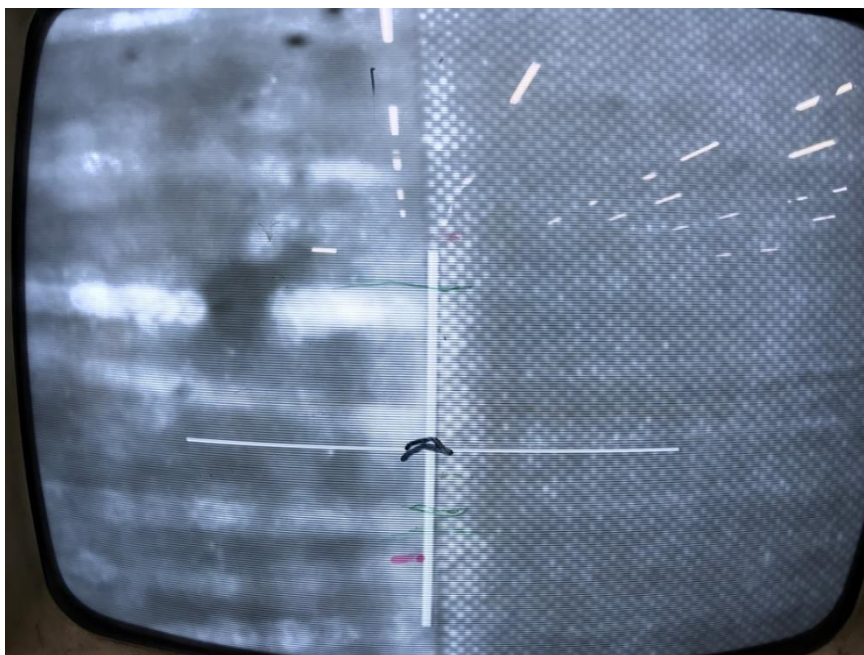


Рис. 3.2. Мікрофотографії поверхні друкарської форми (плашка), виготовленої з пластини DPR без мікрорастрування поверхні (ліворуч) та з мікрораструванням в режимі MCWSI (праворуч)

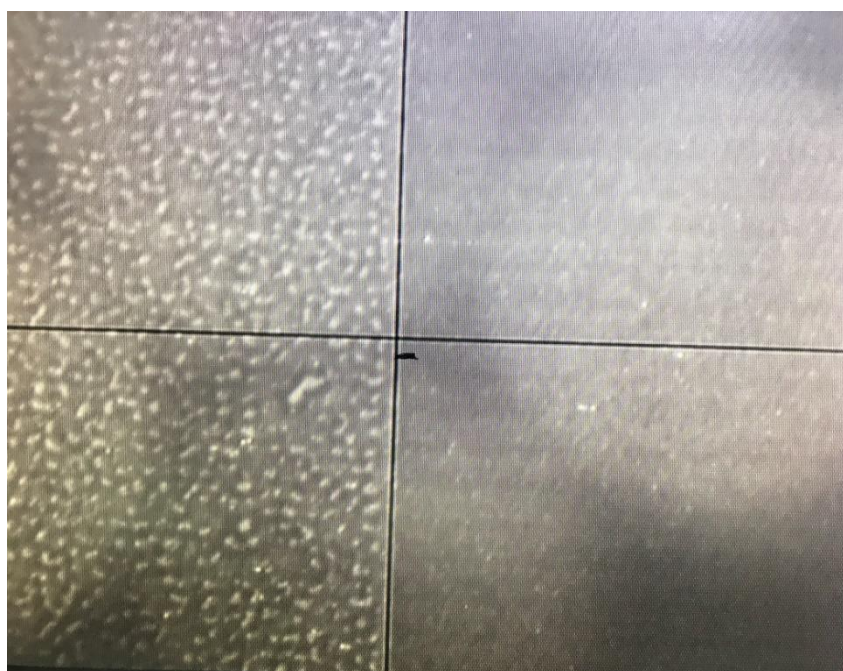


Рис. 3.3. Мікрофотографії відбитка (плашка) з друкарської форми DPR без мікрорастрування поверхні (ліворуч) та з мікрораструванням в режимі MCWSI (праворуч)

Таблиця 3.1

Умовні позначення використаних режимів мікрорастрування для
пластин DPR та ACE

Режими мікрорастрування	Умовне позначення режиму мікрорастрування
Solid	DPR1
HD Flexo C31 WSI_FADE60_P+	DPR2
HD Flexo C31 WSI_FADE65_P+	DPR3
HD Flexo C31 WSI	DPR4
HD Flexo C31 WSI_FADE55_P+	DPR5
HD06-C25 MCWSI_P06_P+	ACE1
HD09-C21 MCWSI_P06_P+	ACE2
HD11-C18 MCWSI_P06_P+	ACE3
HD21-C15 MCWSI_P06_P+	ACE4

Вимірювання оптичних щільностей показало, що при використанні пластин DPR (рис. 3.4-3.5) максимальні значення ($D=1,52-1,56$) відповідають режиму мікрорастрування HD Flexo C31 WSI_FADE55_P+ (DPR5), як для анілоксу 340 лін/см, так і для анілоксу 400 лін/см. При використанні пластин ACE (рис. 3.6-3.7) максимальні значення ($D=1,48-1,5$) відповідають режиму мікрорастрування HD06-C25 MCWSI_P06_P+ (ACE1) для обох анілоксів.

Основним елементом контролю при цьому тестуванні є аналіз градаційної передачі при різних режимах растрування – необхідно ретельно проконтролювати розміри та структуру растрових елементів і особливо плавність переходів у півтонових та світлих ділянках зображення. За результатами проведених вимірювань були побудовані криві тонопередачі для усіх досліджуваних форм та анілоксових валів (рис. 3.8-3.11). Аналіз отриманих залежностей дає змогу стверджувати, що використання технології мікрорастрування позитивно позначається на якості тонопередачі - усі криві мають плавний характер перебігу.

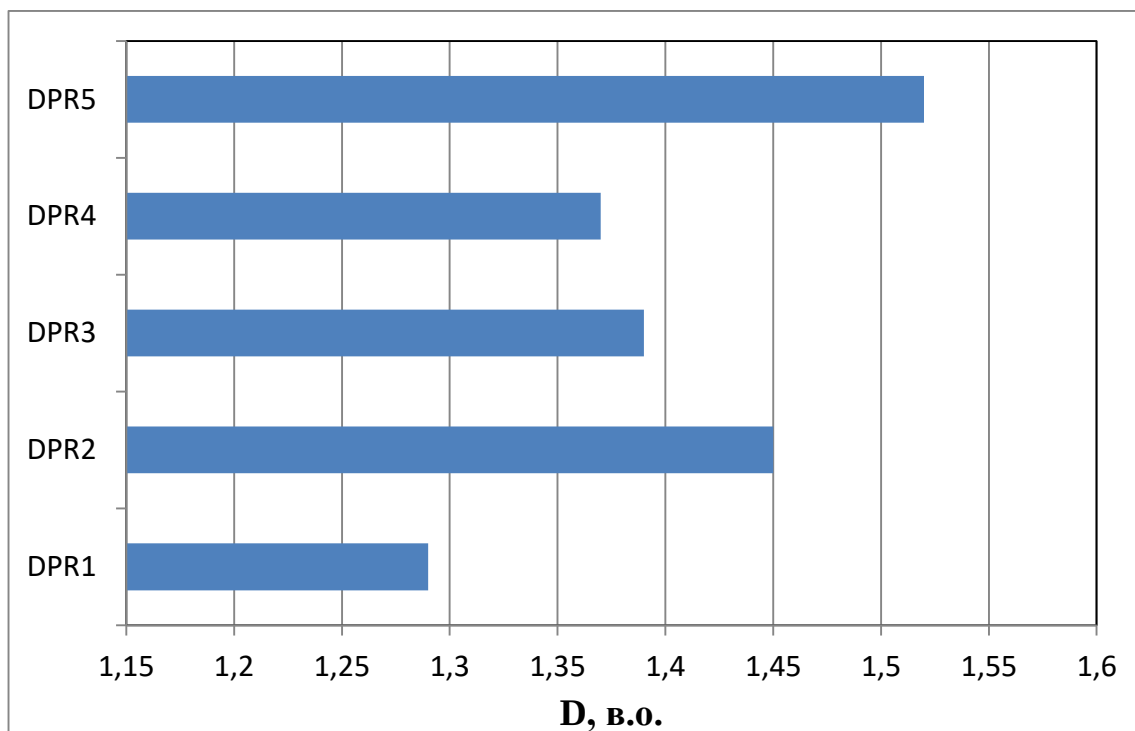


Рис. 3.4. Оптичні щільності плашок при використанні різних режимів мікрорастрування пластин DPR (анілокс 340 лін/см)

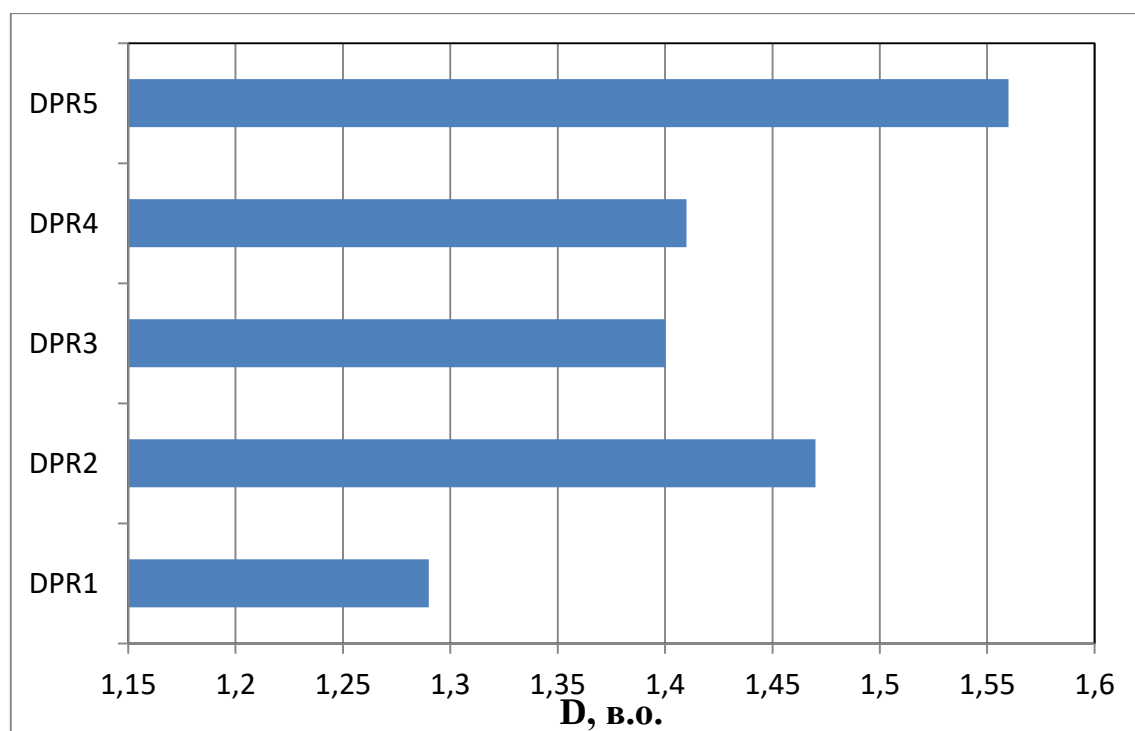


Рис. 3.5. Оптичні щільності плашок при використанні різних режимів мікрорастрування пластин DPR (анілокс 400 лін/см)

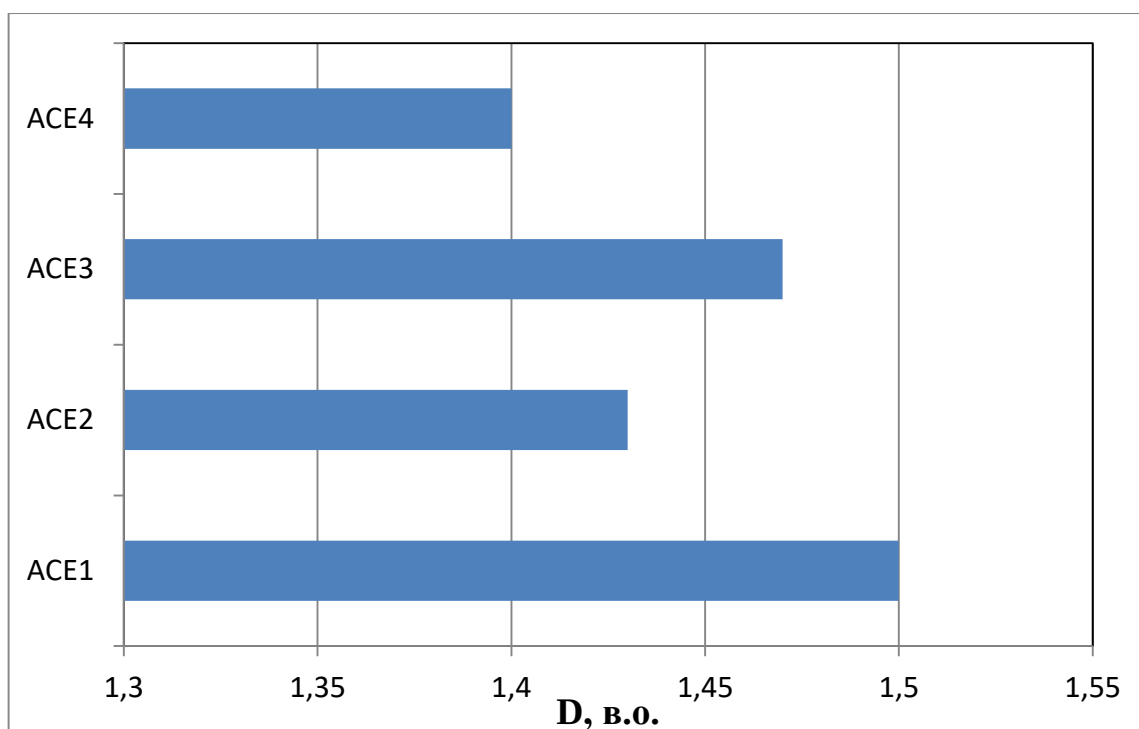


Рис. 3.6. Оптичні щільності плашок при використанні різних режимів мікрорастрування пластин ACE (анілокс 340 лін/см)

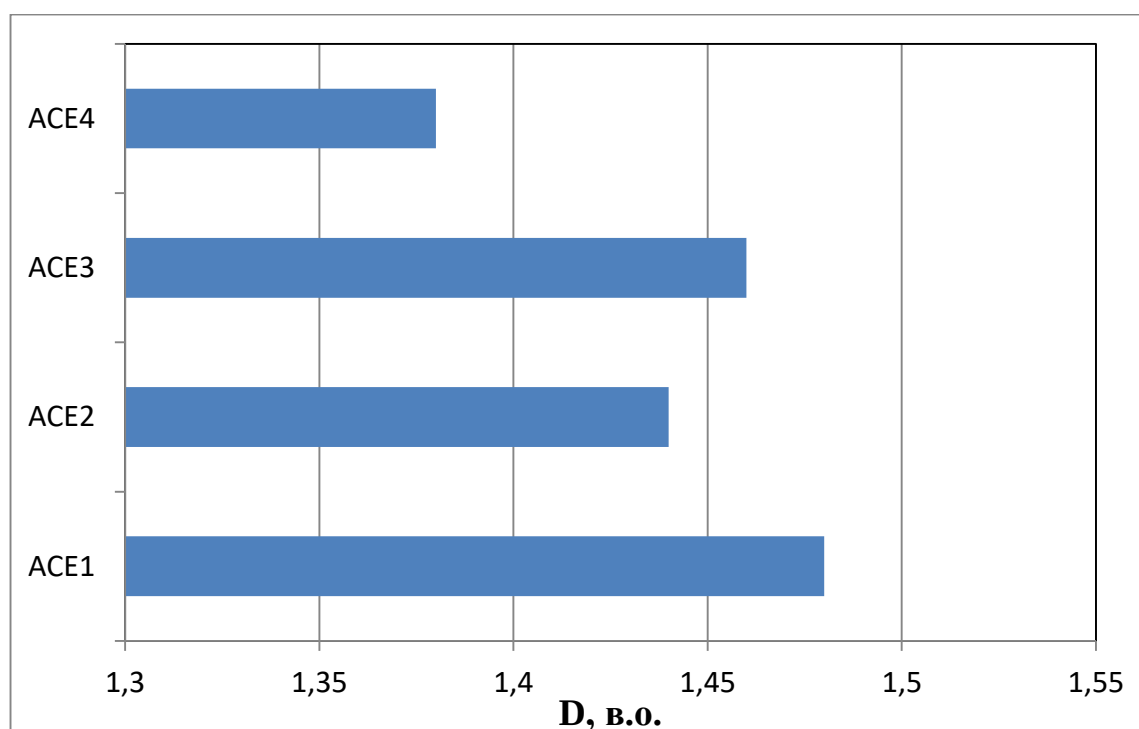


Рис. 3.7. Оптичні щільності плашок при використанні різних режимів мікрорастрування пластин ACE (анілокс 400 лін/см)

Порівняно із стандартною цифровою формою, використання спеціальних технологічних режимів виготовлення форм дозволяє суттєво знизити розтискування растрових точок, що особливо важливе для коректності кольоровідтворення. Наприклад, максимальне розтискування растрової точки для форми DPR (режим DPR5, анілокс 340 лін/см) складає всього 8%, а для форми, виготовленої у стандартному режимі, – 17%. При використанні анілоксного вала 400 лін/см розтискування (режим DPR5) зменшується на 7%. Аналіз також підтвердив, що з точки зору лінійності відтворення градацій та якості градаційних переходів найкращі результати відповідають режиму мікрорастрування HD Flexo C31 WSI_FADE55_P+ (DPR5) [118].

Схожі градаційні залежності отримані також і для пластин ACE. Максимальне розтискування растрової точки на відбитку для цього типу пластин склало 12-13 %, що вище порівняно із пластинами DPR. Найкращі результати отримані для режиму мікрорастрування HD11-C18 MCWSI_P06_P+ (ACE3): максимальне розтискування – 9 % (анілокс 340 лін/см), 8 % (анілокс 400 лін/см).

Незаперечною перевагою використання друкарських форм, виготовлених за технологією Full HD Flexo є також і те, що на досліджуваних формах вдалося відтворити растр 0,3-0,4%, а, як відомо, при формуванні растрових точок менше 1% на стандартних цифрових кліше виникають проблеми.

Наступним етапом дослідження стало вимірювання та розрахунок контрасту зображення. Для розрахунку використовували формулу:

$$K = \frac{Ds - Dr}{Ds} \quad (3.1)$$

де Ds – оптична щільність суцільного фарбового шару (100% плашка);

Dr – оптична щільність мінімального растрового поля.

Отримані результати (рис. 3.12-3.13) підтвердили високі якісні показники досліджуваних фотополімерних флексографічних друкарських форм. Порівняно із стандартним раструванням, растрування із використанням мікроструктур дозволяє підняти значення контрасту зображення від 0,96 в.о. до 0,99 в.о.

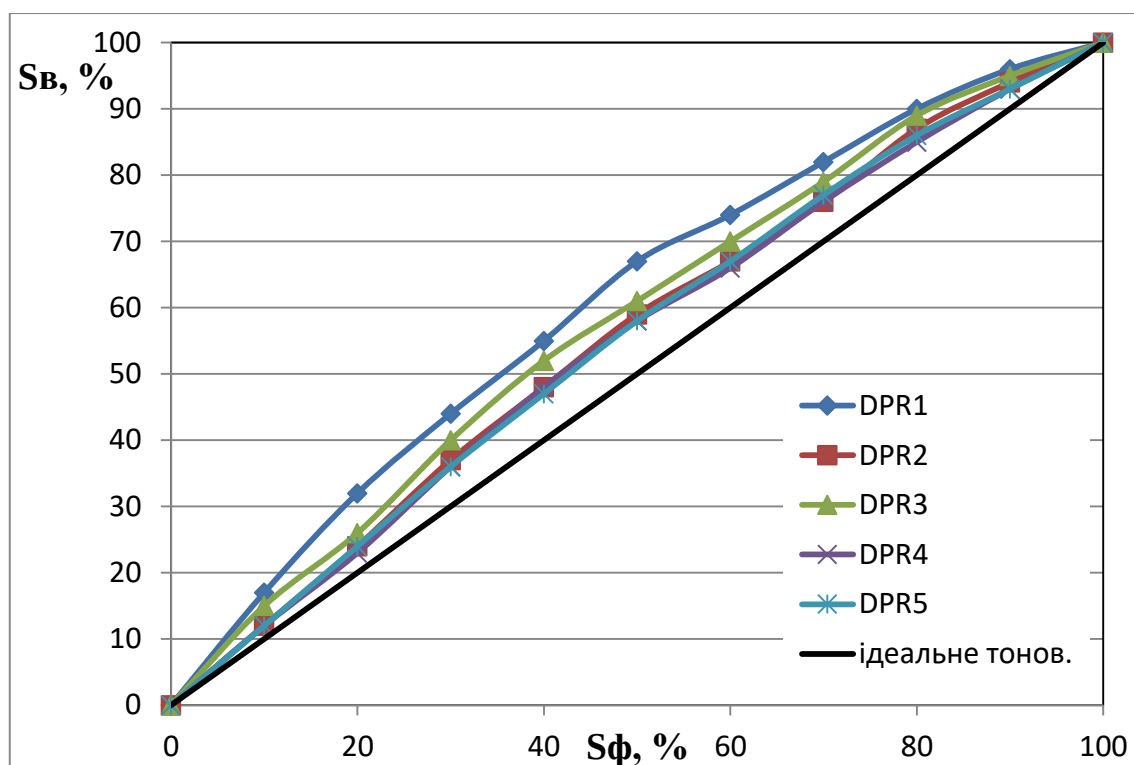


Рис. 3.8. Градаційна крива друкарського процесу при використанні різних режимів мікрорастрування пластин DPR (анілокс 340 лін/см)

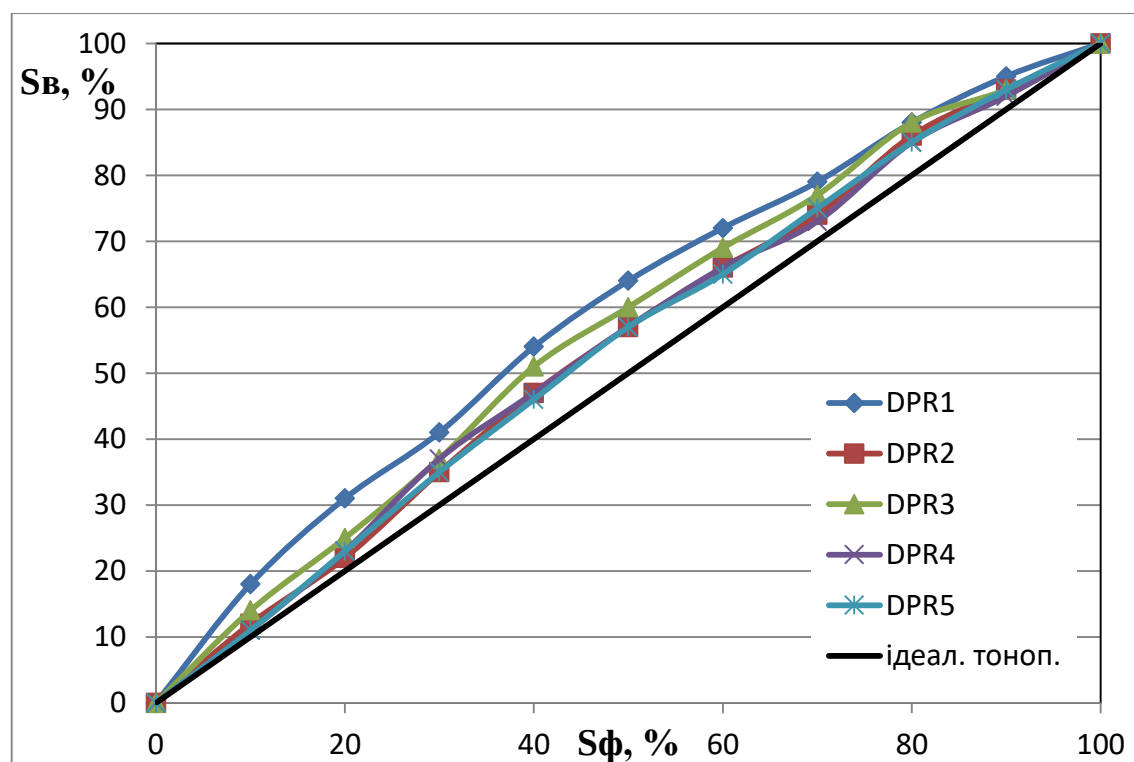


Рис. 3.9. Градаційна крива друкарського процесу при використанні різних режимів мікрорастрування пластин DPR (анілокс 400 лін/см)

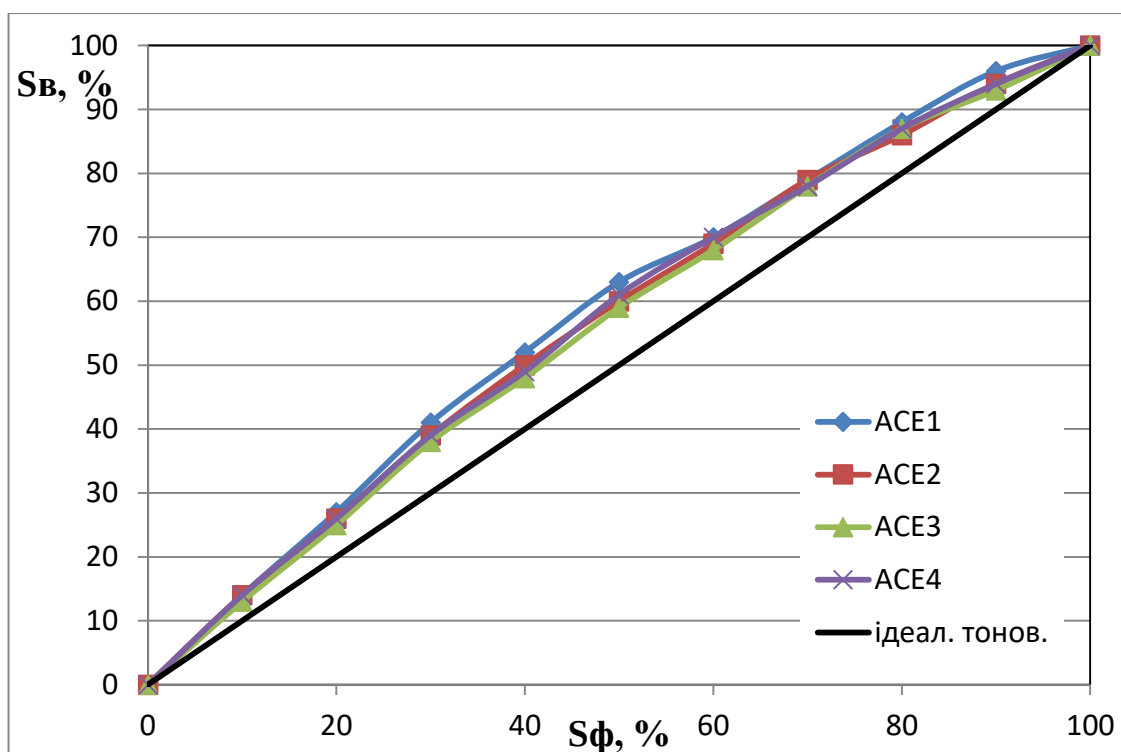


Рис. 3.10. Градаційна крива друкарського процесу при використанні різних режимів мікрорастрування пластин ACE (анілокс 340 лін/см)

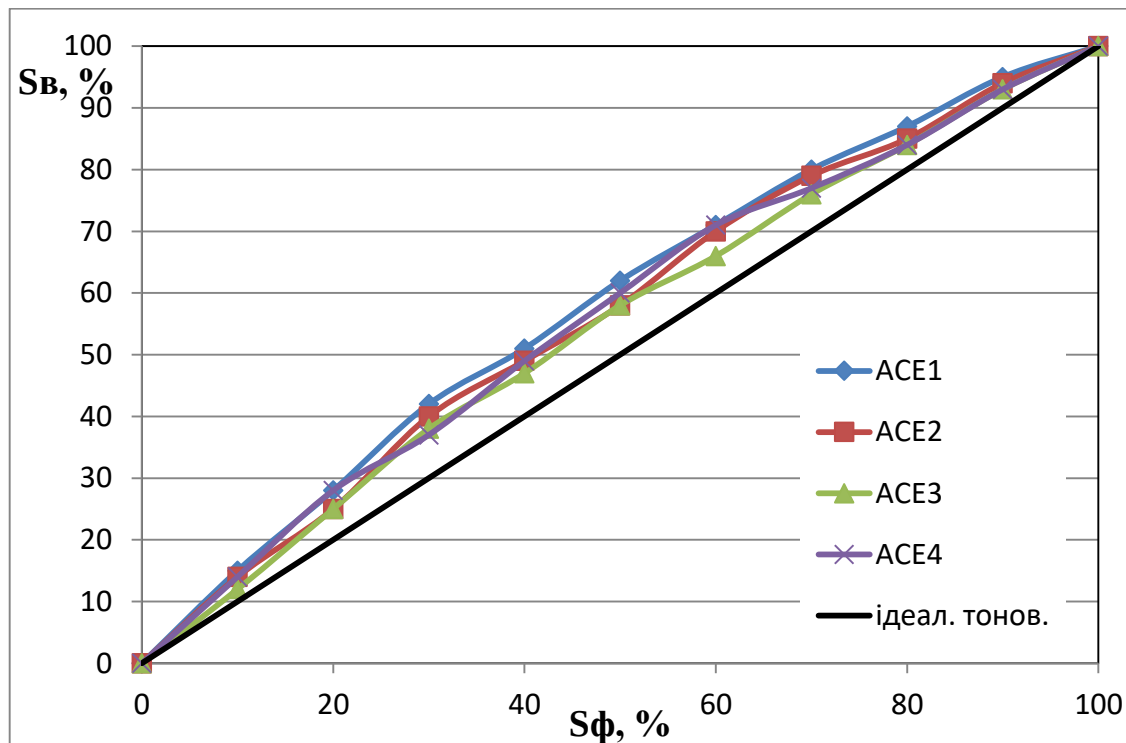


Рис. 3.11. Градаційна крива друкарського процесу при використанні різних режимів мікрорастрування пластин ACE (анілокс 400 лін/см)

При використанні пластини DPR практично для усіх типів мікроструктур та досліджуваних анілоксів контраст складає 0,98-0,99 в.о. (рис. 3.12). Для пластини ACE (рис. 3.13) найвищі значення контрасту зображення відповідають мікроструктурам HD09-C21 MCWSI_P06_P+ (ACE2) та HD11-C18 MCWSI_P06_P+ (ACE3).

Відтворення дрібних деталей зображення оцінювали візуально, за аналізом віддрукованих тестових зображень (за допомогою лупи). Практично усі режими мікрорастрування забезпечують чітке відтворення дрібних елементів зображення та шрифтів дрібного кегля. Цілком прогнозовано при збільшенні лініатури анілоксового вала від 340 до 400 лін/см якість відтворення дрібних деталей зображення зростає.

В цілому комплексний аналіз якості одноколірного тестового друку дав можливість рекомендувати для подальшого тестування при використанні друкарських форм DPR режим мікрорастрування HD Flexo C31 WSI_FADE55_P+, як такий, що забезпечує не тільки найвищу оптичну щільність відбитків, а й найкращу тонопередачу, контраст зображення та відтворення дрібних деталей [118].

Щодо друкарських форм, виготовлених із використанням пластин ACE, то оптимальним режимом мікрорастрування відібрано режим HD11-C18 MCWSI_P06_P+. Хоча за відтворюваною оптичною щільністю цей режим дещо поступається режиму HD06-C25 MCWSI_P06_P+, однак за іншими характеристиками (градаційна передача, розтискування, контраст, відтворення дрібних деталей) він забезпечує найкращі результати.

Таким чином, одночасно з практичним підбором оптимальних режимів виготовлення друкарських форм, аргументовано встановлено вплив цих режимів на якість друкарських відбитків.

Наступний етап досліджень - підготовка, друкування та вимірювання відбитків повноколірного тестового друку. Для додрукарської підготовки та налаштування обладнання виготовлення форм використовувалися результати аналізу попередніх тестувань.

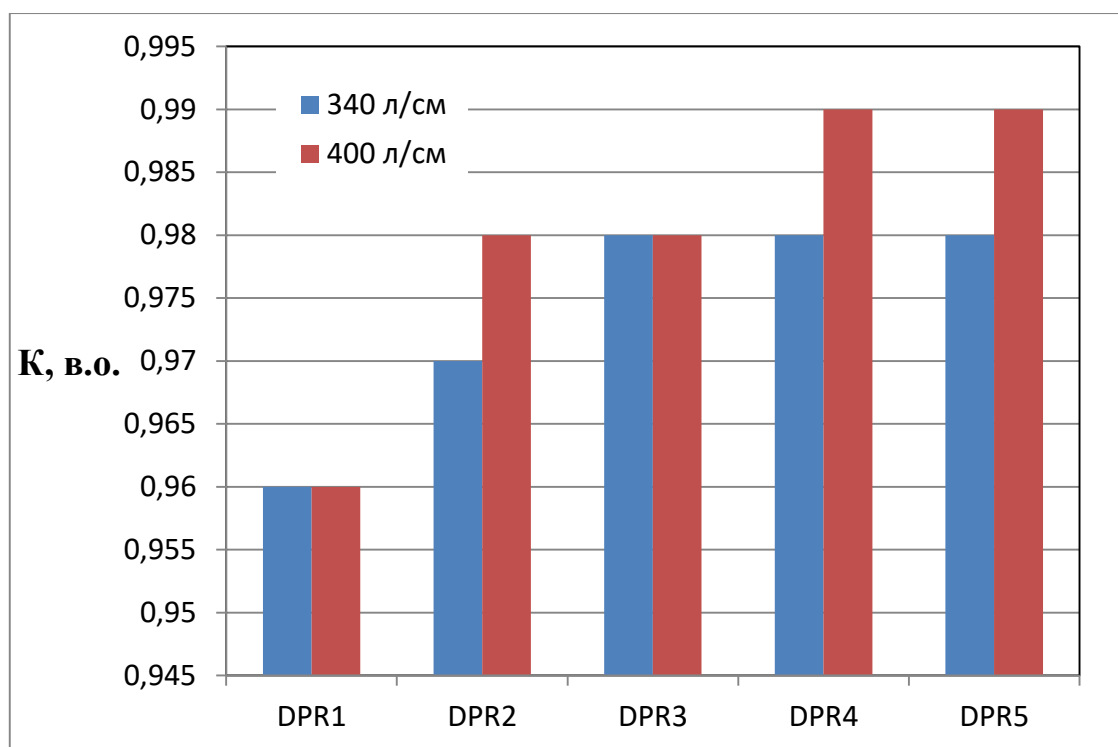


Рис. 3.12. Контраст зображення на відбитках для друкарських форм DPR з використанням анілоксів 340 та 400 л/см

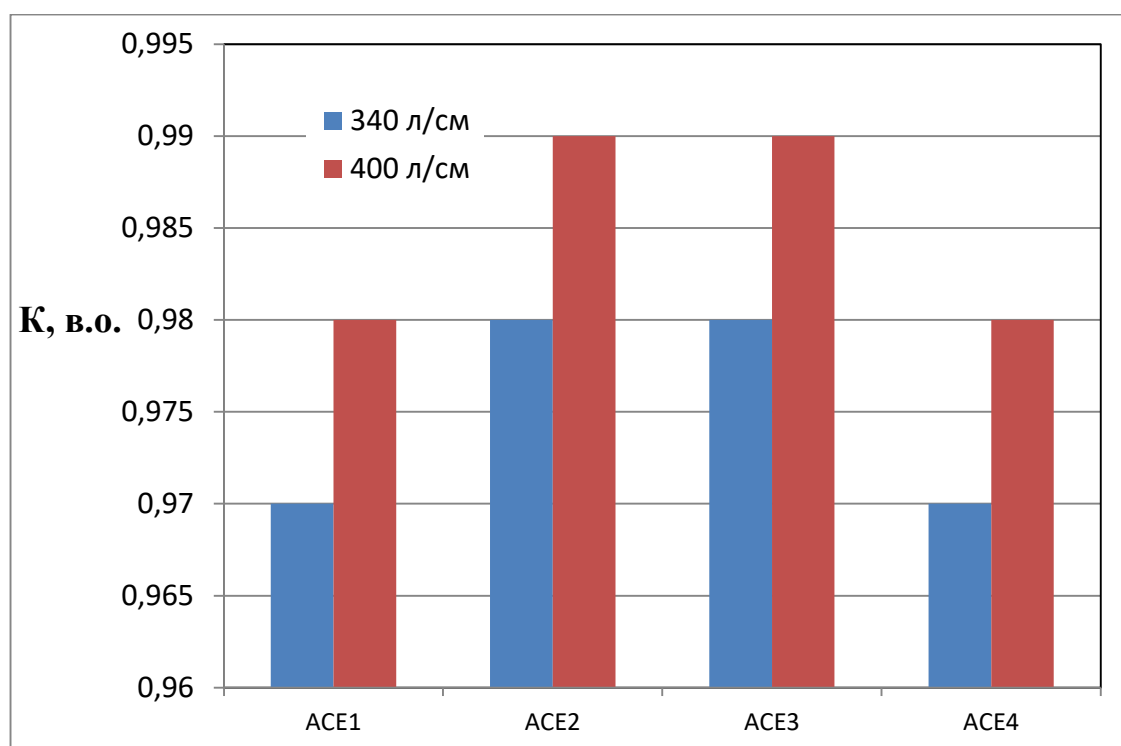


Рис. 3.13. Контраст зображення на відбитках для друкарських форм ACE з використанням анілоксів 340 та 400 л/см

В експериментальному дослідженні аналізувалися відбитки, отримані з використанням друкарських форм на пластинах DPR (Du Pont) та ACE (Flint Group), а також MacDermid LUX ITP і Asahi AFP-TOP (без попереднього тестування). Вимірювання оптичної щільності плашок тріадних фарб (рис. 3.14) показало, що найвищі показники відповідають відбиткам з форм DPR, а значення D для відбитків з пластин ACE є близькими до них (різниця в цілому складає до $\Delta D=0,05$). На відбитках, отриманих з пластин MacDermid LUX ITP оптичні щільності плашок (за винятком фарби Yellow) є нижчими на $\Delta D=0,1-0,12$, а на відбитках з пластин Asahi AFP-TOP – ще нижчими ($\Delta D=0,13-0,14$). Ці результати незаперечно доводять, що використання мікрорастрування поверхні друкарських елементів флексографічних друкарських форм із системним підходом до підбору використовуваних мікроструктур дозволяє суттєво підвищити оптичну щільність відбитка, рівномірність та насиченість плашки [118].

Вимірювання показника розтискування для 40% та 80% растрової точки на відбитках, віддрукованих фарбами Magenta та Cyan (рис. 3.15-3.16) також показало переваги використання друкарських форм типу DPR ($R_{C40}=7\%$, $R_{C80}=6\%$, $R_{M40}=9\%$, $R_{M80}=5\%$) та ACE ($R_{C40}=8\%$, $R_{C80}=7\%$, $R_{M40}=12\%$, $R_{M80}=6\%$). При використанні друкарських форм MacDermid LUX ITP та Asahi AFP-TOP розтискування збільшується майже вдвічі, особливо у півтонах, що може привести до графічних спотворень зображення. Отже, попереднє тестування, проведене на друкарських формах DPR та ACE, дозволило не тільки підібрати найбільш «дієву» мікроструктуру друкарських елементів, а й додатково відкоригувати градаційну передачу на стадії додрукарської підготовки.

Щодо якості відтворення дрібних деталей, то на усіх досліджуваних відбитках отримано прийнятні результати (табл. 3.2). Дещо гірші значення відповідають відбиткам з пластин AFP-TOP, при роботі з якими не використовувалося попереднє тестування та підбір мікроструктури.

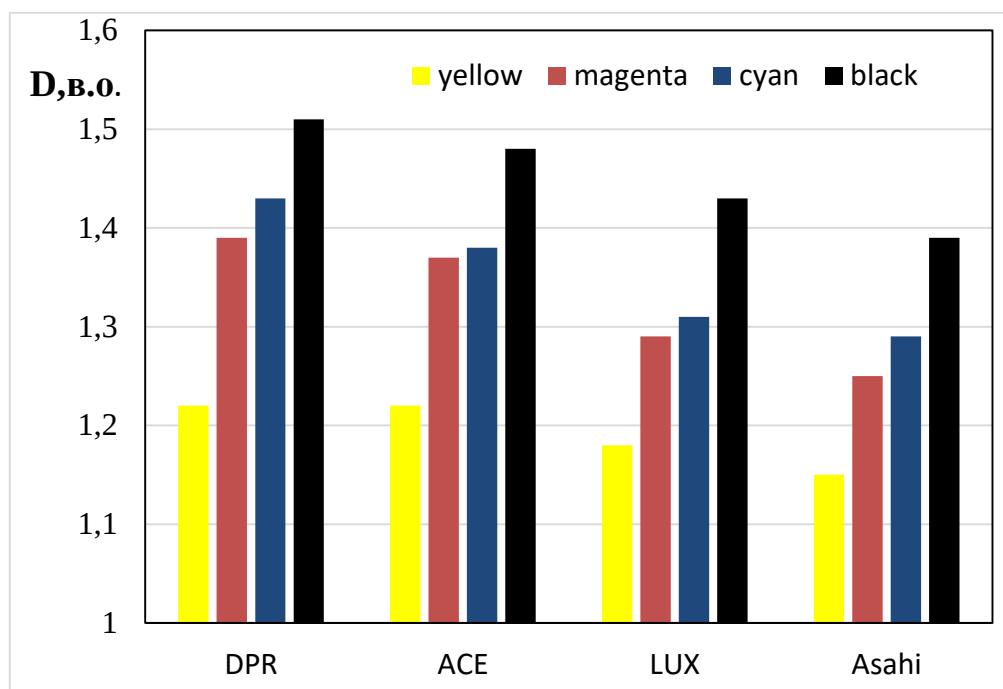


Рис. 3.14. Оптичні щільності тріадних фарб на відбитках отриманих із використанням різних друкарських форм

Таблиця 3.2

Показники відтворення на відбитках шрифтів та дрібних деталей зображення

Показник	Тип формної пластини			
	DPR	ACE	LUX ITP	AFP-TOP
Шрифт, п	2	2	2	3
Шрифт «вивороткою», п	3	3	3	4
Ширина штриха, мм	0,02	0,02	0,03	0,04
Ширина штриха «вивороткою», мм	0,04	0,04	0,04	0,06
Окремо стояча точка, мм	0,05	0,06	0,09	0,1
Окремо стояча точка «вивороткою», мм	0,1	0,1	0,13	0,15

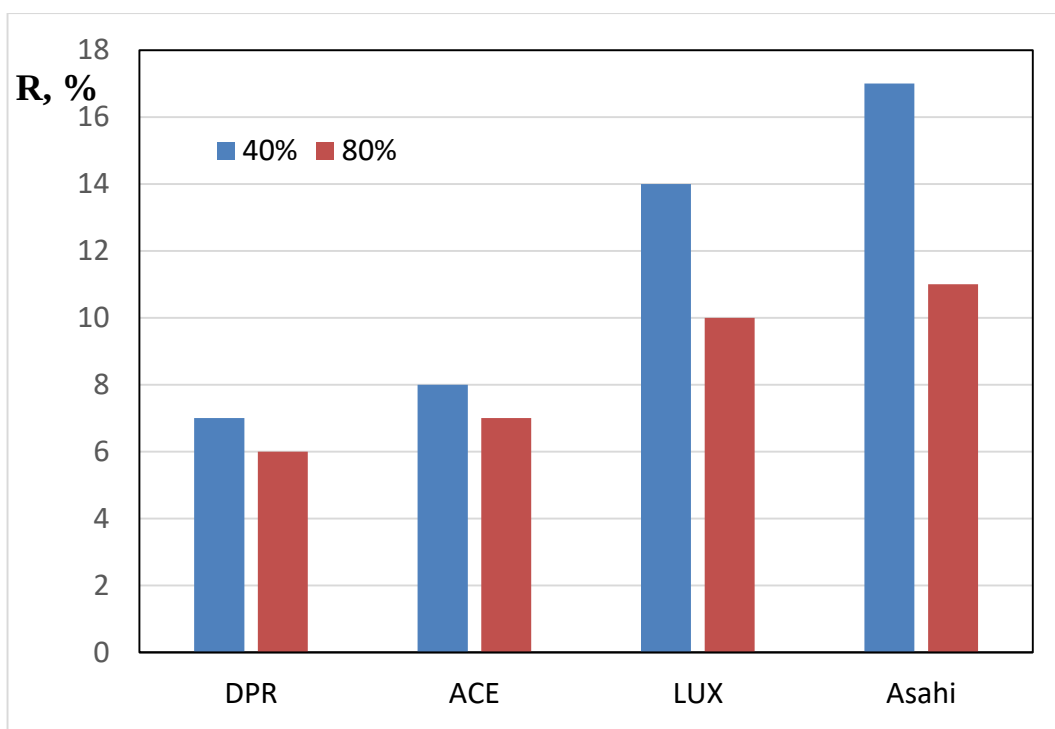


Рис. 3.15. Розтискування растрової точки фарб Суан на відбитках, отриманих з використанням різних друкарських форм

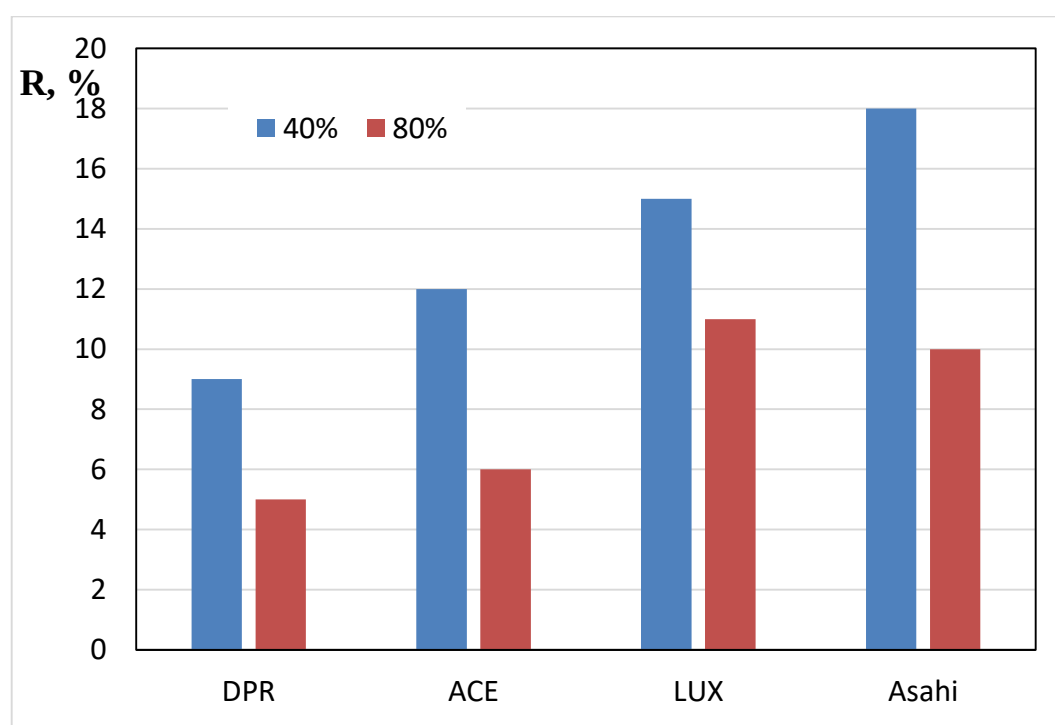


Рис. 3.16. Розтискування растрової точки фарб Магента на відбитках, отриманих з використанням різних друкарських форм

Такі результати є очікуваними, адже мікроструктурування поверхні друкарських елементів дозволяє зменшити розтікання та перетікання фарби, що підвищує не тільки насиченість фарбового відбитку, а й чіткість відтворення країв зображення, штрихів та «вивороток».

Використовуючи практичний досвід впровадження новітніх технологій виготовлення друкарських форм із плоскими вершинами друкарських елементів та мікроструктуруванням їх поверхні, провідні світові виробники звертають увагу на те, що ефективність цих технологій залежить також і від правильного підбору технологічних режимів друкування та властивостей друкарських фарб. Зокрема, вказується, що для повного заповнення комірок мікроструктури в'язкість друкарських фарб необхідно знижувати приблизно до 17 секунд. Ще одним засобом покращення змочуваності поверхні друкарського елемента є введення до друкарської фарби окрім етанолу інших розчинників, які знижують поверхневий натяг фарби, наприклад, етилацетату.

Проведені експериментальні дослідження (рис. 3.17) підтвердили ці рекомендації: введення додатково до 15% етилацетату збільшує оптичну щільність фарби Magenta на 0,6 одиниць, а фарби Cyan на 0,5 одиниць.

Потрібно зауважити, що у стандартному розчиннику РФЛ, який використовували для доведення фарби до робочої в'язкості, вміст етилацетату складає 5%, а введення додатково у фарбу понад 10% етилацетату може негативно позначитися на якості друкування. Етилацетат значно пришвидшує висихання фарби, і його надмірна кількість може привести до підсихання фарби на формі, «забивання» дрібних штрихів, шрифтів малого кегля та растрових зображень, тому оптимальна концентрація етилацетату у цьому випадку складатиме 5-10%.

Отже, експериментально доведено, що використання мікрорастрування поверхні друкарських елементів флексографічних друкарських форм із системним підходом до підбору використовуваних мікроструктур дозволяє суттєво підвищити оптичну щільність відбитка, рівномірність та насиченість

плашки, якість градаційної передачі та відтворення дрібних елементів зображення [118].

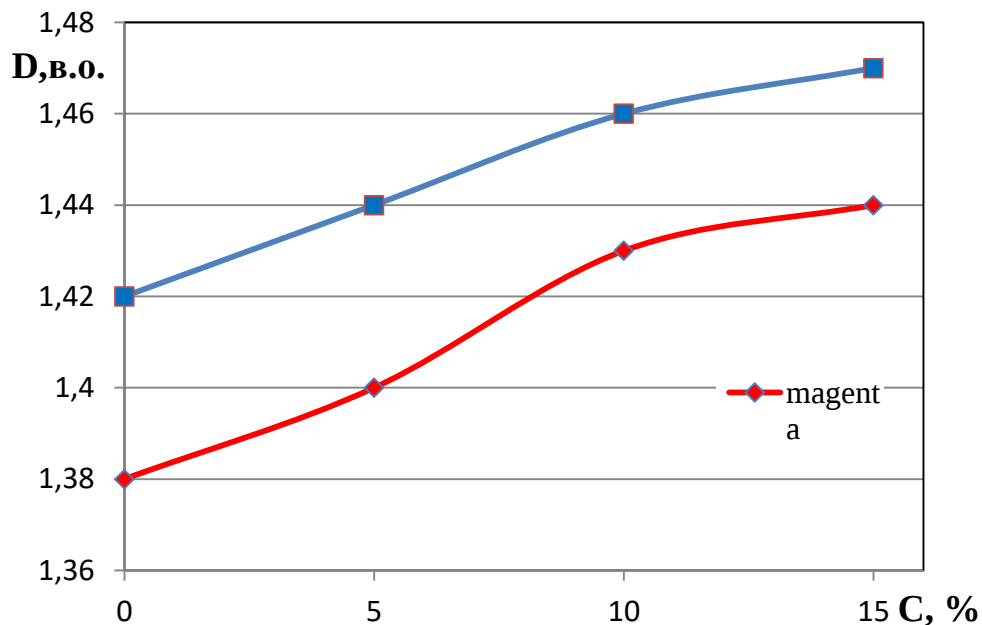


Рис. 3.17. Вплив концентрації етилацетату у фарбі на оптичну щільність відбитків на друкарських формах із мікрораструванням друкарських елементів.

3.2. Дослідження впливу обробки поверхні плівок коронним розрядом на адгезійну взаємодію у друкарському контакті

Поверхнева енергія у друкарському контакті відіграє у флексографічному друці дуже важливу роль і часто є причиною багатьох дефектів друку. Зокрема, ступінь змочування є основною умовою для адгезії друкарських фарб, праймерів і лаків на полімерних плівках. Друкарська фарба повинна добре змочувати і друкарську форму, і задруковуваний матеріал, щоб відбулася коректна передача фарби з фарбового резервуару до задрукованого матеріалу, що забезпечить отримання бездоганного відбитка на матеріалі.

Якщо поверхнева енергія полімерного матеріалу буде близькою до поверхневої енергії фарби чи меншою, з'являться проблеми типу "переливів", "кратерів", непродруковування растрових точок або проблеми з адгезією фарби.

Оптимальними показниками з точки зору «руху» спирторозчинної фарби у флексографічному друкарському процесі є показники поверхневої енергії, які наведені у таблиці 3.3 [119].

Таблиця 3.3.

Розподіл енергетичних показників у процесі
флексографічного друку спирторозчинними фарбами

Друкарська фарба	Анілоксовий вал	Друкарська форма	Плівка
30 мН/м	34 мН/м	36 мН/м	38 мН/м

На кожному флексографічному підприємстві проводиться вимірювання показника поверхневої енергії задруковуваних матеріалів під час їх вхідного контролю. Відповідно, першочергово при проведенні досліджень (рис. 3.18) було встановлено рівень поверхневої енергії плівок, результати тестування наведено на рис. 3.19.



Рис. 3.18. Тестування поверхні полімерної плівки

Було відібрано ряд полімерних плівок, які широко використовуються в умовах конкретного виробництва, як для задруковування спирторозчинними флексографічними фарбами, так і для ламінування з використанням двокомпонентного поліуретанового клею. Для порівняння використовувалися як

традиційні плівки, так і нові розробки поліетиленових і поліпропіленових плівок, що використовуються в технології створення мономатеріалів.

Як показали отримані результати (рис. 3.19), серед перлисто-білих поліпропіленів належним рівнем поверхневої енергії володіє плівка марки STD (38 мН/м). Цю плівку можна використовувати у подальших технологічних процесах без додаткової обробки. Плівка марки SHH має поверхневу енергію 35 мН/м, отже, потребує додаткової поверхневої обробки. Серед прозорих поліпропіленових плівок найвищі показники має плівка марки MLD (38 мН/м), а плівки марок GND (35 мН/м) та Bicolor (36 мН/м) необхідно додатково активувати.

Щодо поліетиленових плівок, то близькими показниками до технологічних вимог володіє плівка марки Elite (36 мН/м), на відміну від плівки марки ПЗ (35 мН/м). Різні значення поверхневої енергії кожного конкретного матеріалу можуть пояснюватися впливом декількох факторів, таких як метод виробництва, колювання режимів екструзії, наявності у складі полімеру тих чи інших добавок, а також типом і кількістю забруднень, які завжди присутні навіть в найбільш високоякісній плівці.

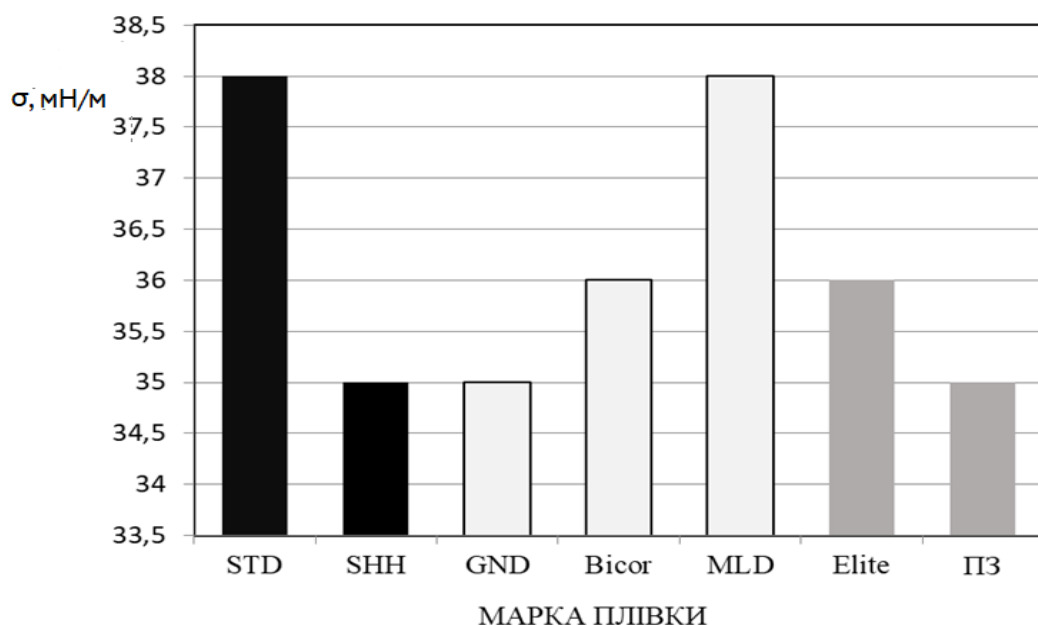


Рис. 3.19. Поверхнева енергія досліджуваних полімерних плівок

Використавши аналіз отриманих результатів (рис. 3.19), було відібрано ряд плівок, поверхня яких в подальшому оброблялася у спеціальному пристрої

коронного розряду під час друкування на флексографічній друкарській машині. Відомо, що у процесі обробки коронним розрядом електрони після емісії отримують в електричному полі прискорення і віддають свою енергію на поверхні полімеру. При цьому відбувається розрив макромолекулярних ланцюгів. В результаті утворення вільних радикалів і їх взаємодії з іншими продуктами розряду, такими, як озон, оксид азоту і вода, утворюються пероксиди, озоніди, кетони, альдегіди, карбонові кислоти і т. п. Функціональні групи сполук, що утворюються, беруть участь у формуванні адгезійних зв'язків.

Таким чином дію коронного розряду можна охарактеризувати двома паралельними ефектами:

- фізичний ефект: поява мікрошорсткості, видалення воскових добавок, забруднень і води-конденсату;
- хімічний ефект: поява на поверхні полярних груп і підвищення поверхневої енергії, що важливо для доброго змочування і закріплення фарби.

Основним технологічним режимом, який регулюється в процесі коронування поверхні є потужність обробки. Були отримані експериментальні залежності поверхневої енергії полімерних плівок від потужності їх обробки коронним розрядом (рис. 3.20-3.21).

Для усіх досліджуваних матеріалів спостерігаємо зростання поверхневої енергії із підвищенням потужності обробки. Щодо прозорих поліпропіленових плівок (рис. 3.20) - із зростанням потужності від 2000 до 3000 Вт, поверхнева енергія зростає від 36 до 40 мН/м для плівки марки Вісог і від 35 до 39 мН/м для плівки марки GND. Для обох марок плівки достатньою потужністю обробки є 2600 Вт. Щодо перлисто-білої поліпропіленової плівки марки SHH, то збільшення потужності при її обробці збільшує поверхневу енергію лише до 37 мН/м, отже збільшення потужності обробки коронним розрядом має менший вплив на поверхневу енергію перлисто-білого поліпропілену.

Для поліетиленових плівок (рис. 3.21) також спостерігаються схожі залежності – при потужності обробки близько 2500 Вт величина їх поверхневої енергії відповідає технологічним вимогам.

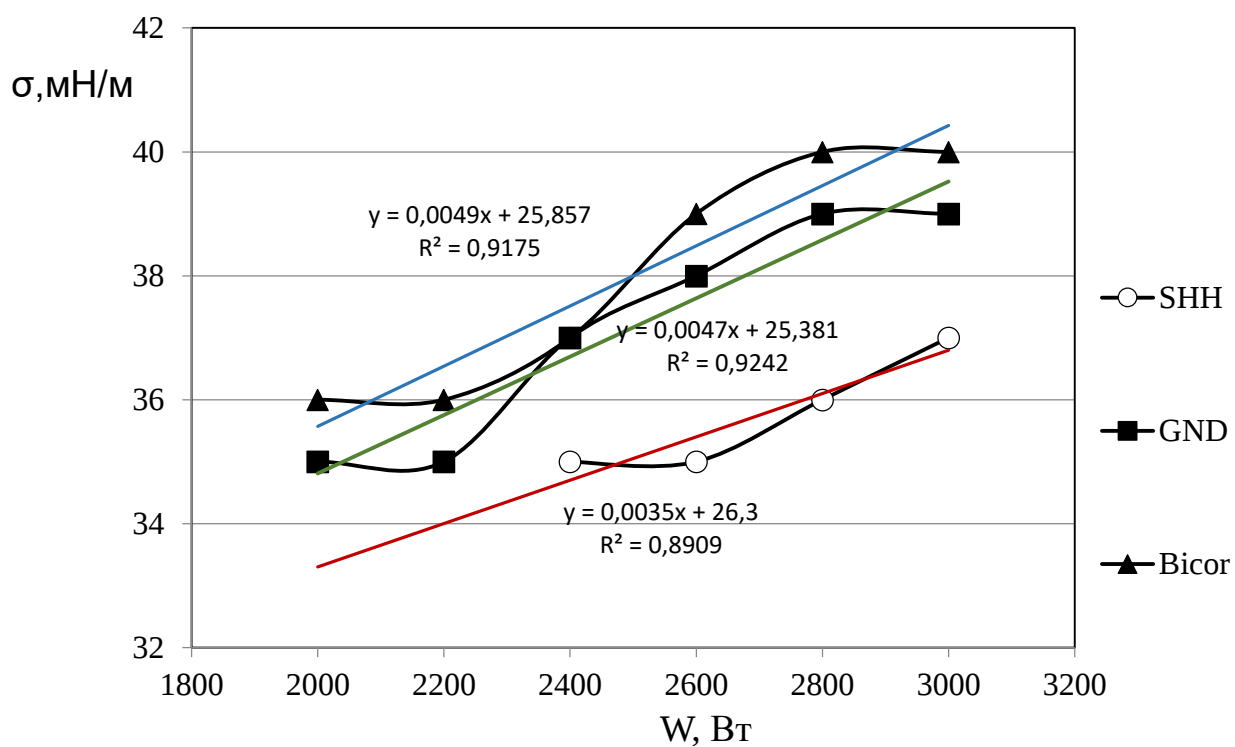


Рис. 3.20. Залежність поверхневої енергії поліпропіленових плівок від потужності обробки коронним розрядом

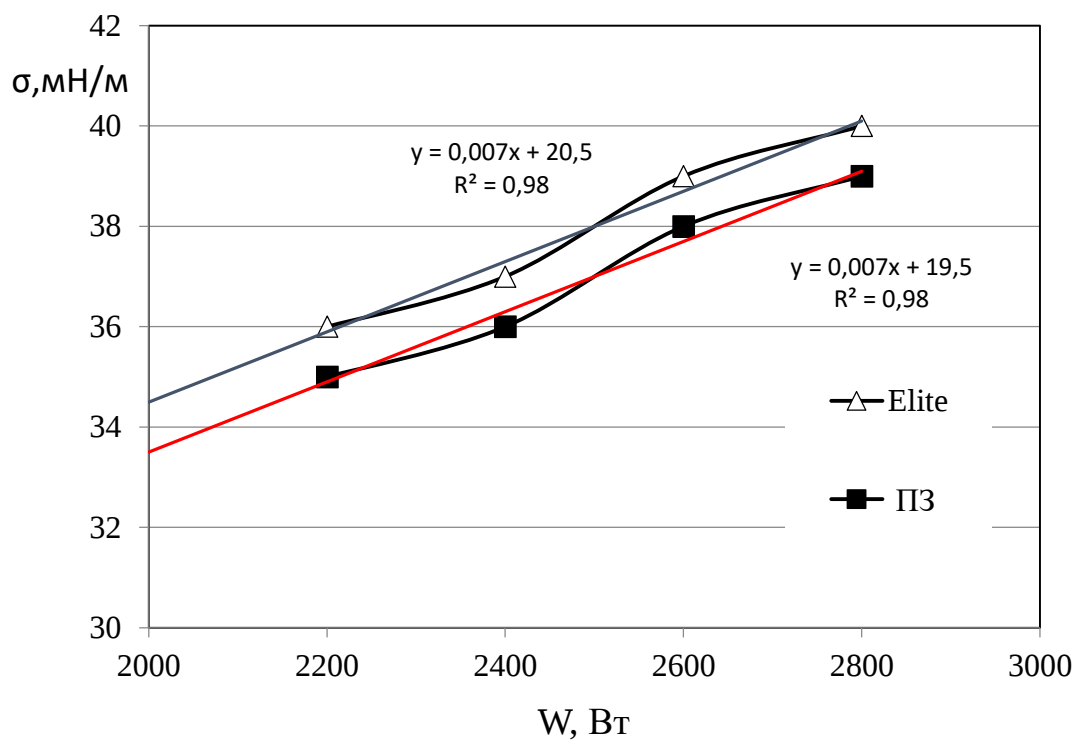


Рис. 3.21. Залежність поверхневої енергії поліетиленових плівок від потужності обробки коронним розрядом

Графічний аналіз з лінійною апроксимацією даних показує, що кінцеві значення поверхневої енергії і технологічно необхідна величина потужності обробки у значній мірі залежать від початкового значення поверхневої енергії матеріалу. Величина достовірності даних R^2 лежить в межах 0,89-0,98.

Іншим вирішальним чинником, який разом із потужністю обробки визначає рівень активації поверхні плівки, є швидкість руху полотна матеріалу через пристрій обробки, тобто швидкість друкарської машини. Очевидно, що для забезпечення ефективного друкарського процесу бажано, щоб ця швидкість була максимальною. З іншої сторони, чим довше полотно плівки перебуває у зоні дії коронного розряду, тим інтенсивніший обробці піддається поверхня. Експериментальним шляхом були отримані залежності поверхневої енергії полімерних плівок від швидкості друкарської машини (рис. 3.22-3.23).

При дослідженні поліпропіленових плівок потужність обробки складала 2500 Вт, що було визначено із попереднього експерименту. Як і слід було очікувати, зменшення швидкості позитивно позначається на активації поверхні матеріалу – для плівки марки Вісог поверхнева енергія 38 мН/м досягається вже при швидкості 100 м/хв, для плівки марки GND - 90 м/хв. Активация поверхні перлистобілої поліпропіленової плівки марки SHD потребує зменшення швидкості машини аж до 70 м/хв. Отримані результати (рис. 3.22) корелюють із результатами дослідження потужності обробки (рис. 3.20) і підтверджують технологічну складність обробки перлистобілого поліпропілену коронним розрядом.

При коронуванні поліетиленових плівок (рис. 3.23) технологічно необхідні результати для плівки Вісог досягаються при швидкості 110 м/хв, а для плівки ПЗ – 100 м/хв. З отриманих залежностей помітно, що зниження швидкості менше 80 м/хв для обох досліджуваних плівок вже практично не впливає на рівень поверхневої енергії.

Відомо, що рівень активації поверхні і адгезійні властивості плівок не постійні у часі і в процесі зберігання активованої плівки будь-якого типу ефект від обробки поступово знижується.

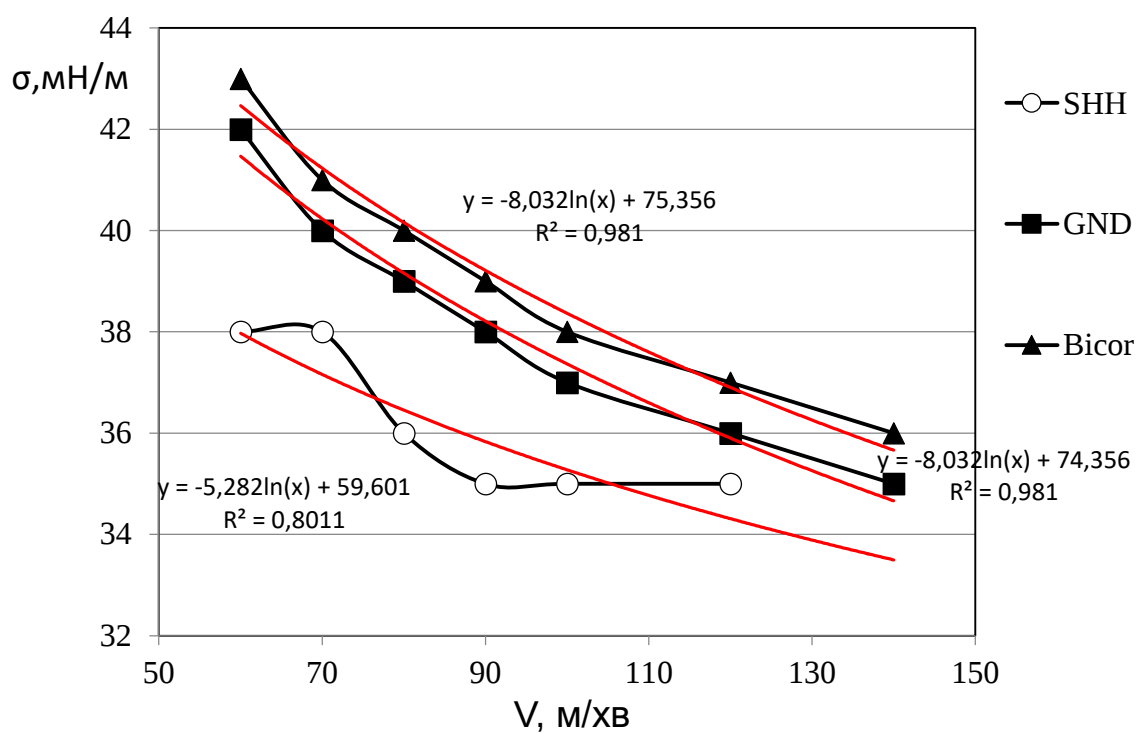


Рис. 3.22. Залежність поверхневої енергії поліпропіленових плівок від швидкості руху полотна плівки при обробці коронним розрядом

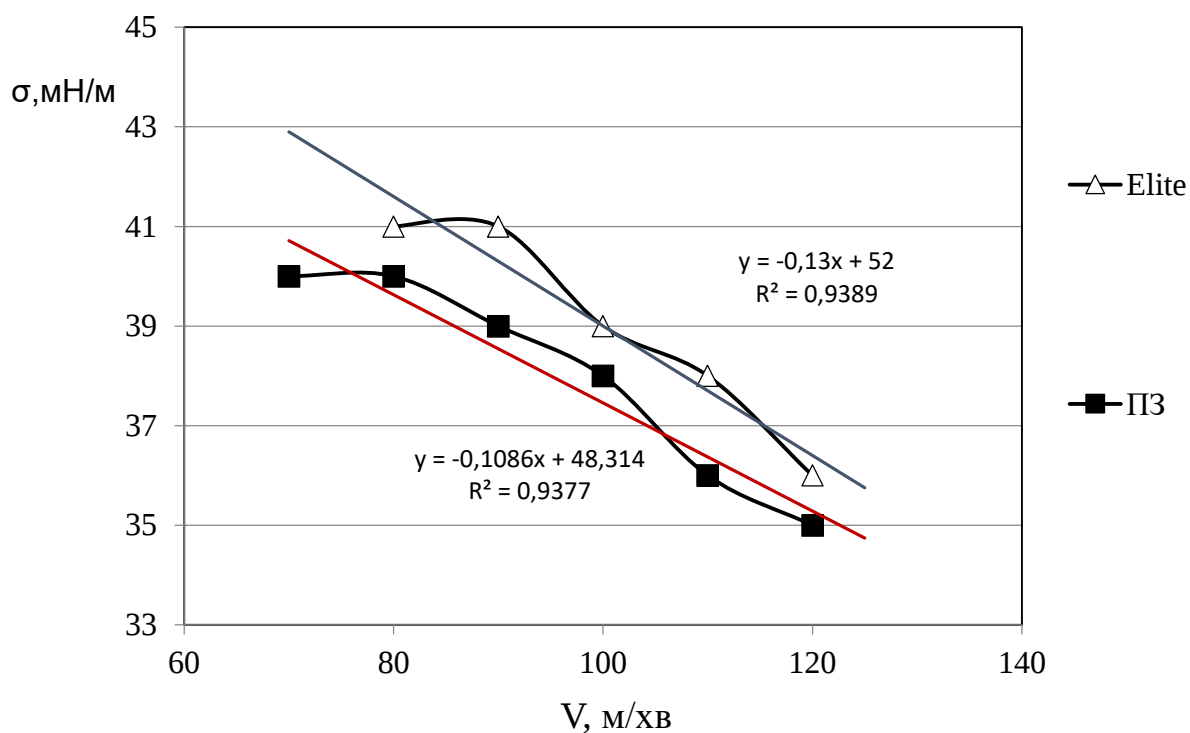


Рис. 3.23. Залежність поверхневої енергії поліетиленових плівок від швидкості руху полотна при обробці коронним розрядом

Обсяг втраченої обробки залежить від типу плівки, ступеня обробки, типу обробки, а також тривалості періоду після закінчення обробки.

Одне з досліджень екструзійного покриття показало, що в перші дев'ять днів після обробки було втрачено від одного до семи відсотків обробки. До кінця 37 дня після здійснення обробки було втрачено вже від 32 до 38 % [120].

Ймовірно, однією з причин втрати результату обробки є подальше стирання обробленої поверхні при контакті з напрямним валиками, намотувальним барабаном і т. п. Цей ефект можна продемонструвати, якщо протерти вибірково ділянки зразка перед проведенням випробувань.

Зниження поверхневої енергії з часом може пояснюватися як процесом дифузії пластифікаторів чи інших добавок у полімері до поверхні плівки, так і впливом природніх зовнішніх факторів – температури та вологості повітря.

З практики відомо, що чим вищий показник обробки поверхні матеріалу, тим швидше його поверхня втрачає активацію, особливо, якщо до складу полімеру входять модифікуючі добавки. Тому рекомендується обробляти поверхню полімерних плівок безпосередньо перед їх задруковуванням, у друкарській машині.

У виробничих умовах було проведено дослідження впливу часу зберігання різних типів полімерних плівок на їх поверхневу енергію (рис. 3.24).

Як видно з графіка, для поліетилену марки Elite його поверхнева енергія починає знижуватися уже протягом першого місяця зберігання і подальшому це зниження складає 1-2 мН/м протягом місяця.

Для прозорого поліетилену марки MLD поверхнева енергія починає поступово знижуватися після першого місяця зберігання. Щодо перлистобілого поліпропілену марки STD, то цей матеріал краще зберігає активацію поверхні, вона знижується повільніше (всього на 1 мН/м протягом 3 місяців).

Існує гіпотеза, що рівень поверхневої енергії плівок після повторної обробки знижується значно швидше, ніж після первинної обробки, яка проводиться під час виготовлення плівки, чи одразу після цього. Виконане експериментальне дослідження (рис. 3.25) повністю підтверджує це твердження.

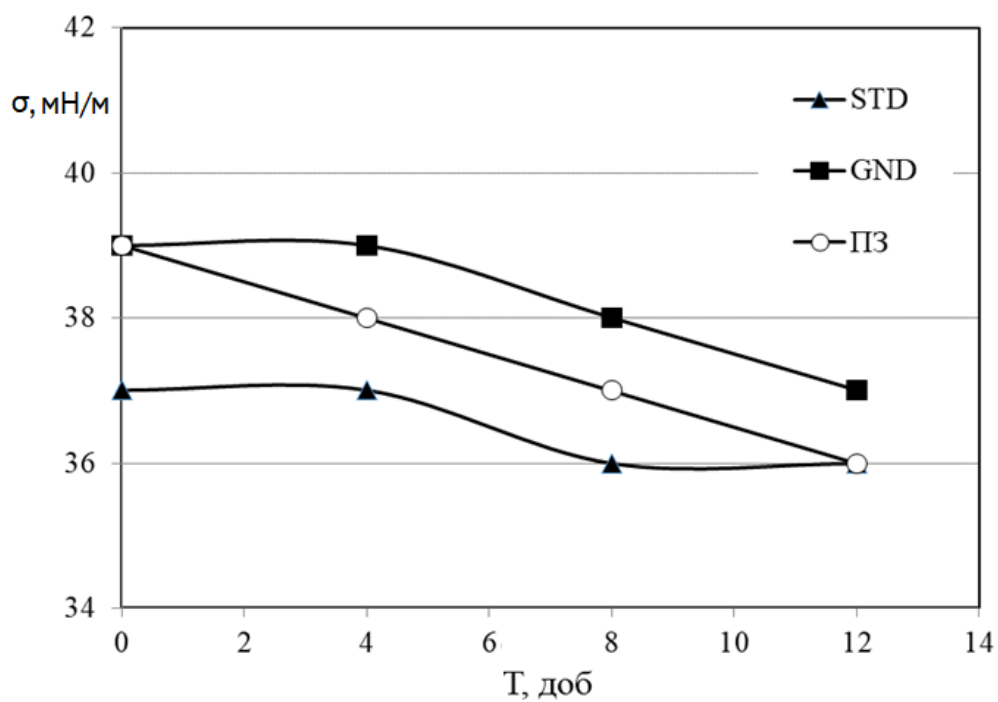


Рис. 3.24. Залежність поверхневої енергії полімерних плівок від часу зберігання

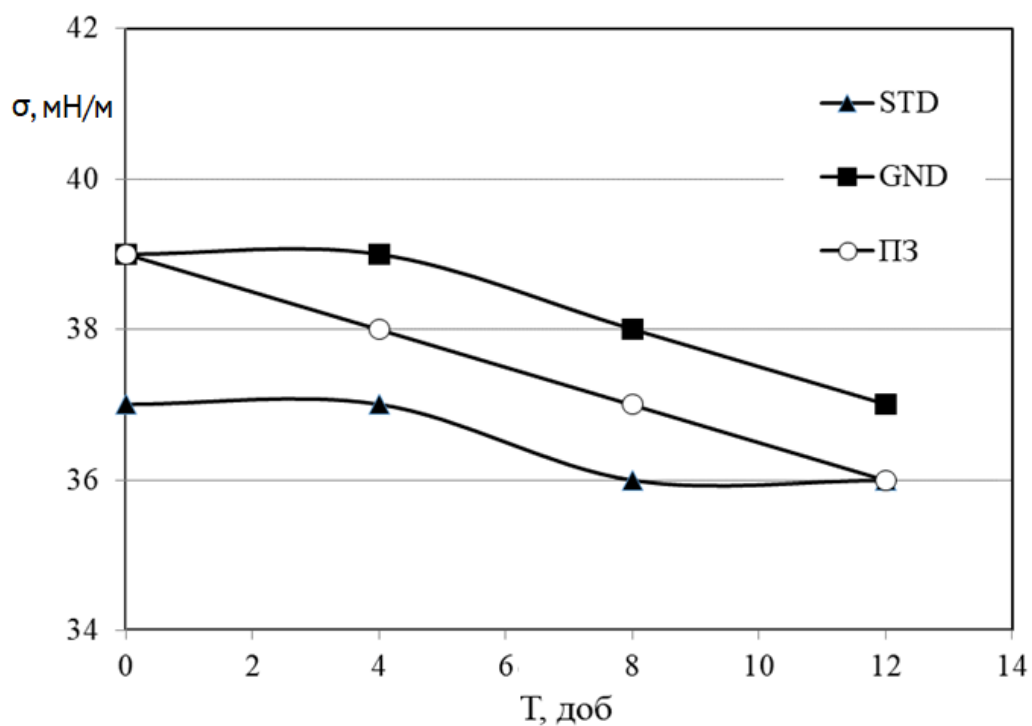


Рис. 3.25. Залежність поверхневої енергії повторно коронованих полімерних плівок від часу зберігання.

Найшвидше падіння спостерігається поліетиленової плівки – через 12 діб її поверхнева енергія зменшується на 3 мН/м - до 36 мН/м. Найвищу стабільність поверхневих властивостей демонструє перлисто-біла поліпропіленова плівка марки STD – її поверхнева енергія протягом цього ж часу зменшується від 37 мН/м до 36 мН/м.

Обробка поверхні плівок коронним розрядом позначається у першу чергу на здатності їх сприймати та утримувати друкарську фарбу, тобто великою мірою визначає стійкісні показники фарбового шару, а це один з основних якісних показників готових пакувань чи етикетки. Паралельно було проведено дослідження стійкості фарбового шару на полімерних плівках із різним рівнем поверхневої енергії (рис. 3.26) та підтверджено суттєвий вплив поверхневої обробки матеріалів на їх здатність забезпечити адгезію фарбового шару. Отримані результати корелюють з результатами досліджень термозбіжних поліетиленових плівок [121]. Для усіх марок досліджуваних плівок шляхом обробки коронним розрядом вдалося досягнути максимальних адгезійних показників фарбового шару.

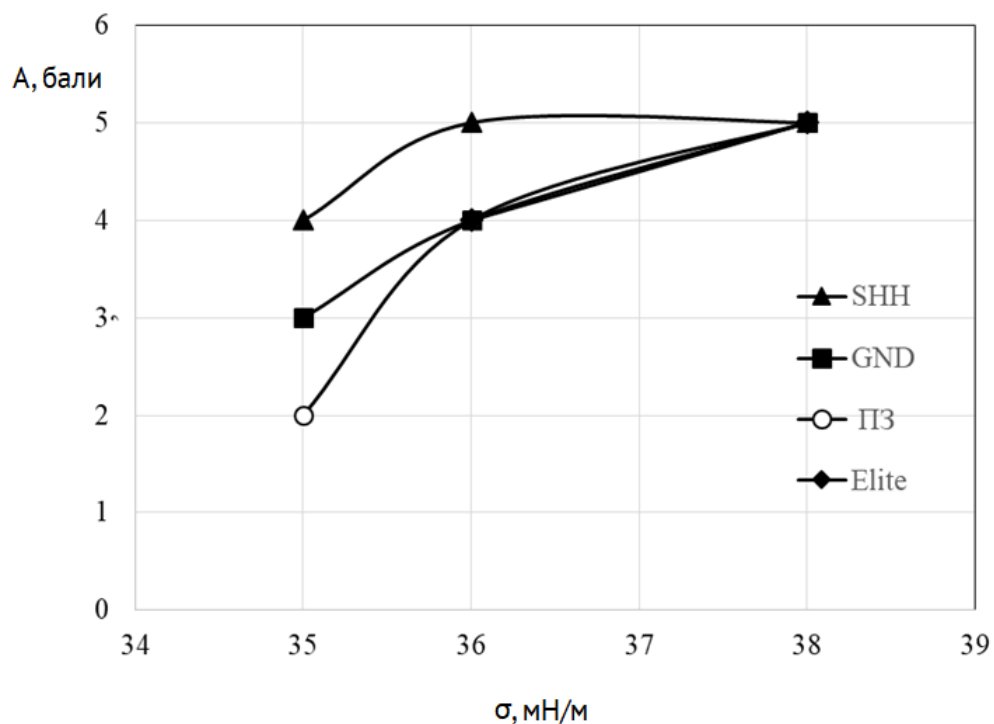


Рис. 3.26. Залежність адгезії фарбового шару на полімерних плівках від величини їх поверхневої енергії

Цікаві результати були отримані при дослідженні перлисто-білого поліпропілену марки SHH – максимальна стійкість фарби на його поверхні досягається навіть при поверхневій енергії матеріалу 36 мН/м. Можливо, це пояснюється особливістю складу поверхневого шару цієї плівки.

Поверхнева енергія полімерної плівки визначає також здатність друкарської фарби добре змочувати поверхню субстрату, розтікатися по ній, утворюючи щільний та рівномірний фарбовий шар. Це, у свою чергу, буде визначати оптичну щільність віддрукованого відбитка, яка є одним із основних показників якості друкування. Проведені дослідження (рис. 3.27) показали, що активація поверхні субстратів має значний вплив на якість фарбоперенесення та оптичні властивості друкарських відбитків. Оптична щільність плашки фарби на плівці марки SHH зростає від 1,55 до 1,6 в.о. при збільшенні поверхневого натягу від 35 до 38 мН/м. Отримані результати для поліетиленових плівок також демонструють позитивний вплив збільшення поверхневого натягу матеріалу на якість фарбоперенесення. Для плівки марки Elite зростання поверхневого натягу на 3 мН/м, підвищує D плашки на 3 в.о., а для плівки марки ПЗ зростання натягу на 3 мН/м підвищує оптичну щільність плашки на 6 в.о.

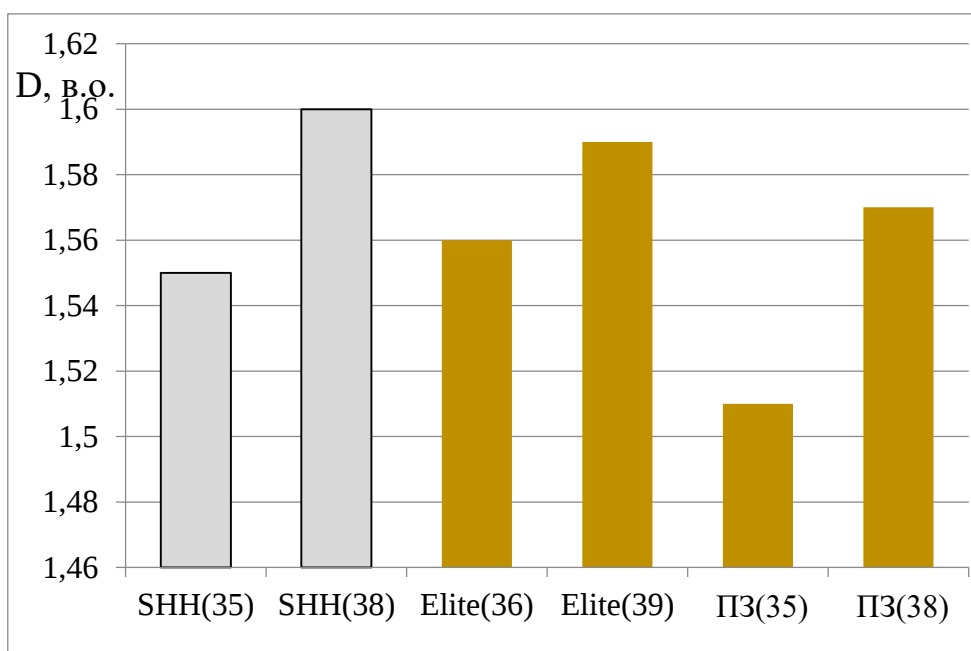


Рис. 3.27. Оптична щільність плашки фарби на полімерних плівках з різною поверхневою енергією

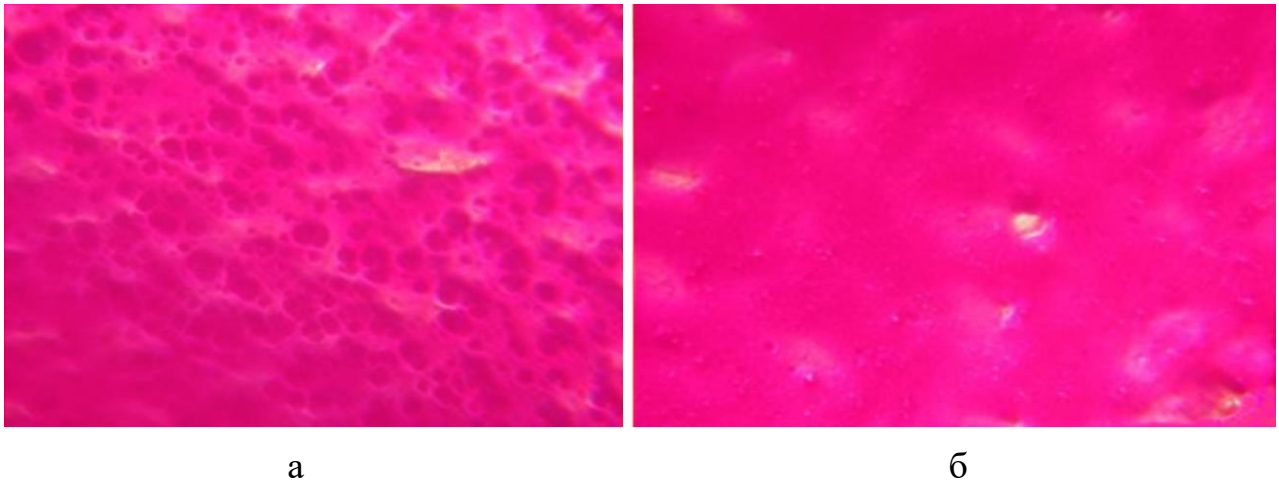


Рис. 3.28. Мікрофотографії задрукованих поліетиленових плівок з різною величиною поверхневої енергії: а – 36 мН/м; б – 39 мН/м

Коректність проведених досліджень підтверджується мікрофотографіями поверхні плівок з нанесеним фарбовим шаром (рис. 3.28). Наочно видно, що фарбовий шар в залежності від різних режимів обробки поверхні плівок коронним розрядом по-різному розтікається по їх поверхні. Чим інтенсивніша обробка коронним розрядом, тим більша кількість фарби переноситься на поверхню полімерних плівок. Слід, однак, зауважити, що застосування анілоксного вала з більшою лініатурою дозволить дещо згладити нерівності при нанесенні фарби на активовану поверхню.

Узагальнення та аналіз отриманих експериментальних даних дозволили провести визначення параметру щільності потоку потужності, при розрахунку якого враховується як потужність обробки полотна плівки, так і ширина цього полотна та швидкість роботи друкарської машини.

Для перлисто-білих поліпропіленових плівок:

$$W_1 = 2600 / (50 * 0,650) = 80 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$$

Для прозорих поліпропіленових плівок:

$$W_2 = 2500 / (70 * 0,650) = 55 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$$

Для поліетиленових плівок:

$$W_3 = 2500 / (70 * 0,650) = 55 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$$

Таким чином, можемо стверджувати, що найвищого потоку потужності при обробці коронним розрядом (рис. 3.29) потребують перлисто-білі поліпропіленові плівки.

Визначені результати показують мінімальний рівень потоку потужності, необхідний для досягнення технологічно необхідного рівня поверхневої енергії полімерних плівок. На перший погляд здається, що збільшення потужності при коронуванні неодмінно дасть позитивний ефект, але це не так. Високий рівень коронації може привести до появи на поверхні надмірної кількості окислених матеріалів, які можуть перешкоджати адгезії фарби. Результатом стане "осипання" фарби та проблеми при проходженні плівок через фасувальну апаратуру.

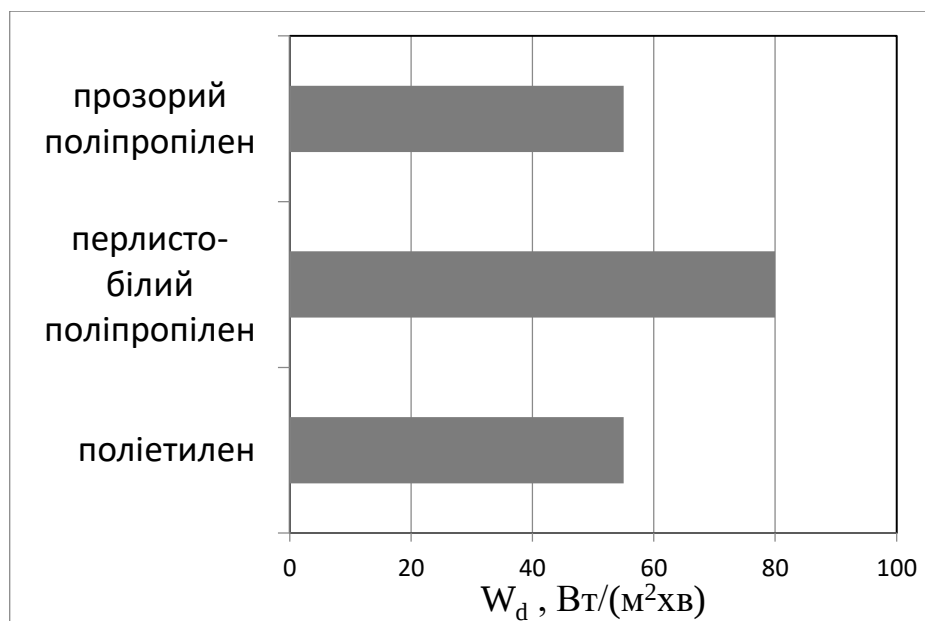


Рис. 3.29. Рекомендовані величини потоку потужності для різних типів полімерних плівок

Визначаючи оптимальний рівень проведеної обробки, необхідно також враховувати її вплив на післядрукарські процеси. Наприклад, надмірна активація плівки протипоказана при спаюванні пакетів: важливо не тільки попередньо обробити матеріал, але і правильно підібрати фарбу, домагаючись хорошої зварюваності матеріалу і стійкості фарбового шару до зовнішніх впливів [122].

Для працюючих на швидкостях 200-300 м/хв друкарських машин актуальна опція авторегулювання потужності коронатора зі зміною швидкості: на приладці вона може відрізнятись від робочої в 10 разів, тоді як рівень активації повинен бути постійним, гарантуючи і адгезію фарби і термозварюваність полімерної плівки.

Враховуючи отримані результати пропонується метод забезпечення енергетично-адгезійної взаємодії у друкарському контакті, який включає поетапний контроль поверхневої енергії плівок з забезпеченням її необхідної величини з врахуванням залежностей впливу потужності обробки плівок і параметрів адгезії. Реалізація методу у вигляді алгоритму показана на рис. 3.30.

Таким чином, отримані експериментальні результати стали основою для розроблення алгоритму (рис. 3.30) проходження технологічних операцій для забезпечення достатньої енергетичної взаємодії у друкарському контакті системи «друкарська форма - фарба - полімерна плівка» і рекомендацією для конкретних виробничих умов та використовуваних матеріалів.

Відповідно до результатів дослідження контроль поверхневої енергії необхідно проводити не тільки під час вхідного контролю матеріалів, але й і перед друкуванням, адже встановлено, що величина поверхневої енергії знижується з часом зберігання матеріалу, що у першу чергу пов'язано з дифузією пластифікаторів на поверхню плівки. З тієї ж причини виникає необхідність і контролю адгезії фарбового шару.

3.3. Адгезійна взаємодія флексографічних фарб з поверхнею фотополімерних друкарських форм

Більшість технологічних процесів виготовлення поліграфічної продукції базуються на взаємодії рідин з твердими тілами. Ця взаємодія ґрунтується на явищі змочування, яке й визначає ефективність фарбопередачі та адгезію друкарських фарб, праймерів, клеїв, лаків, фольги до поверхні субстратів.

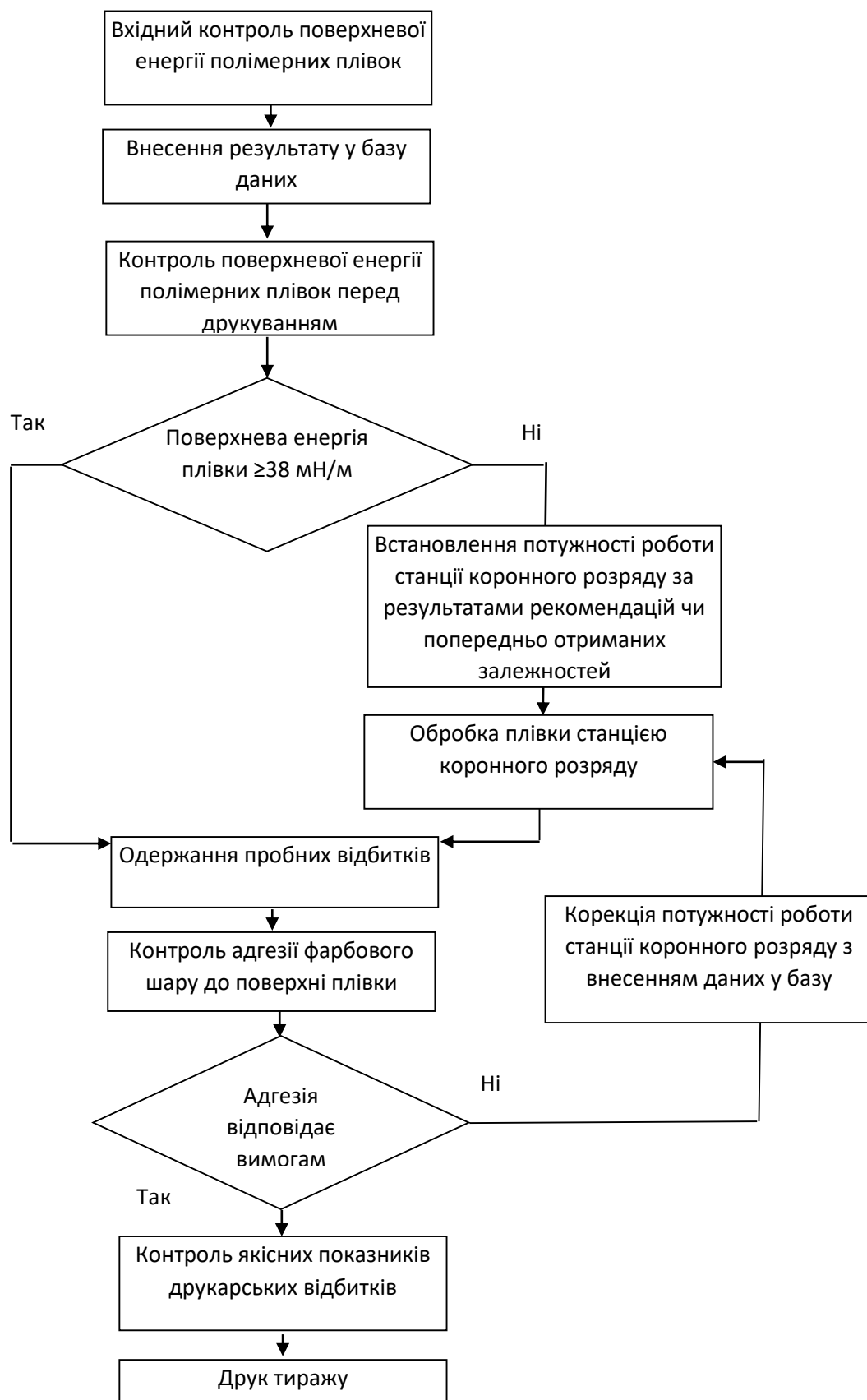


Рис. 3.30. Алгоритм проходження технологічних операцій для забезпечення достатньої енергетичної взаємодії у друкарському контакті системи «друкарська форма-фарба-полімерна плівка»

Як було відмічено у попередньому підрозділі (табл. 3.3), для забезпечення правильного перенесення фарбового шару у флексографічному друці повинна виконуватися енергетична відповідність: $\text{ПНФ} < \text{ПЕА} < \text{ПЕФ} < \text{ПЕМ}$, у якій ПНФ – поверхневий натяг фарби; ПЕА – поверхнева енергія анілоксового вала; ПЕФ – поверхнева енергія фотополімерної форми; ПЕМ – поверхнева енергія задрукованого матеріалу. Невідповідність у будь-якій ланці флексографічного принципу передачі фарби призведе до одержання друкарських відбитків з низькими оптичними чи адгезійними показниками.

Тому було проведено дослідження адгезійної взаємодії флексографічних фарб з поверхнею фотополімерних друкарських форм. Для дослідження використовувалися фотополімерні флексографічні друкарські форми DuPont Cyrel DPR товщиною 1,14 мм і спирторозчинні друкарські фарби White та Magenta серії Polistar та розчинник РФЛ («Флексорес», Україна).

Величину розтікання визначали шляхом реєстрації профілів краплин фарби, нанесених на відповідну поверхню згідно з методикою [123], яка описана в розділі 2. Контактні кути змочування визначали фотографуванням краплин тестових рідин на поверхні паперів і автоматизованим розрахунком за допомогою розробленої комп'ютерної програми [115]. Адгезійну взаємодію між друкарською фарбою і поверхнею друкарської форми оцінювали за значенням відносної роботи адгезії, яка є результатом адгезійно-когезійної міжмолекулярної взаємодії [123] і розраховується за формулою:

$$V_{wa} = 0,5 (1 + \cos \Theta), \quad (3.2)$$

де $\cos \Theta$ – косинус кута змочування рідиною твердої поверхні.

Густина друкарських фарб визначали згідно зі стандартом ISO 2811-1: 2016 [124].

Як свідчать отримані результати (рис. 3.31), адгезійна взаємодія з поверхнею форми пурпурної фарби в порівнянні з білою є вищою. Це в першу чергу пов'язано тим, що у білій фарбі використано як пігмент оксид титану, питома маса якого у порівнянні з іншими пігментами є досить високою і становить 4,23-4,26 г/см³ [125]. Швидке структурування оксиду титану

перешкоджає переміщенню молекул в'язучого для досягнення рівноважного стану (різницю у здатності фарб до структурування описано у розділі 4 (табл. 4.1).

Отримані результати (рис. 3.31) також демонструють різницю у міжмолекулярній взаємодії фарб з формами до і після друкування тиражу.

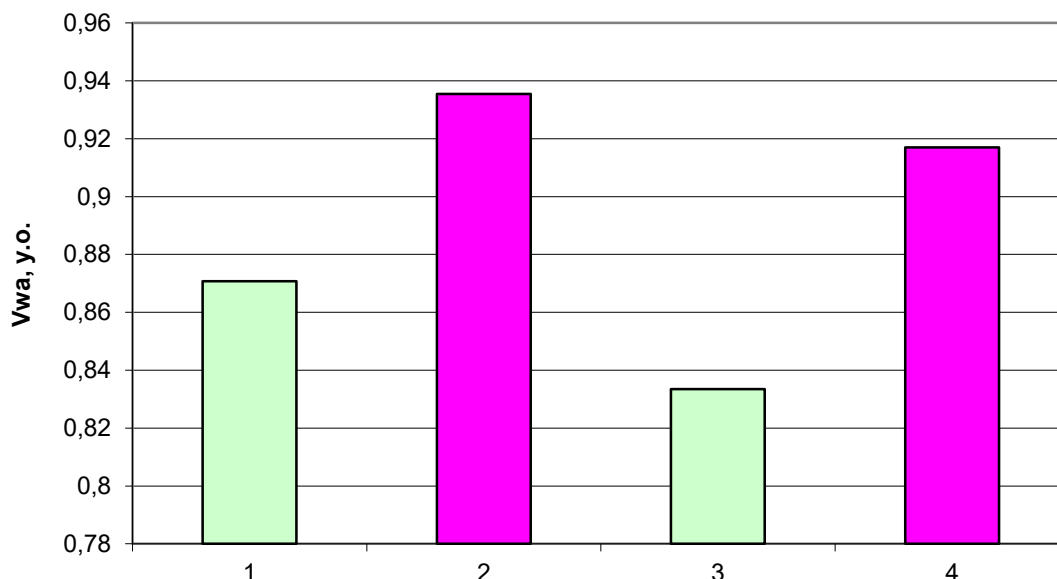


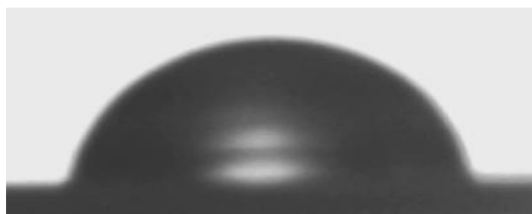
Рис. 3.31. Відносна робота адгезії фарб:

1 – білої фарби на поверхні форми до друкування; 2 – пурпурної фарби на поверхні форми до друкування; 3 – білої фарби на поверхні форми після друкування тиражу; 4 – пурпурної фарби на поверхні форми після друкування тиражу

Для встановлення причин цього явища було проведено тестування поверхні форм дистильованою водою. Наочно різницю у розтіканні по досліджуваних поверхнях демонструє рис. 3.32 [125, 126]

Згідно з стандартом ASTM D5946 – 09 [127] за кутом змочування дистильованою водою визначається величина поверхневої енергії твердого тіла. Встановлено, що кут змочування водою фотополімерної форми до друкування становить 74° , а форми після друкування тиражу – 81° . Згідно з перевідною таблицею стандарту, величина поверхневої енергії становить 39 і 36 мН/м,

відповідно. Тестування поверхонь показало зниження поверхневої енергії на 3 мН/м упродовж друкування тиражу. Ці дані корелюють з результатами, наведеними у роботі [128], де величина поверхневої енергії фотополімерної форми змінюється упродовж її експлуатації.



а



б

Рис. 3.32. Профілі краплин дистильованої води на поверхні фотополімерної форми: 1 – до друкування тиражу; 2 – після друкування тиражу

В процесі друкування тиражу відбуваються низка процесів, внаслідок взаємної дифузії розчинника фарби і компонентів фотополімерної композиції. Відповідно, змінюється кількість активних функціональних груп на поверхні форми і, як наслідок, адгезійна взаємодія між формою та фарбою починає зменшуватися та впливати на величину фарбосприйняття. Отже, повстає питання необхідності модифікації поверхні фотополімерних форм з відновленням початкової поверхневої енергії для повторного друкування тиражу.

Результати дослідження показали, що при використанні фарби на основі пігменту оксид титану, чутливість адгезійної взаємодії у друкарській системі є дещо більшою, ніж у випадку використання пурпурної фарби.

Висновки до розділу 3

1. У результаті проведених експериментальних досліджень відбитків флексографічного друку, отриманих із використанням різних типів пластин, технологій їх виготовлення та режимів обробки, визначено оптимальні типи мікроструктури та режими роботи лазера для пластин DPR (WSI boost 320) та ACE (WSI boost 250) при використанні анілоксових валів лініатурою 340 та 400 лін/см, що підтверджено також мікрозйомкою поверхні форм та відбитків.

2. На основі аналізу відбитків одноколірного тестового друку з використанням анілоксових валів лініатурою 340 та 400 лін/см встановлено алгоритми растровання для пластин DPR - C31 WSI_FADE55_P+ та пластин ACE - HD11-C18 MCWSI_P06_P+, що забезпечують оптимальне поєднання високої оптичної щільності відбитків, коректності тонопередачі, контрасту зображення як результату забезпечення оптимальної фарбопередачі, та відтворення дрібних деталей з мінімальною шириною штриха 0,02 мм для пластин DPR і ACE.

3. За узагальненим аналізом якості повноколірних тестових відбитків, отриманих з флексографічних форм, виготовлених з використанням різних технологій, встановлено, що за комплексною оцінкою якості відбитків (оптична щільність, розтискування, повнота тоновідтворення, контраст зображення, якість відтворення плашки та дрібних деталей зображення) досліджувані форми можна розмістити у ряд DuPont Cyrel DPR > Flint Group Nyloflex ACE > MacDermid LUX ITP > Asahi AFP-TOP.

4. Дослідженням впливу на якість відбитків додаткового введення до складу фарб етилацетату встановлено, що додавання етилацетату в кількості 5-10% збільшує оптичну щільність друкарських відбитків на 0,03-0,04 од., що пояснюється покращенням текучості фарби у друкарському контакті анілоксовий вал-друкарська форма.

5. Отримано залежності поверхневої енергії полімерних плівок від потужності обробки їх поверхні коронним розрядом та встановлено, що для усіх досліджуваних плівок, окрім плівки марки SHH, при потужності обробки

2500-2600 Вт досягається технологічно необхідний рівень поверхневої енергії (38 мН/м). При цьому, підтверджено вплив збільшення поверхневої енергії плівок на фарбопередачу з форми, при її збільшенні на 4 мН/м для поліпропіленових та поліетиленових плівок оптична щільність задрукованої плашки зросла на 0,03-0,06 одиниць з пропорційним зростанням адгезії фарбового шару.

6. Отримані залежності поверхневої енергії полімерних плівок від швидкості руху полотна плівки в процесі друкування показали, що для більшості досліджуваних типів плівок при потужності обробки 2500 Вт технологічно необхідний рівень поверхневої енергії досягається при швидкості 90-100 м/хв, а для плівки марки SHH – при 70 м/хв;

7. Проведені дослідження показали: адгезійна взаємодія фарб з поверхнею друкарських елементів є змінною, що пояснюється природою пігменту, здатністю до структуроутворення, яка, в свою чергу, визначає реологію фарб, та зміною величини поверхневої енергії фотополімерних форм, яка знижується у процесі друкування тиражу.

8. Тестування поверхонь друкуючих елементів флексографічних форм дистильованою водою показало зниження їх поверхневої енергії у процесі друкування на 3 мН/м, що пояснюється взаємною дифузією органічних розчинників фарби і компонентів фотополімерної композиції і зміною кількості активних функціональних груп на поверхні форми.

9. Результати досліджень дозволили розробити метод і алгоритм його реалізації для забезпечення достатньої енергетично-адгезійної взаємодії у друкарському контакті системи «друкарська форма-фарба-полімерна плівка», дотримання якого забезпечить одержання друкарських відбитків з максимальними оптичними і адгезійними показниками.

РОЗДІЛ 4.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ АНІЛОКСОВИХ ВАЛІВ НА ЯКІСТЬ ВІДБИТКІВ ФЛЕКСОГРАФІЧНОГО ДРУКУ

4.1. Дослідження впливу параметрів анілоксів валів на оптичні характеристики відбитка

Складність стандартизації технологічних процесів флексографічного друку зумовлена не тільки дуже широким спектром задруковуваних матеріалів, особливістю друкарських форм та фарб, а й специфічною системою нанесення фарби на форму, яка використовує растрований вал – анілокс. Основними параметрами цього вала є його лініатура, фарбоємність, кут гравіювання та форма комірки. Як бачимо, значна кількість змінних утруднює процес підбору оптимального анілокса для конкретного замовлення. В огляді літератури було наведено основні принципи такого підбору, який ґрунтується на низці проведених досліджень та даних практичного використання. Однак суперечки серед технологів про вагомість впливу того чи іншого показника тривають і надалі. Тому важливим та актуальним завданням є дослідження, проведене у виробничих умовах, яке дасть змогу визначити вплив основних характеристик валів, наявних на підприємстві, на якість відбитків.

На першому етапі дослідження за допомогою 3D-мікроскопа AniCAM та програмного забезпечення компанії Troika Systems був проведений ретельний аналіз основних параметрів усіх досліджуваних анілоксів валів. Як результат було отримано автоматичний розрахунок параметрів валів (рис. 4.1), зображення профілю растрових комірок (рис. 4.2) та 3D-зображення поверхні анілоксів вала (рис. 4.3). Зображення профілю комірок в поєднанні із проведеним розрахунком дозволяє зробити висновки щодо зношеності поверхні комірок, ширини перемичок тощо. Завдяки кольоровому зображенню глибини гравіюваних комірок наглядно видно наскільки вони зношені чи забруднені

AniCAM Analysis

Report by:

Customer: **Поли Пак**Roll ID: **160-012011**Job Date: **15/10/2019, 15:53**

Roll Condition and Specification

Cell Opening: **54.0 um**Screen Angle: **60 degrees**Cell Wall: **8.0 um**Screen Count: **160 lpcm**

Volume Information

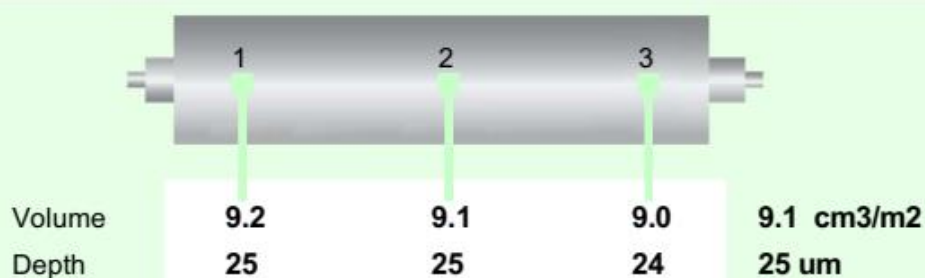
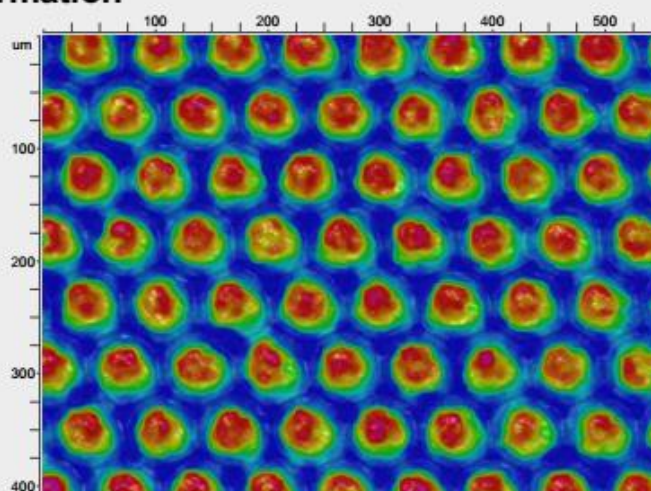


Рис. 4.1. Результати вимірювань характеристик анілоксового вала лініатурою 160 лін/см за допомогою 3D-мікроскопа AniCAM та програмного забезпечення Anilox QC Application (Troika Systems)

AniCAM Analysis



160-012011



Рис. 4.2. Зображення профілю анілоксового вала лініатурою
160 лін/см (3D-мікроскоп AniCAM)

AniCAM Analysis



160-012011

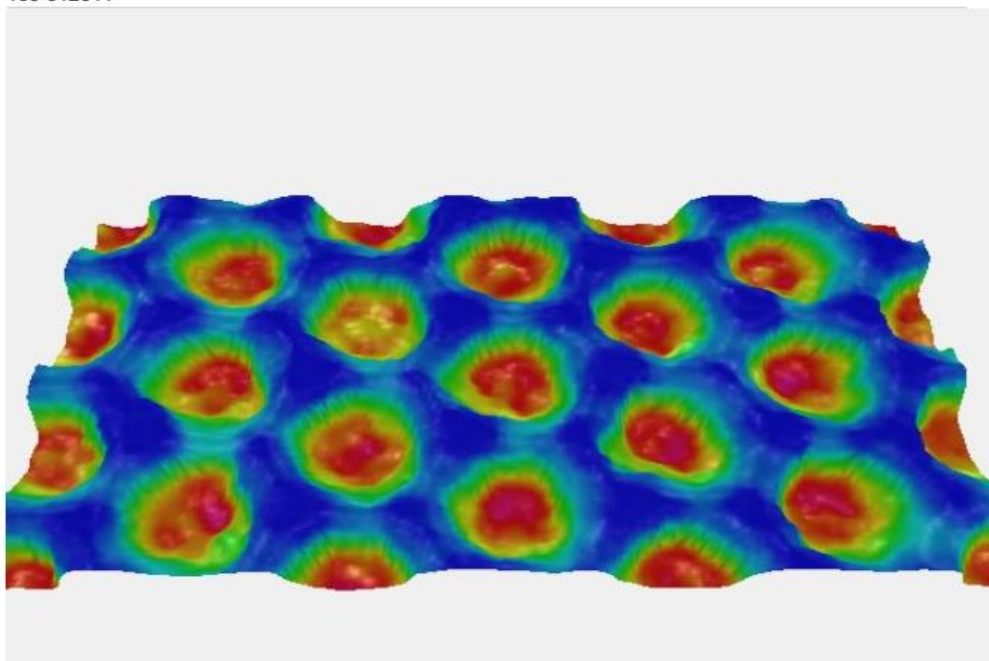


Рис. 4.3. 3D-зображення поверхні анілоксового вала лініатурою
160 лін/см (3D-мікроскоп AniCAM)

(рис. 4.3), а отримані результати розрахунків у поєднанні з «паспортними» даними валів дозволяють проводити аналіз у цифровому вигляді.

Отримавши реальні дані про стан анілоксових валів, стало можливим вивчити вплив їх характеристик на якісні параметри відбитків флексографічного друку. Відомо, що для стабільного фарбоперенесення співвідношення глибини комірки до її ширини («відкритої» частини) повинно складати у межах 25-30%. Яскравий та насичений колір на відбитку забезпечується у першу чергу товщиною фарбового шару на ньому, що залежить як від характеристик комірки (глибина, конфігурація), так і від лініатури гравіювання. Тут виникає певна суперечність, адже при збільшенні глибини комірки відношення глибини і «відкриття» комірки також збільшується. Незаперечним і багаторазово доведеним є факт важливості підтримки цього співвідношення в оптимальних межах. З його зростанням відбувається пропорційне зниження віддачі фарби, а в результаті більша кількість фарби залишається в комірках, вони швидко забиваються фарбою, прискорено знижується оптична щільність, виникають дефекти, потреба в зупинці і простоях для очищення. Тому на наступному етапі експериментальних досліджень було визначено вплив фарбоємності анілоксових валів різної лініатури на оптичну щільність відбитків (рис. 4.4-4.5).

Цілком закономірно, що із збільшенням об'єму комірки оптична щільність зростає, для анілоксів середньої та високої лініатури таке зростання є майже пропорційним (рис. 4.5). Для анілоксу лініатурою 100 лін/см (рис. 4.4) збільшення об'єму на $5,5 \text{ см}^3/\text{м}^2$ поступово призводить до підвищення оптичної щільності на 14%, що є досить суттєвим і візуально помітним на відбитку. Для анілокса лініатурою 120 лін/см збільшення об'єму на $3,5 \text{ см}^3/\text{м}^2$ збільшує оптичну щільність фарби на відбитку на 0,11 в.о. Для високолінатурного анілоксу (340 лін/см) збільшення об'єму від 2 до $5,6 \text{ см}^3/\text{м}^2$ збільшує оптичну щільність відбитка на 0,3 в.о., що є більш суттєвим. Однак слід зауважити, що подальше збільшення об'єму комірки (а фактично її глибини) призведе до неповної передачі фарби (як було сказано вище) і до проблем із чистотою та насиченістю відбитка).

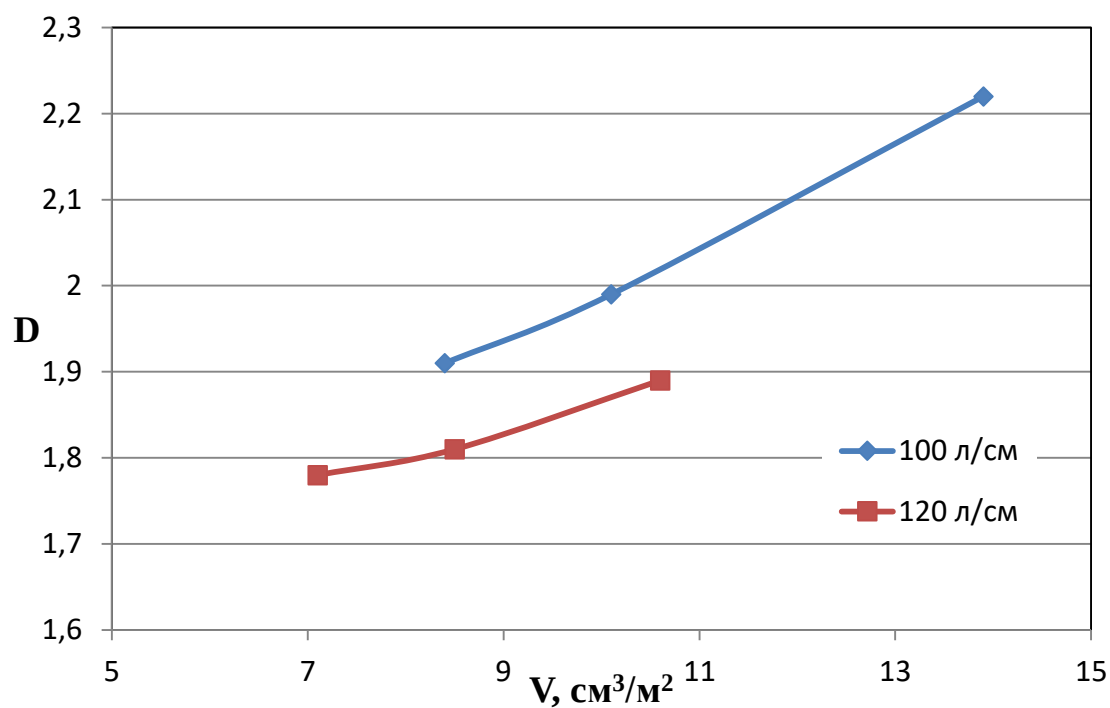


Рис. 4.4. Залежність оптичної щільності відбитків від об'єму анілоксових валів низької лініатури

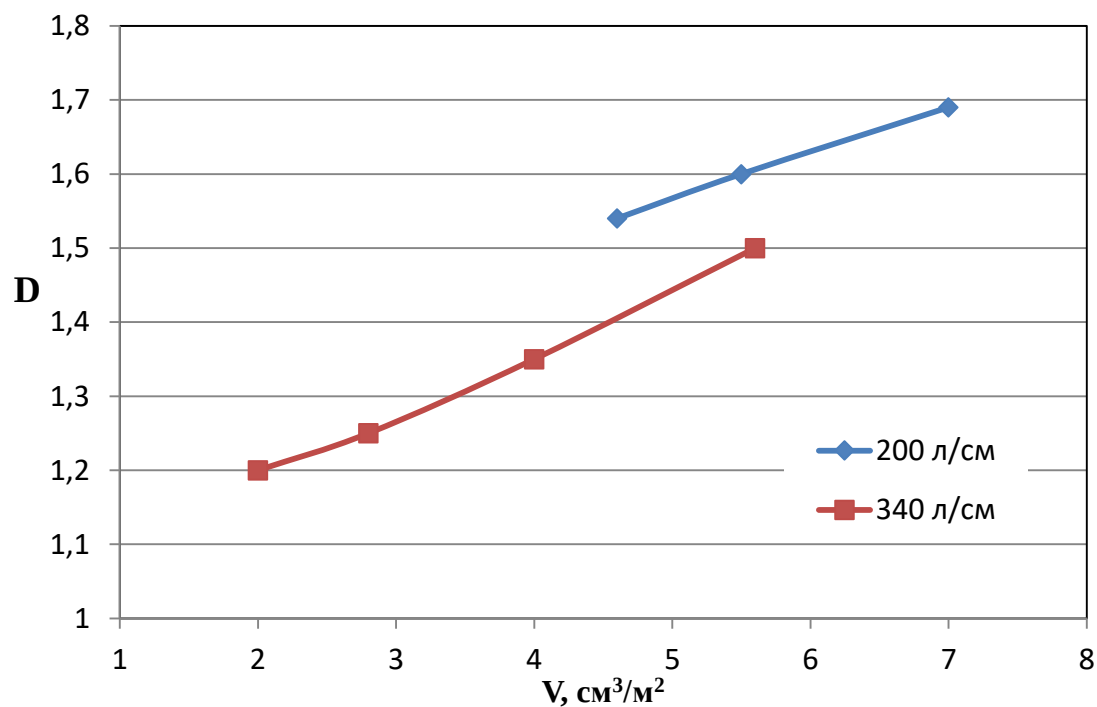


Рис. 4.5. Залежність оптичної щільності відбитків від об'єму анілоксових валів середньої та високої лініатури

Ці висновки підтверджують результати, отримані для вала лініатурою 200 лін/см, які займають проміжні значення між даними для високолініатурних та низьколініатурних анілоксів [129].

Для встановлення впливу лініатури анілоксових валів на оптичну щільність відбитків було проведено дослідження (рис. 4.6) з використанням валів різної лініатури з однаковим показником об'єму комірки ($8,6 \text{ см}^3/\text{м}^2$). Як свідчать отримані результати, збільшення лініатури анілоксових валів при незмінному об'ємі комірки пропорційно знижує оптичну щільність відбитків - збільшенню лініатури на 20 лін/см відповідає зниження оптичної щільності приблизно на 0,1 в.о.

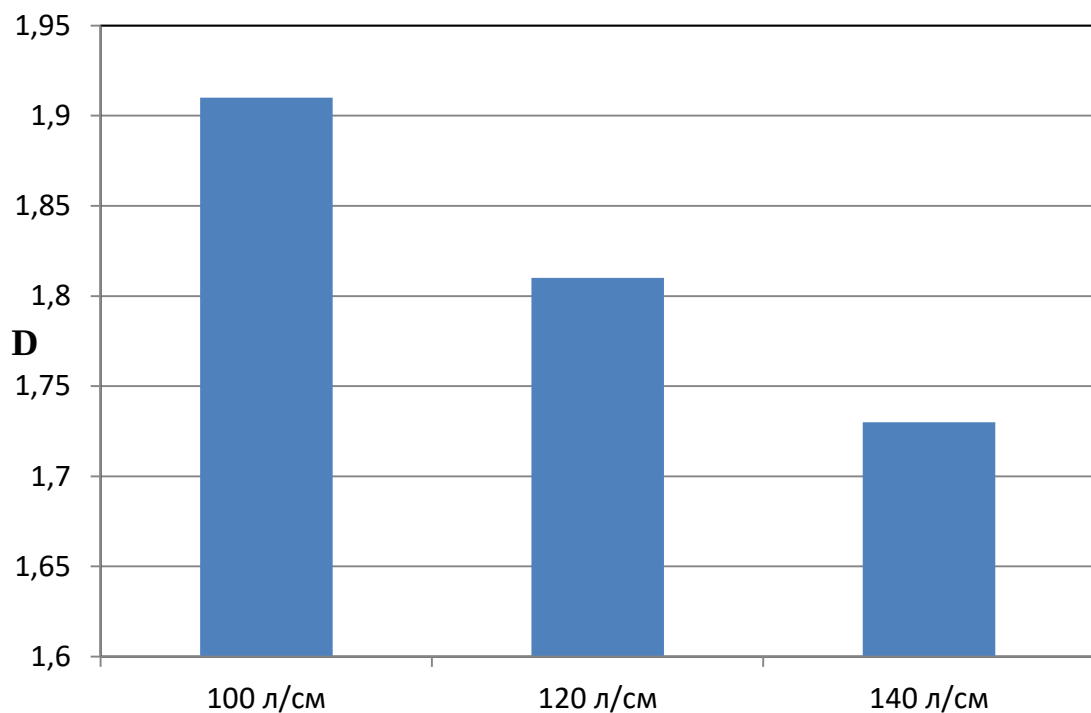


Рис. 4.6. Вплив лініатури анілоксових валів на оптичну щільність відбитків для анілоксів об'ємом $8 \text{ см}^3/\text{м}^2$

Іншим важливим показником якості відбитків є показник розтискування растрових елементів. Суттєвий вплив на розтискування мають характеристики анілоксового валу, бо саме вони фактично визначають необхідну кількість фарби на поверхні растрового елемента. Найвищий показник розтискування характерний для півтонів зображення, тому у виробничих умовах для

оперативного контролю розтискування на полях тиражної форми розміщують контрольну шкалу, за якою можна виміряти розтискування 40%-ного та 80%-ного растрового поля. Аналізом результатів проведеного експериментального дослідження встановлено залежності показників розтискування растрових точок 40% та 80% полів градаційної шкали від об'єму комірки анілоксових валів лініатурою 200 та 340 лін/см (рис. 4.7-4.8). Цілком очевидно, що розтискування у півтонах зображення (40%-не поле) є вищим для анілоксів будь-якої лініатури та об'єму. Для обох досліджуваних растрових полів спостерігаємо більш значну залежність показника розтискування від об'єму комірки анілоксів для анілоксу лініатурою 200 лін/см (відповідні криві залежностей на графіках мають більш крутий характер). Збільшення об'єму анілокса на $2,4 \text{ см}^3/\text{м}^2$ підвищує розтискування на 7% (40%-не поле) та 4% (80%-не поле). При збільшенні об'єму анілоксів валів лініатурою 340 лін/см на $3,6 \text{ см}^3/\text{м}^2$, розтискування зростає на 4% (40%-не поле) та 3% (80%-не поле) [129].

Результати дослідження впливу лініатури анілоксів на показник розтискування наведено на рис. 4.9. Для анілоксових валів з об'ємом комірки $5,5 \text{ см}^3/\text{м}^2$ зміна лініатури від 200 до 340 лін/см призводить до зниження показника розтискування на 7% та 5% для 40%-ного та 80%-ного растрових полів відповідно. Таким чином, можна стверджувати, що для високолініатурних анілоксових валів у випадку необхідності підвищення оптичної щільності відбитка є можливість застосування валів із більшим об'ємом комірки. Це дозволить досить суттєво збільшити оптичну щільність відбитку (насиченість та «глибину» кольору), при цьому розтискування растрових елементів і, відповідно, коректність тоновідтворення не зазнають суттєвих змін.

Для валів середньої лініатури такі зміни слід робити більш ретельно, бо навіть невелика зміна об'єму комірки валів може привести до градаційних спотворень. Слід зауважити, що отримані результати характеризують залежності для анілоксових валів з певними параметрами (парк анілоксів конкретного виробництва) і для більш узагальнюючих висновків необхідно провести більш широке дослідження [129].

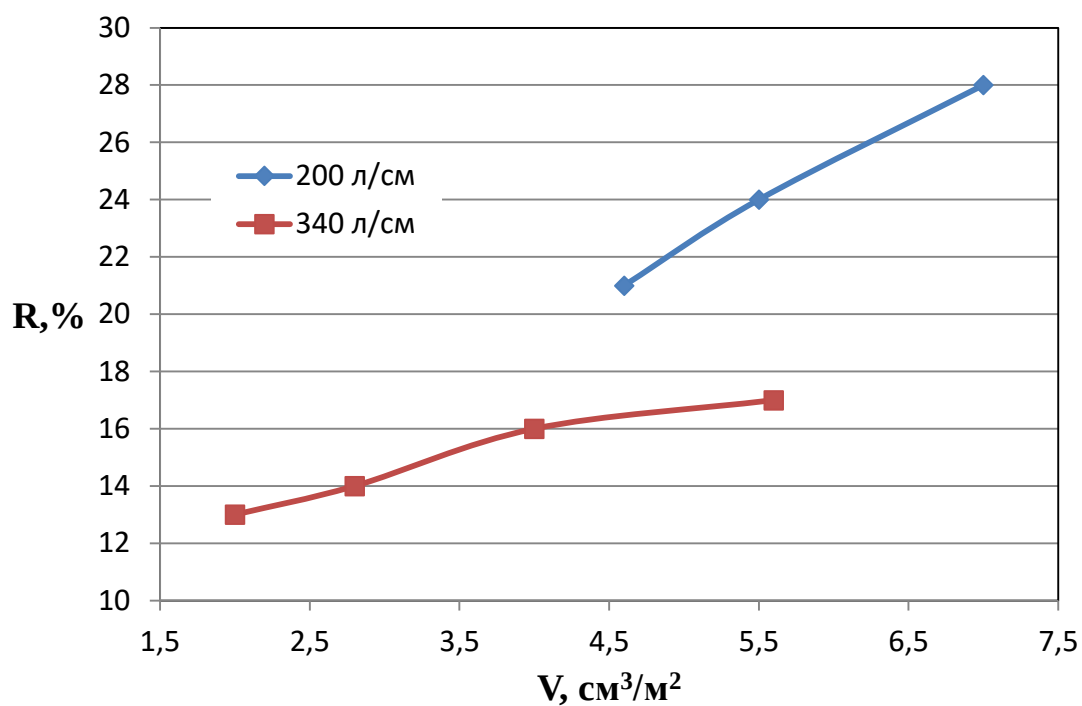


Рис. 4.7. Залежність показника розтискування 40% растрової точки відбитків від об'єму комірки анілоксових валів

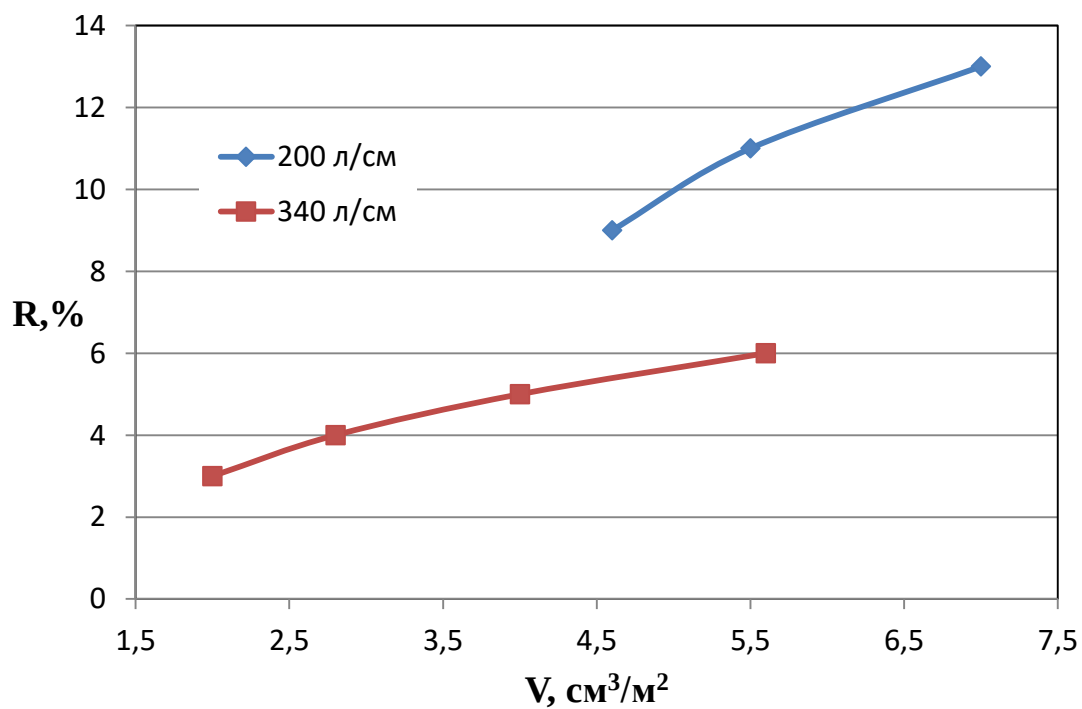


Рис. 4.8. Залежність показника розтискування 80% растрової точки відбитків від об'єму комірки анілоксових валів

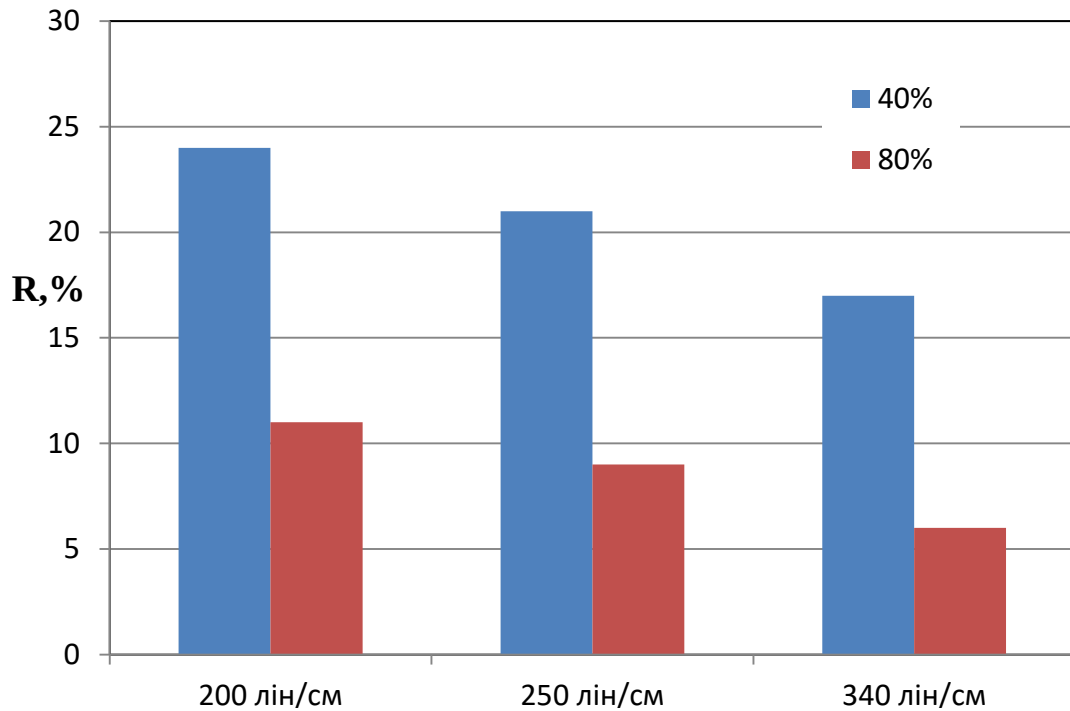


Рис. 4.9. Вплив лінійності анілоксових валів на розтискування растрової точки на відбитку для анілоксів з об'ємом комірки $5,5 \text{ см}^3/\text{м}^2$

Важливим елементом системи контролю якості у флексографічному друці є контроль кольору. Як вже було сказано вище, при відтворенні растрових зображень коректність кольовідтворення залежить, зокрема, від розтискування растрових точок, на яке, у свою чергу, впливає цілий ряд факторів. Однак, параметри анілоксу мають не тільки опосередкований, а й прямий вплив на коректність кольовідтворення, адже вони визначають товщину фарбового шару на поверхні задрукованого матеріалу. Тому в лабораторних умовах було проведено дослідження впливу товщини фарбового шару на відбитках, сформованих анілоксами з різним фарбоперенесенням, на величину відхилення кольору ΔE . Отримані залежності (рис. 4.10-4.11) демонструють суттєву залежність кольору відбитка від лінійності анілоксів.

Для тріадних фарб Cyan та Magenta вже при зміні лінійності анілоксів з 180 на 140 ліній/см спостерігаємо відхилення кольору, яке візуально помітне на відбитку. Це підтверджують і дані вимірювань – $\Delta E_C=5,8$ та $\Delta E_M=7,34$ (рис. 4.10). Подальше зниження лінійності анілоксів ще більш суттєво

змінює колір відбитка. Поряд із підвищенням насиченості та оптичної щільності відбитка спостерігаємо також зміни у координатах a і b , тобто, фактично, ми отримуємо інший відтінок на відбитку. Аналізуючи отримані дані, можемо припустити, що вид пігменту у складі фарбової композиції також буде впливати на характер зміни кольору при зміні товщини фарбового шару на відбитку. Для фарби Magenta значення показника ΔE є вищими, порівняно з фарбою Cyan. Щодо досліджуваних пантонних фарб (Reflex Blue та Rubine Red), то спостерігаємо дещо інший характер залежностей – колір суттєво змінюється при переході від анілоксу 180 лін/см до 120 лін/см, а в подальшому зміни показника ΔE не є різкими (рис. 4.11). Тобто, у випадку використання цих пантонних фарб зміна анілоксу з 120 на 100 лін/см не призведе до помітної зміни кольору відбитка. Слід також зазначити, що фарба Reflex Blue більш «чутлива» до зміни лініатури анілоксу, ніж фарба Rubine Red. Отже, при зміні анілоксового вала необхідно враховувати вплив його характеристик як на оптичну щільність та розтискування растрової точки, так і на зміну кольору фарби на відбитку [129].

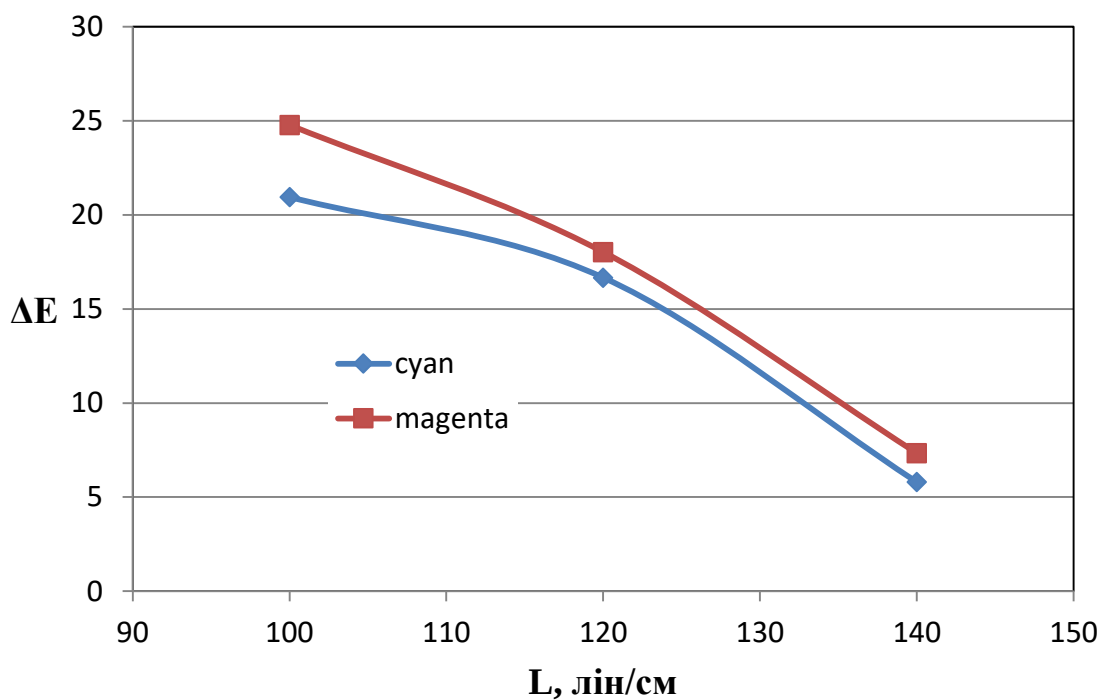


Рис. 4.10. Вплив лініатури анілоксу (кількості фарби на відбитку) на відхилення кольору (ΔE) для тріадних фарб

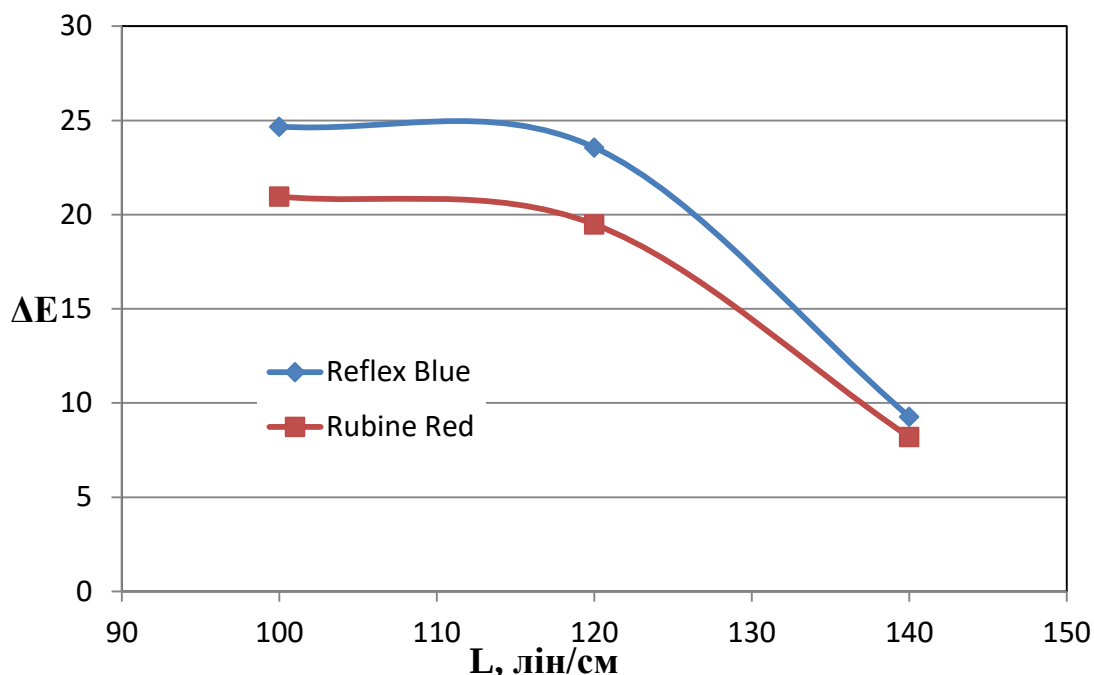


Рис. 4.11. Вплив лініатури анілоксу (кількості фарби на відбитку) на відхилення кольору (ΔE) для пантонних фарб

4.2. Дослідження ефективності процесу очищення анілоксових валів

У процесі експлуатації анілоксовий вал перебуває у постійному контакті із друкарською фарбою і, через те, що фарби є швидко висихаючими, відбувається поступове забруднення комірок анілоксового вала пігментними частинками фарби, а також пилом, чи мікрочастинками бруду із поверхні неякісного задрукованого матеріалу. Це суттєво впливає на експлуатаційні параметри вала і, відповідно, на якість відбитка. Тому процесам очищення анілоксових валів на виробництвах флексографічного друку приділяється особлива увага [130].

Дослідження процесу очищення анілоксових валів різної лініатури було проведене з використанням засобу Flexo Hard для валів, які інтенсивно експлуатуються в умовах підприємства. За результатами вимірювань за допомогою мікроскопа AniCAM (рис. 4.12-4.14) були побудовані графіки залежностей (рис. 4.15-4.17).

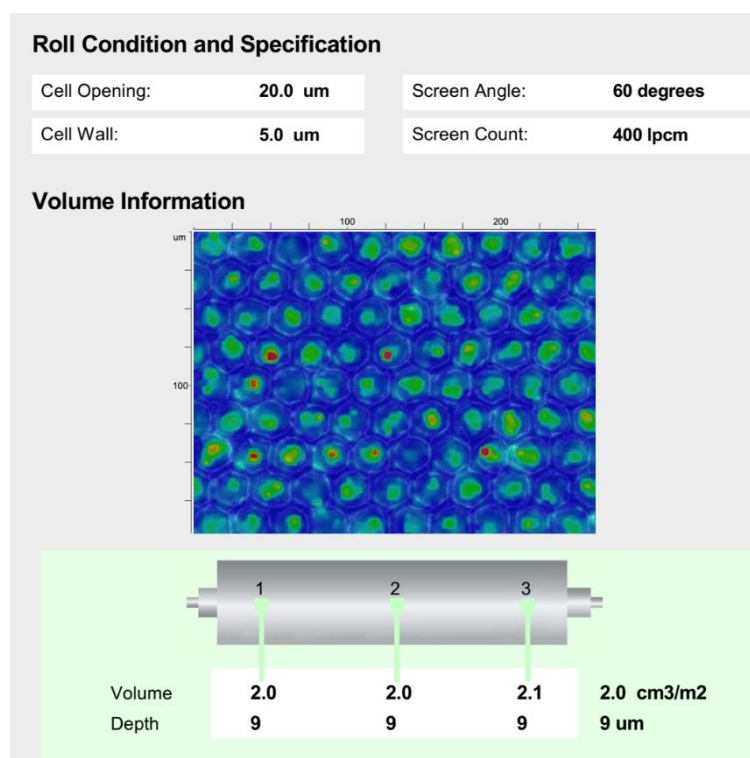


Рис. 4.12. Результати вимірювань характеристик забрудненого анілоксного вала лініатурою 400 лін/см за допомогою 3D-мікроскопа AniCAM

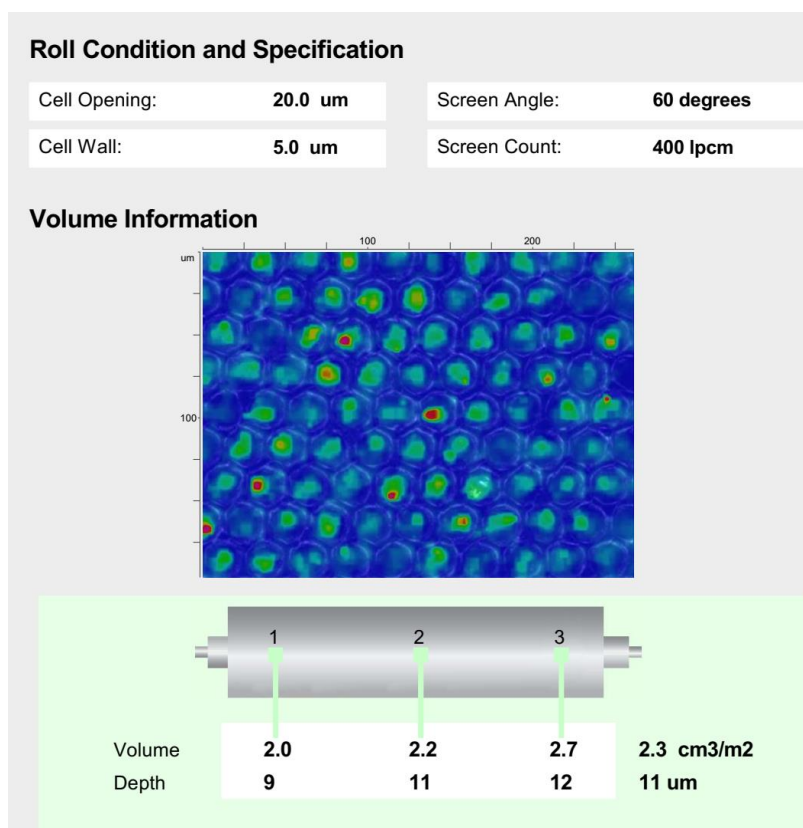


Рис. 4.13. Результати вимірювань характеристик анілоксного вала лініатурою 400 лін/см після одного змивання

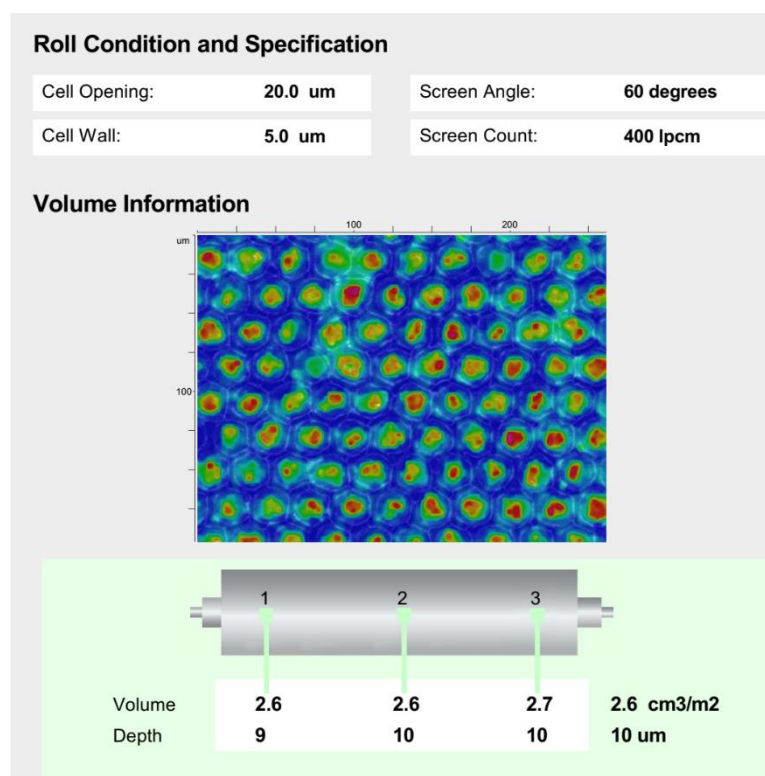


Рис. 4.14. Результати вимірювань характеристик анілоксового вала лініатурою 400 лін/см після двох змивань

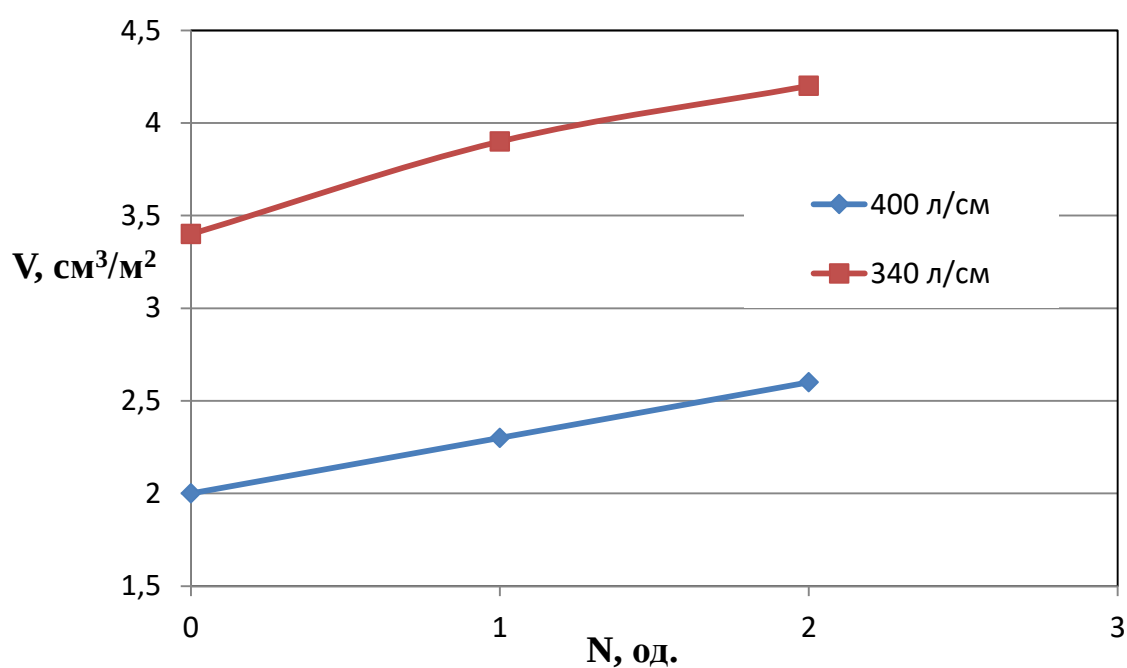


Рис. 4.15. Залежність фарбоємності високолініатурних анілоксових валів від кількості змивань миючим засобом Flexo Hard

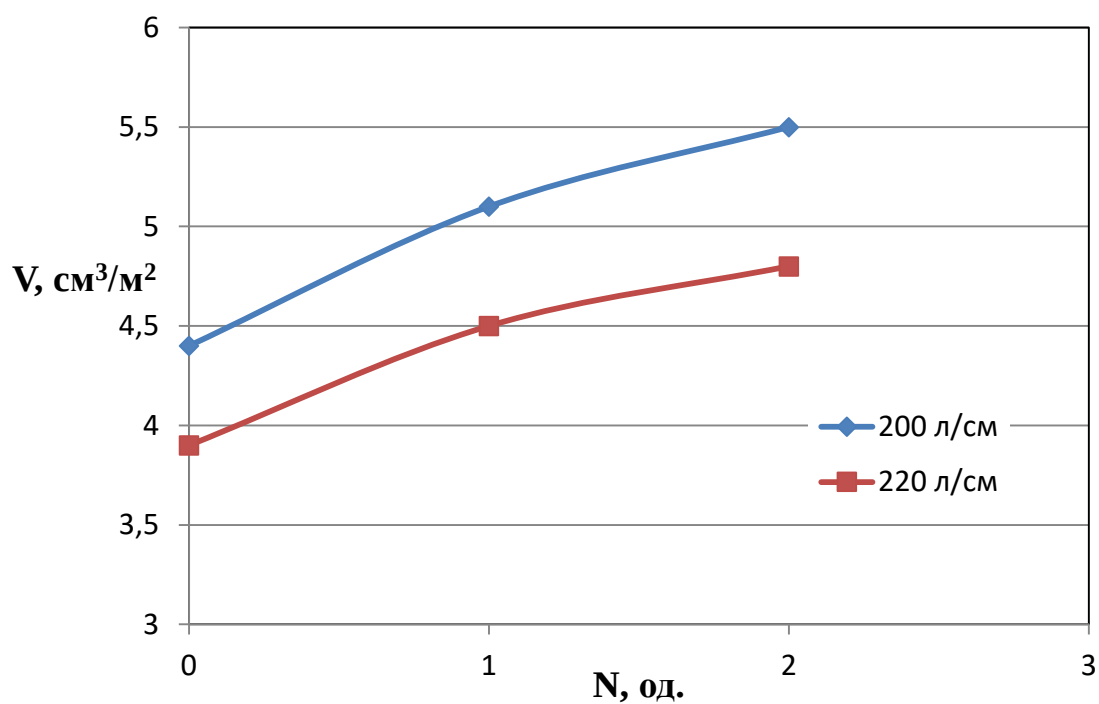


Рис. 4.16. Залежність фарбоємності анілоксових валів середньої лініатури від кількості змивань миючим засобом Flexo Hard

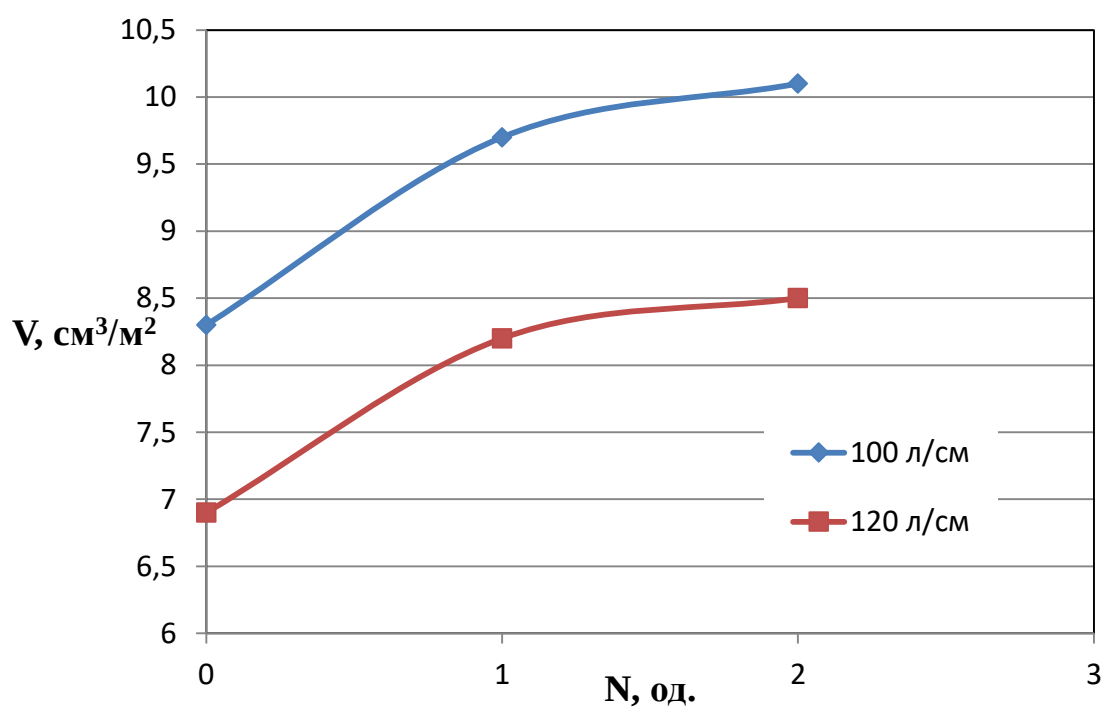


Рис. 4.17. Залежність фарбоємності анілоксових валів низької лініатури від кількості змивань миючим засобом Flexo Hard

Передбачувано очищення валів з більш високою лініатурою є складнішим. Для високолініатурних анілоксів одне змивання дозволяє очистити комірки вала приблизно на 50-60%, для анілоксів середньої лініатури - на 70-75 %, а для валів лініатурою 100-120 лін/см – на 90-95%. Таким чином, при змиванні сильно забруднених анілоксів високої лініатури необхідно мінімум два змивання, для анілоксів середньої лініатури один-два змивання, а для низьколініатурних анілоксів використання засобу для очищення Flexo Hard дає змогу якісно очистити поверхню вала за одне змивання [130].

У виробничих умовах також було проведено дослідження ефективності глибокого очищення валів засобами різних виробників (рис. 4.18), у якому використовували змивальні розчини Recyl Cobra та Flexo Hard (3V Group). Для оцінювання ефективності процесу очищення було проведене вимірювання параметрів забрудненого та вимитого анілокса і порівняння отриманих даних з вихідними характеристиками анілоксового вала. Для порівняння ефективності засобів для очищення анілокса половину вала очищали одним засобом, а другу – іншим. Основним хімічним інгредієнтом обох засобів, що використовувалися в процесі експерименту (Recyl Cobra та Flexo Hard) є похідні сірчаної кислоти.

Отримані результати (рис. 4.18) показали високу ефективність використання обох засобів для процесу очищення анілоксових валів різних лініатур – уже після першого змивання досягається майже 100% очищення поверхні. Різниця в результатах між двома засобами знаходиться практично у межах похибки при проведенні експерименту.

Окрім глибокого очищення, анілоксові вали потребують також регулярного очищення в процесі переходу з тиражу на тираж чи після закінчення тиражу. Для цього використовуються так звані засоби для регулярного догляду за анілоксовими валами. У проведеному дослідженні використовувались засоби для регулярного догляду за анілоксовими валами Flexo Soft, Anilox Cleaner та розчинник етилацетат.

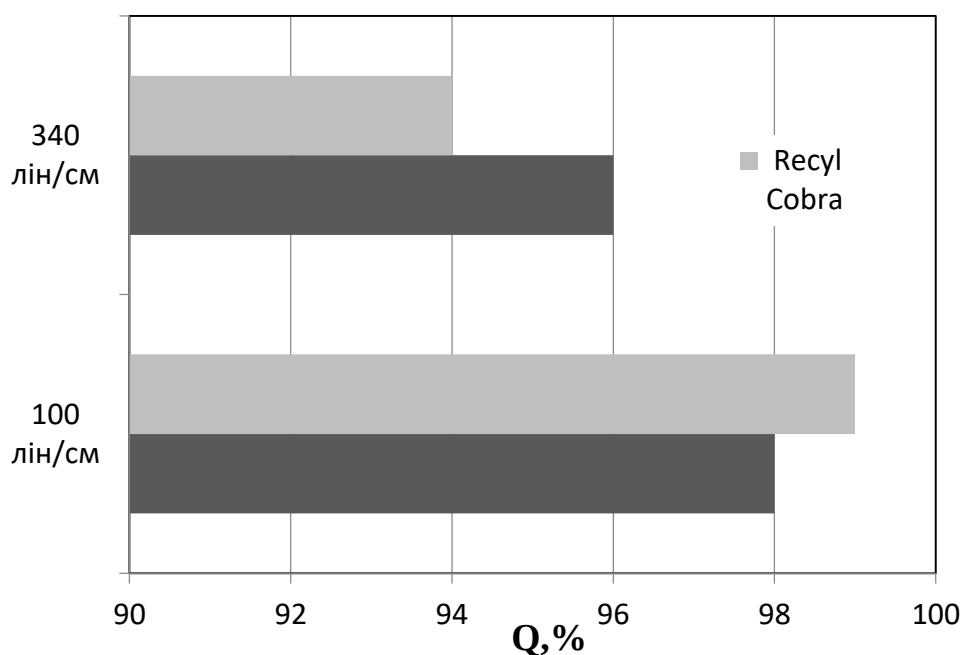


Рис. 4.18. Вплив типу змивального розчину для глибокої очистки на якість очищення поверхні анілоксових валів

Результати експерименту (рис. 4.19) свідчать, що найефективнішим засобом є Anilox Cleaner, його застосування дозволяє очистити як високолінійні, так і «плашкові» вали за одне змивання практично на 100%.

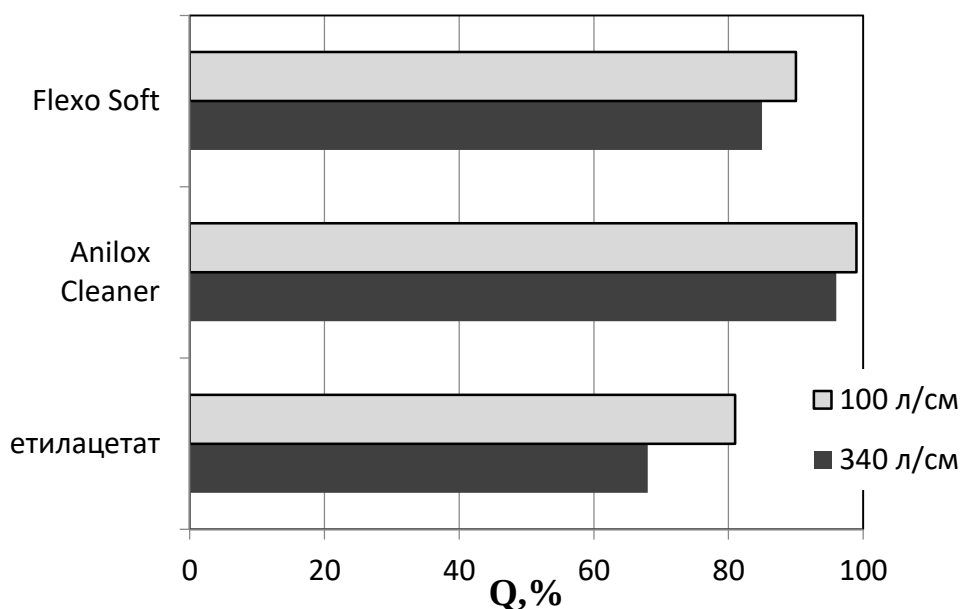


Рис. 4.19. Вплив типу засобу для регулярного очищення на якість очищення поверхні анілоксових валів

Непогані результати показав також і засіб Flexo Soft, однак у випадку очищення високолінійних анілоксів необхідно або збільшити час очищення, або його ретельність, щоб досягти потрібної якості поверхні за одне змивання. При застосуванні етилацетату потрібного результату важко досягти навіть змивши вал двічі чи тричі, тому однозначно для цієї операції рекомендуємо засіб Anilox Cleaner [130].

Іншим чинником, який характеризує процес очищення анілоксових валів, є саме час цього процесу, який є достатнім для вимивання анілоксів при використанні фарб різних кольорів. Для з'ясування причин такої різниці було проаналізовано здатність фарб до структуроутворення, адже спирторозчинна флексографічна фарба, незважаючи на низьку в'язкість, залишається гетерогенною системою і, відповідно, неньютонівською рідиною.

У таблиці 4.1 на прикладі серії спирторозчинних фарб Polistar Метокс (Флексорес) показано різницю друкарських фарб за аномалією в'язкості.

Таблиця 4.1

Аномалія в'язкості друкарських фарб

Фарба	В'язкість, с		Аномалія в'язкості
	мінімальна	максимальна	
CYAN	19,5	20	1,02
MAGENTA	20	24	1,18
YELLOW	20	22,5	1,13
BLACK	20	21	1,05
WHITE	20	28	1,4

Різниця у структуроутворенні пояснюється взаємодією компонентів фарб між собою, між пігментами тощо. Зростає структуроутворення зі збільшенням концентрації пігменту і його дисперсності. Таке явище проявляє себе і поведінці фарб у комірках анілоксових валів, що впливає на передчасне їх забруднення і, відповідно, на тривалість очищення анілоксів (рис. 4.20).

Отримані результати свідчать, що підвищена здатність до структуроутворення утруднює процес очищення копірок анілоксових валів і зі зростанням лініатури вала тривалість його очищення також зростає (рис. 4.20). Відповідно, наявність різних фарб з різними структуроутворюючими властивостями вимагає уваги з точки зору встановлення оптимального часу очищення та покращення енергоефективності процесу.

Таким чином, результати проведених експериментальних досліджень дали змогу розробити практичні рекомендації щодо підбору ефективних режимів та матеріалів для процесу очищення анілокових валів.

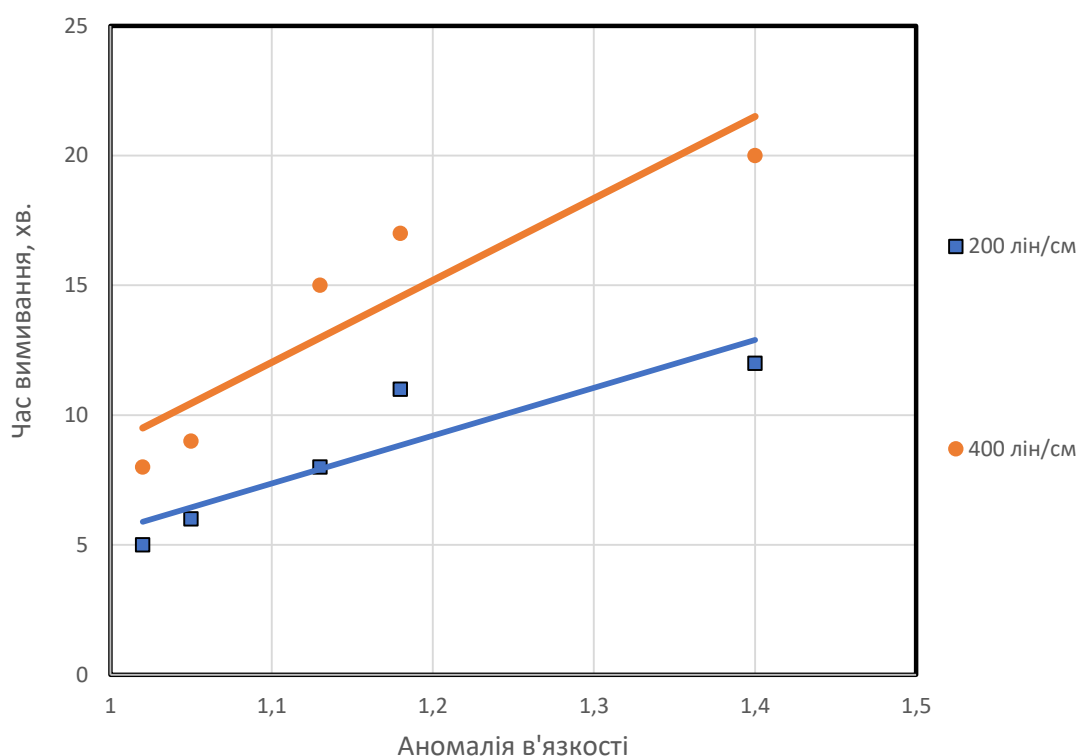


Рис. 4.20. Вплив аномалії в'язкості фарб на час очищення копірок анілоксових валів різної лініатури

Висновки до розділу 4

1. У результаті проведених експериментальних досліджень встановлено залежність оптичної щільності відбитків від об'єму комірки анілоксових валів різної лініатури та визначено, що пропорційне підвищення об'єму анілоксів більш суттєво впливає на оптичну щільність при використанні високолініатурних валів.
2. Встановлено вплив лініатури анілоксових валів на оптичну щільність відбитків та визначено, що збільшення лініатури анілоксових валів при незмінному об'ємі комірки пропорційно знижує оптичну щільність відбитків – збільшенню лініатури на 20 лін/см відповідає зниження оптичної щільності приблизно на 0,1 у.о.
3. Встановлено залежності показника розтискування растрової точки на відбитку від об'єму комірки анілоксових валів різної лініатури та визначено, що для вала з лініатурою 200 лін/см збільшення об'єму на $2,4 \text{ см}^3/\text{м}^2$ підвищує розтискування на 4-7%, а для вала з лініатурою 340 лін/см при збільшенні об'єму на $3,6 \text{ см}^3/\text{м}^2$ розтискування зростає на 3-4%.
4. Встановлено вплив лініатури анілоксових валів на показник розтискування растрової точки на відбитку та визначено, що для валів із об'ємом комірки $5,5 \text{ см}^3/\text{м}^2$ зміна лініатури від 200 до 340 лін/см призводить до зниження показника розтискування на 5-7%.
5. Встановлено залежності показника відхилення кольору на відбитку ΔE від товщини фарбового шару (фарбопередачі анілоксового вала) для тріадних та пантонних друкарських фарб, що уможливорює контроль показника шляхом вибору анілоксового вала з відповідними технічними характеристиками.
6. Встановлено вплив кількості змивань очищуючим засобом на ефективний об'єм комірок анілоксових валів з різною лініатурою, що дозволило встановити оптимальні режими очищення валів.
7. Встановлено вплив аномалії в'язкості (структурування) спирторозчинних друкарських фарб на процес забруднення та, відповідно,

очищення анілоксових валів, що дає можливість прогнозувати та встановити оптимальний час очищення анілоксових валів з різною лініатурою.

У цілому результати проведених експериментальних досліджень дали змогу розробити практичні рекомендації щодо оптимального використання анілоксових валів при технологічній потребі зміни оптичної щільності, коректності тоновідтворення чи кольоровідтворення на відбитку, а також підібрати ефективні режими та матеріали для процесу очищення анілоксових валів.

РОЗДІЛ 5

ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСІВ ВИМИВАННЯ АНІЛОКСОВИХ ВАЛІВ І ФЛЕКСОГРАФІЧНОГО ДРУКУ

Якість відбитків флексографічного друку залежить від цілої множини факторів. Цим, власне, і пояснюються труднощі з впровадженням єдиних стандартів при друкуванні, які, наприклад, успішно застосовуються у плоскому офсетному друці. Аналіз цих факторів проводився у різних роботах, зокрема для друкування етикеткової продукції фарбами УФ-закріплення [131]. При використанні спирторозчинних флексографічних фарб це завдання ще більше ускладнюється, так як ця технологія використовується на машинах середнього та широкого формату і передбачає особливі вимоги щодо контролю витратних матеріалів. Це, в першу чергу, стосується підготовки друкарських фарб [132], контролю їх в'язкості та закріплення, контролю поверхневої енергії задруковуваних матеріалів [99]. Дослідженнями [133] встановлено вплив поверхневих властивостей полімерних плівок на оптичні показники відбитків і адгезію флексографічних фарб та підтверджено, що оптимальні оптичні і адгезійні показники відбитків отримують при поверхневій енергії задрукованих матеріалів вищій ніж 38 мН/м.

Одним з ключових факторів впливу на якість друкування практично в усіх промислових способах друку є якість друкарської форми. У флексографії властивості фотополімеру (товщина, шорсткість і поверхневі властивості) та репродукційні характеристики друкарської форми також є дуже важливими з точки зору якісних показників готового відбитка, визначаючи лініатуру растрового зображення, точність відтворення усіх його елементів, рівномірність задруковування плашок та зносостійкість форми [134,135]. Саме тому вдосконалення технологій виготовлення друкарських форм і використання нових типів полімерів здійснили свого роду революцію у флексографії, дозволивши підняти якість відтворюваного зображення на новий рівень [136],

що підтверджується результатами експериментальних досліджень, які показано у розділі 3.

На якість друкування також впливають параметри двосторонніх липких стрічок, що використовуються для монтажу флексографічних форм на формні циліндри друкарських машин. Результатами дослідження [137] встановлено: із збільшенням жорсткості стрічки збільшується насиченість плашок, а на 2-% растрі починається розтискування. У випадку монтажу форм, які містять плашки і растрові елементи одночасно, вибирають універсальну стрічку з проміжною жорсткістю.

Ключовим елементом фарбових апаратів машин флексографічного друку є анілоксові вали, параметри яких є визначальним фактором при формуванні фарбового шару на друкарських елементах форми [138, 139] і відіграють основну роль в системі фарбоперенесення у флексографії [140]. Вплив характеристик і стану комірок анілоксових валів було досліджено у розділі 4.

Ще одним з елементів систем подачі фарби у флексографічному друці є ракельний ніж, призначений для усунення надлишку фарби з поверхні анілоксового вала чи формного циліндра і тим самим регулювання кількості фарби, яка подається на фотополімерну друкарську форму та, відповідно, на задруковуваний матеріал. Виробники ракельних ножів випускають ножі різної конфігурації та з різного матеріалу [141]. Однієї думки щодо застосування певного універсального ракельного ножа немає. Відповідно до практичних рекомендацій для різних фарб в одній друкарській машині використовуються різні типи ракелів, наприклад, для білих фарб та фарб з металізованими пігментами необхідно встановлювати товсті ракельні ножі, а із збільшенням лініатури зображень рекомендується підбір ракеля з тоншою робочою крайкою [142].

Важливим регулюючим елементом системи фарбоперенесення є тиск між анілоксовим валом та друкарською формою і між друкарською формою та друкарським циліндром, які забезпечують оптимальне нанесення фарби на відбиток [143]. Щодо самої спирторозчинної друкарської фарби, то її основним технологічним параметром, який потребує постійного контролю в процесі

друкування, є її в'язкість [144-145]. А через те, що закріплення спирторозчинних фарб відбувається в результаті випаровування розчинника, суттєвий вплив на цей процес має температура сушіння відбитків [146].

Усі ці параметри, впливаючи один на одного, в результаті визначають кінцеву якість друкарського відбитка, який характеризується, окрім точності відтворення оригіналу, параметрами оптичної щільності та розтискування друкарських елементів [147].

На сьогодні відомо про ряд робіт, які стосуються представлення і поліграфічного відтворення інформації, де використано основи нечіткої логіки і досягнуто відповідних результатів. Зокрема, у роботі [148] запропоновано метод, основою якого є: системний аналіз тривалого технологічного процесу; фактори впливу на якість реалізації технологічних процедур; альтернативні варіанти виконання технологічних етапів підготування та випуску книжкових видань; автоматизована система прогностичного оцінювання якості технологічного процесу на основі нечіткої логіки. У роботі [149] авторами використано інструмент нечіткої логіки і запропоновано інтегральний показник якості флексографічних друкарських відбитків. Відповідно, для наступного етапу наукового дослідження буде використано засади нечіткої логіки.

5.1. Прогнозування ефективності процесу очищення анілоксів засобами нечіткої логіки

Відомо, що одним із варіантів аналізу впливу факторів на технологічний процес з допомогою якого інтерпретуються неоднозначні твердження на мову зрозумілих математичних формул з кількісним оцінюванням, є нечітка логіка. Нечітка логіка оперує поняттям лінгвістичної змінної. Дане поняття було введено в роботі Латфі Заде, який заклав основи нечіткої логіки. Кожна лінгвістична змінна означає гіпотетичну пропозицію, вона може приймати будь-яке з двох значень істинності; змінна не зобов'язується ні до одного значення істинності, якщо для неї не буде замінено конкретне судження [151]. Латфі Заде

заклав основи наряду нечіткої логіки та ввів поняття деякої універсальної множини для певної проблемної області.

Основними етапами нечіткої логіки є операції фазифікації, тобто перетворення вихідних числових даних у розподіл, що відповідає термінам лінгвістичної змінної, і дефазифікація, операція, яка перетворює значення у нечіткій формі в кількісні цифрові значення. Перевагами систем з нечіткою логікою є можливість оперувати нечіткими вхідними даними.

Ефективність процесу очищення Q_e залежить від тривалості очищення анілокса і ступеня структурування друкарської фарби:

$$Q_{e_x} = f(T, A_v) \quad (5.1)$$

де T – лінгвістична змінна, яка характеризує тривалість процесу очищення анілоксу;

A_v – лінгвістична змінна, яка характеризує ступінь структурування друкарської фарби (аномалія в'язкості);

x – індекс, який вказує на лініатуру анілоксу.

У табл. 5.1 наведено оціночні терми для лінгвістичних змінних, які характеризують ефективність проходження процесу очищення анілоксів; у табл. 5.2 наведено лінгвістичні змінні вихідних параметрів при очищенні анілоксів з різною лініатурою, відповідно до схеми, яка представлена на рис. 5.1.

Таблиця 5.1

Лінгвістичні змінні та терми вхідних параметрів для прогнозування ефективності очищення анілоксів

№з/п	Лінгвістична змінна	Універсальна множина	Терм оцінювання
1	Тривалість очищення анілоксів	5-20 хв.	Мала
			Середня
			Велика
2	Ступінь структурування фарб (аномалія в'язкості)	1,02-1,4 у.о.	Низька
			Середня
			Велика

Таблиця 5.2

Лінгвістичні змінні вихідних параметрів при прогнозуванні ефективності
очищення анілоксів з різною лініатурою

№з/п	Лінгвістична змінна	Універсальна множина	Терм оцінювання
1	Площа комірок анілокса з лініатурою 400	13-19%	Достатня
			Посередня
			Мала
2	Площа комірок анілокса з лініатурою 340	15-22,5%	Достатня
			Посередня
			Мала
3	Площа комірок анілокса з лініатурою 220	16-24%	Достатня
			Посередня
			Мала
4	Площа комірок анілокса з лініатурою 200	17-26%	Достатня
			Посередня
			Мала
5	Площа комірок анілокса з лініатурою 120	12,5-19%	Достатня
			Посередня
			Мала

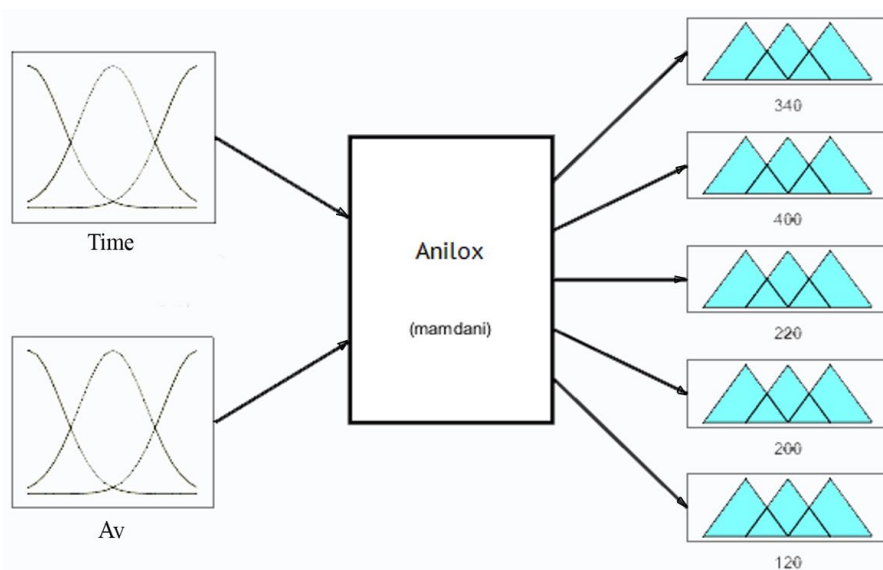


Рис. 5.1. Схема впливу тривалості процесу очищення і аномалії в'язкості
на ефективність очищення анілоксів із різною лініатурою

Сформуємо нечітку базу знань встановлення ефективності процесу очищення анілоксових валів з різною лініатурою за допомогою набору нечітких правил «якщо - тоді»:

- якщо ($T \in \text{«Велика»}$) і ($Av \in \text{«Низька»}$) тоді ($Qe_{400} \in \text{«Достатня»}$; $Qe_{340} \in \text{«Достатня»}$; $Qe_{220} \in \text{«Достатня»}$; $Qe_{200} \in \text{«Достатня»}$; $Qe_{120} \in \text{«Достатня»}$);
- якщо ($T \in \text{«Середня»}$) і ($Av \in \text{«Середня»}$) тоді ($Qe_{400} \in \text{«Погана»}$; $Qe_{340} \in \text{«Погана»}$; $Qe_{220} \in \text{«Середня»}$; $Qe_{200} \in \text{«Середня»}$; $Qe_{120} \in \text{«Середня»}$);
- якщо ($T \in \text{«Мала»}$) і ($Av \in \text{«Висока»}$) тоді ($Qe_{400} \in \text{«Погана»}$; $Qe_{340} \in \text{«Погана»}$; $Qe_{220} \in \text{«Погана»}$; $Qe_{200} \in \text{«Погана»}$; $Qe_{120} \in \text{«Погана»}$);
- якщо ($T \in \text{«Середня»}$) і ($Av \in \text{«Низька»}$) тоді ($Qe_{400} \in \text{«Середня»}$; $Qe_{340} \in \text{«Середня»}$; $Qe_{220} \in \text{«Достатня»}$; $Qe_{200} \in \text{«Достатня»}$; $Qe_{120} \in \text{«Достатня»}$);
- якщо ($T \in \text{«Велика»}$) і ($Av \in \text{«Середня»}$) тоді ($Qe_{400} \in \text{«Середня»}$; $Qe_{340} \in \text{«Середня»}$; $Qe_{220} \in \text{«Середня»}$; $Qe_{200} \in \text{«Достатня»}$; $Qe_{120} \in \text{«Достатня»}$);
- якщо ($T \in \text{«Середня»}$) і ($Av \in \text{«Висока»}$) тоді ($Qe_{400} \in \text{«Погана»}$; $Qe_{340} \in \text{«Погана»}$; $Qe_{220} \in \text{«Погана»}$; $Qe_{200} \in \text{«Середня»}$; $Qe_{120} \in \text{«Середня»}$).

При побудові функції належності для змінної «Тривалість очищення», її значення визначено на універсальній множині: $u_1 = 5$ хв; $u_2 = 8$ хв; $u_3 = 12$ хв; $u_4 = 16$ хв; $u_5 = 20$ хв. Для лінгвістичної оцінки цього показника використовуємо сукупність нечітких термів: $T(x) = \langle \text{мала, середня, велика} \rangle$.

Значення для змінної «Ступінь структурування фарби (аномалія в'язкості)» для побудови функцій належності визначимо на універсальній множині: $u_1 = 1,02$ у.о.; $u_2 = 1,1$ у.о.; $u_3 = 1,2$ у.о.; $u_4 = 1,3$ у.о.; $u_5 = 1,4$ у.о. Для лінгвістичної оцінки цього показника використовуємо сукупність нечітких термів: $T(y) = \langle \text{низька, середня, велика} \rangle$.

Для прикладу сформуємо один з варіантів нечітких логічних рівнянь для встановлення ефективності очищення анілокса з лініатурою 400 лін/см.

$$\mu^e = \mu^h(x) \wedge \mu^l(y) \vee \mu^m(x) \wedge \mu^l(y) \quad (5.2)$$

$$\mu^m = \mu^l(x) \wedge \mu^h(y) \vee \mu^m(x) \wedge \mu^h(y) \quad (5.3)$$

$$\mu^b = \mu^l(x) \wedge \mu^l(y) \vee \mu^m(x) \wedge \mu^h(y) \quad (5.4)$$

Позначення $\wedge$ і $\vee$ — це операції визначення мінімуму і максимуму в логічних рівняннях. Використовуючи функції належності та підставляючи ступені належності в систему нечітких логічних рівнянь, можна спрогнозувати проходження процесу очищення анілоксу.

Для моделювання впливу технологічних факторів на ефективність процесу очищення анілоксів використовуємо можливості системи розробки системи нечіткого управління – Fuzzy Logic Toolbox обчислювального середовища MATLAB за алгоритмом нечіткого логічного виводу Мамдані з дефазифікацією за принципом «Center of Gravity».

На рис. 5.2 показано прогностичні моделі впливу часу і аномалії в'язкості на ефективність процесу очищення для анілоксів із різною лініатурою. Для прикладу, відповідно до отриманих моделей розраховано ефективність процесу очищення анілоксу. Результати моделювання зведені в таблицю 5.3 і показують, як тривалість процесу та ступінь структурування фарби впливають на ефективність процесу очищення анілоксів різної лініатури. Побудовані прогностичні моделі досягнення ефективності процесу демонструють різницю в підходах до очищення анілоксів при переході від високолініатурного до низьколініатурного анілоксу.

Таким чином, описано залежність процесу очищення анілоксів від двох факторів: тривалості процесу і ступеня структурування друкарської фарби. Використання комп'ютерної програми «AniTest» дозволило оцінити ступінь чистоти комірок анілокса, показати відмінність у відкритості комірок анілоксів з різною лініатурою, яку візуалізовано у вигляді нечітких термів «достатньо», «посередньо» і «погано». Отримані дані відповідної межі для вихідного параметру Q_{ex} було використано при створенні прогностичних моделей. Використовуючи дані про вплив тривалості очищення і ступеня структурування фарб, сформовано базу знань з умовою «якщо-тоді», логічну схему та нечіткі логічні рівняння, результатом чого став кількісний показник ефективності процесу очищення [151].

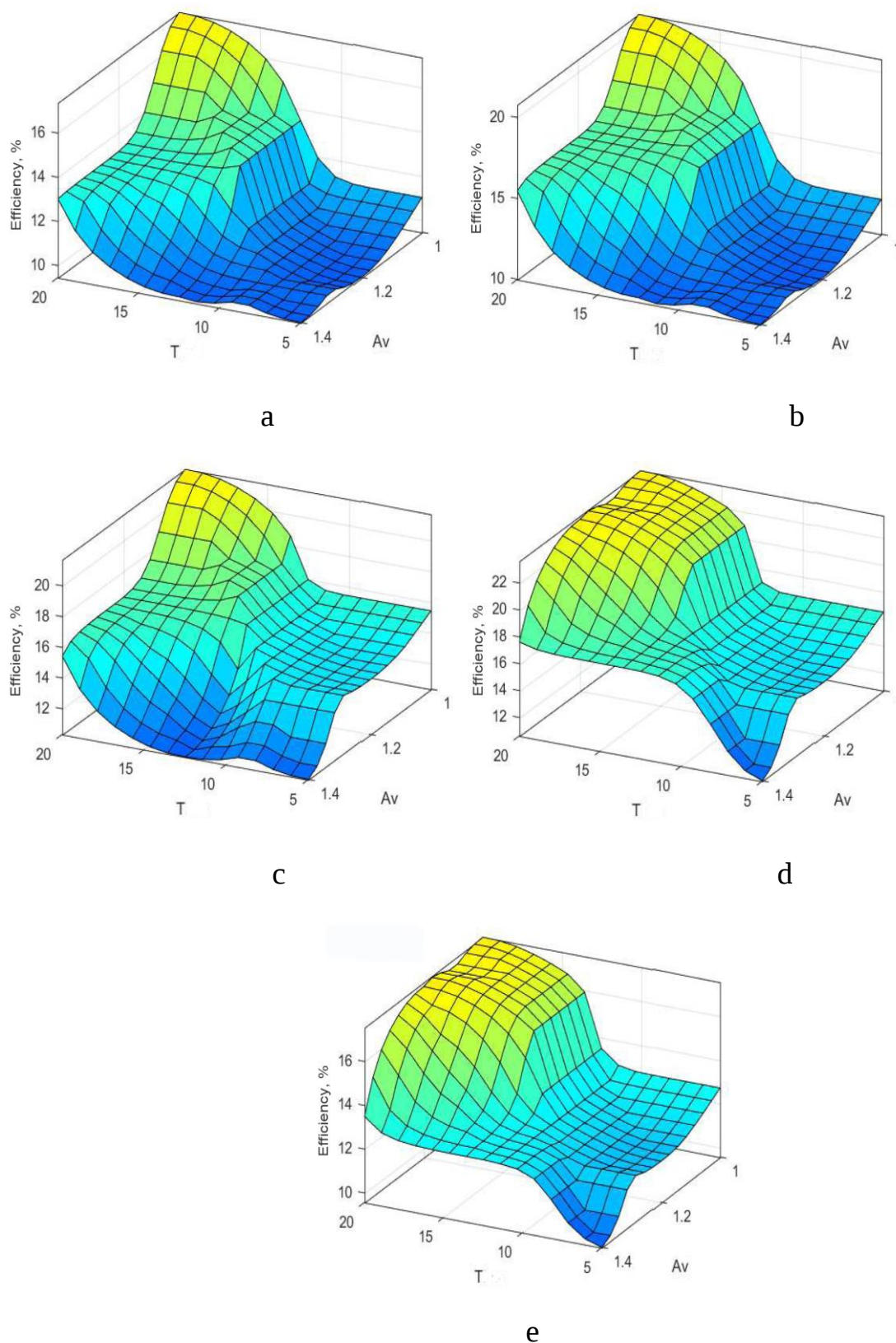


Рис. 5.2. Прогностичні моделі впливу часу і аномалії в'язкості на ефективність процесу очищення для анілоксів:

a – лініатурою 400 лін/см; b – лініатурою 340 лін/см; c – лініатурою 220 лін/см;
d – лініатурою 200 лін/см; e – лініатурою 120 лін/см

Таблиця 5.3

Результати розрахунку ефективності процесу очищення анілоксу

Лініатура анілоксу, лін/см	Час очищення анілоксу, хв.	Аномалія вязкості, од.	Ефективність, %
120	18	1,3	14,2
120	10	1,4	12,3
200	18	1,3	19,1
200	10	1,4	16,4
220	18	1,3	15,7
220	10	1,3	10,7
340	18	1,4	14,3
340	10	1,3	10,2

Як підсумок, сформовану нечітку базу знань перевірено при моделюванні за допомогою системи Fuzzy Logic Toolbox технологічного розрахункового середовища Matlab за алгоритмом Мамдані з дефазифікацією за принципом «Center of gravity» [152].

Використання розроблених прогностичних моделей у перспективі дозволить виконувати зворотну задачу, а саме: прогнозувати зменшення тривалості очищення анілоксів залежно від їх лініатури і здатності друкарської фарби до структурування, що, в свою чергу, дозволить встановити оптимальну тривалість процесу, знизити енерговитрати флексографічного виробництва, що лежить у концепції стратегії сталого розвитку.

5.2. Встановлення пріоритетності факторів якості процесу флексографічного друку методом ранжування

Як було зазначено вище, процес флексографічного друку паковань спиртовими фарбами можна розглядати як сукупність елементів, що перебувають у певних співвідношеннях і зв'язках один з одним, взаємодіють між

собою і створюють певну цілісність – систему. В розділі 1 було встановлено фактори, що визначають якість процесу флексографічного друку спиртовими фарбами.

Одним із інструментів побудови вихідного інформаційного поля при аналізі процесів є семантична мережа. Використання такої семантичної моделі дозволяє наочно описати основні процедури процесу, ідентифікуючи фактори впливу, відношення між ними, та забезпечити належний рівень їх формалізації для наступного дослідження відповідним математичним апаратом.

Сукупністю факторів, що визначають якість флексографічного процесу, є множина $F = (f_1, f_2, f_3 \dots f_n)$. Сукупність факторів F та можливі зв'язки між ними представлені у вигляді семантичної мережі (орієнтованого графа). Вершини графа вказують на наявність елементів множини, а дуги з'єднують ці вершини відповідно до встановлених зв'язків. Фактори, як елементи семантичної мережі (рис. 5.3) розміщено з врахуванням етапів формування фарбового шару на відбитках [102].

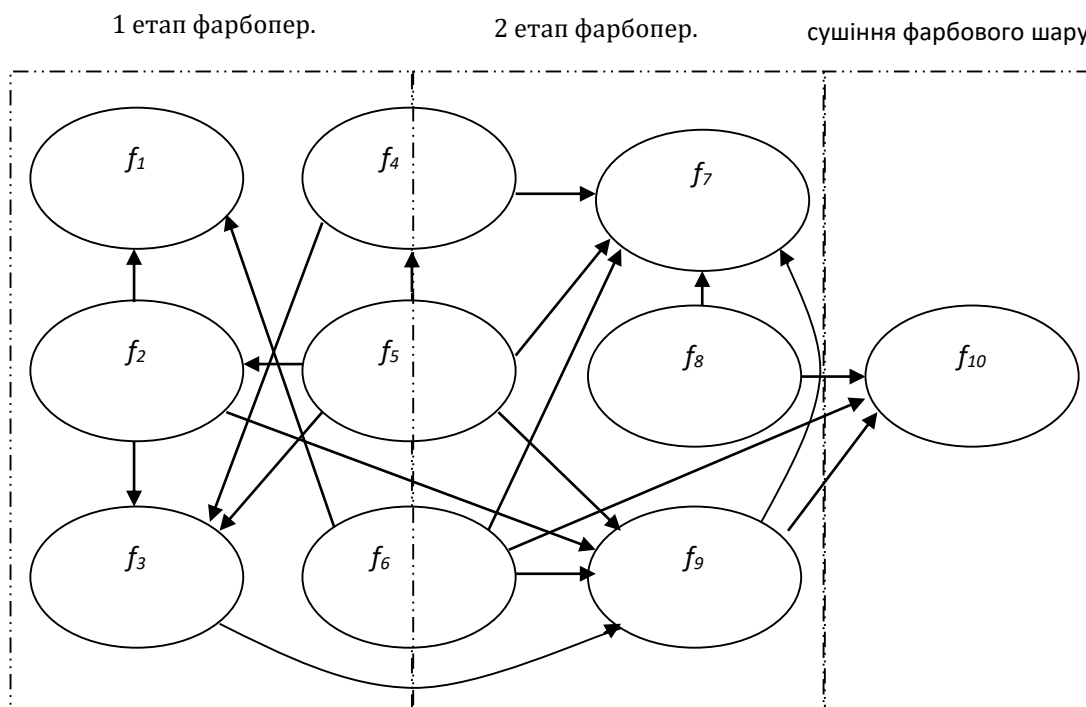


Рис. 5.3. Етапи формування фарбового шару і орієнтований граф факторів якості процесу флексографічного друку спиртовими фарбами

Таким чином, фактори f_4 – вид липкої стрічки, f_5 – параметри фотополімерної друкарської форми, f_6 – реологічні параметри фарби беруть участь у двох стадіях формування шару фарби.

Для встановлення важливості всіх факторів у процесі флексографічного друку гнучких пакувань спиртовими фарбами використаємо метод ранжування [152]. Спершу кількість обчислених впливів і залежностей для кожного з факторів схематично показано в таблиці 5.4. На основі семантичної мережі (рис. 5.3) для кожного з факторів будуються часткові графічні моделі, що показують ієрархію впливів або залежностей між факторів. Ці часткові моделі (рис. 5.4) також будуть вхідною базою числових значень для кількісної оцінки та визначення їх важливості.

Таблиця 5.4

Кількість впливів і залежностей факторів

фактори	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}
впливи	0	3	1	1	5	4	0	2	2	0
залежності	2	1	3	1	0	0	5	0	4	3

Загальна вага і ранг факторів із урахуванням прямих і непрямих впливів і залежностей розраховується таким чином:

Для нашої семантичної мережі встановлені наступні умови [153]:

- Нехай k_{ij} – кількість впливів ($i=1$ – прямих і $i=2$ – непрямих) або залежностей ($i=3$ – прямих, $i=4$ – непрямих) для j -го фактора ($j=1, \dots, n$); w_i – вага i -го типу.
- Фактору, який не має зв'язків, присвоюється значення нуль.

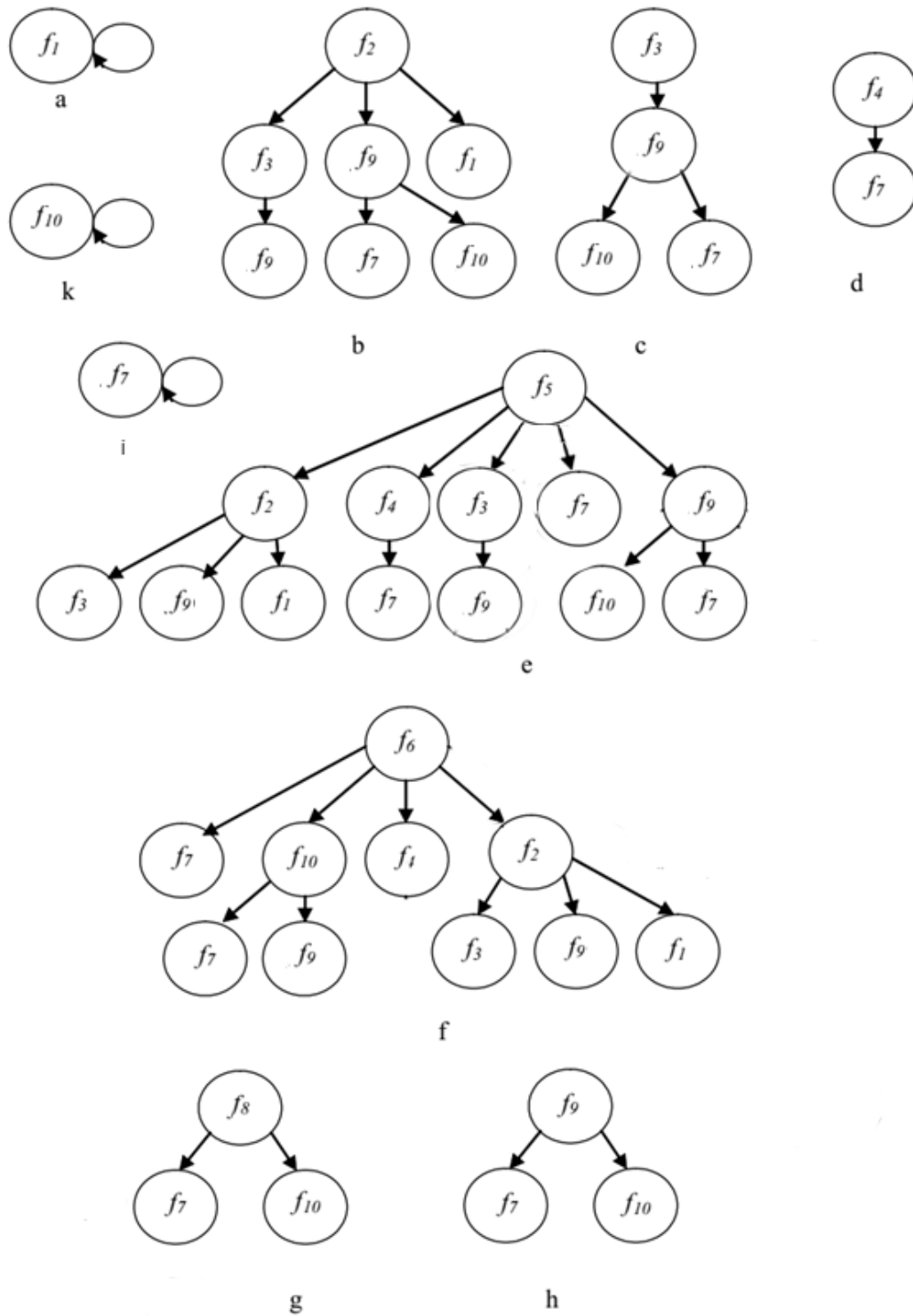


Рис. 5.4. Графічні моделі впливу факторів процесу флексографічного друку (а – к)

3. Умовні значення вагових коефіцієнтів прямого та непрямого впливів в умовних одиницях є наступними: $w_1 = 10$, $w_2 = 5$, $w_3 = -10$, $w_4 = -5$;

4. Загальні значення ваги позначаються S_{ij} :

$$S_{ij} = k_{ij} w_i \quad (i=1,2,3,4; j=1,\dots,n), \quad (5.5)$$

де n – номер фактору.

5. Для семантичних мереж (рис. 5.3) з огляду на (5.5) отримано формулу для розрахунку сумарних значень ваги для кожного фактора:

$$S_{ij} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^{10} k_{ij} w_i \quad (5.6)$$

6. Значення ваги $S_{3j} < 0$ і $S_{4j} < 0$, оскільки відповідно до заданих початкових умов $w_3 < 0$ і $w_4 < 0$.

7. Щоб звести сумарні вагові значення фактора з найменшим пріоритетом до нуля, а решту до додатного значення, формулу (5.6) перетворюємо у вигляд:

$$S_{Fj} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^{10} k_{ij} w_i + P, \quad (5.7)$$

$$\text{де } P = \max |S_{3j}| + \max |S_{4j}|$$

Коефіцієнти k_{1j} визначаються прямими впливами. Залежності визначаються шляхом отримання коефіцієнтів k_{3j} . Комбіноване врахування непрямих впливів або залежностей фактора (тобто впливу або залежності від інших факторів) визначає коефіцієнти k_{2j} і k_{4j} .

Результати розрахунків формують таблицю з подальшим встановленням рангів факторів (табл. 5.5).

При визначенні загальної ваги та факторів ранжирування враховуються як прямі, так і непрямі впливи та залежності для кожного з них [153].

Аналізуючи семантичну мережу, для кожного фактору можна розрахувати чотири коефіцієнти, які будуть характеризувати всі варіанти співвідношення між ними.

Таблиця 5.5

Розрахункові дані коефіцієнтів і ранжування факторів

Номер фактора j	k_{1j}	k_{2j}	k_{3j}	k_{4j}	S_{1j}	S_{2j}	S_{3j}	S_{4j}	S_{Fj}	Ранг фактора r_j
f_1	0	0	2	1	0	0	-20	-5	45	7
f_2	3	3	1	0	30	15	-10	0	105	3
f_3	1	2	3	1	10	10	-30	-5	55	6
f_4	1	1	1	0	20	5	-10	0	85	5
f_5	5	6	0	0	50	30	0	0	150	1
f_6	4	2	0	0	40	10	0	0	120	2
f_7	0	0	5	4	0	0	-50	-20	0	10
f_8	2	0	0	0	20	0	0	0	90	4
f_9	2	0	4	4	20	0	-40	-20	30	8
f_{10}	0	0	3	3	0	0	-30	-15	25	9

Як видно з таблиці 5.5, значення P (формула 5.7) буде отримано із суми числових значень $\max|S_{3j}|=50$; $\max|S_{4j}|=20$ і становитиме 70 од. У результаті отримуємо кількісну вагу факторів, яка є основою для встановлення відповідного рангу для кожного з них, що еквівалентно пріоритетності їх впливу на процес флексографічного друку пакувань спиртовими фарбами.

5.3. Побудова прогностичної моделі впливу факторів за допомогою інструментів нечіткої логіки

За допомогою емпіричного правила Парето вибираються найважливіші фактори, які визначають 70% якості процесу флексографічного друку. Як видно з рис. 5.5, це будуть наступні фактори:

f_5 – параметри фотополімерної друкарської форми;

f_6 – реологічні параметри фарби;

f_2 – тип анілоксового вала;

f_8 – властивості поверхні задрукованого матеріалу.

Отримавши чотири виділені фактори, проаналізовано їх вплив на якість технологічного процесу флексографічного друку паковань. Враховуючи те, що отримана в опитуванні інформація про вплив факторів на процес характеризується нечіткістю, для її аналізу використовуються основи нечіткої логіки.

Якість процесу флексографічного друку Q залежить від пріоритетних факторів, представлених у вигляді лінгвістичних змінних, таких як параметри фотополімерної друкарської форми (PP), тип анілоксового вала (AN), реологічні параметри фарби (VI) та властивості поверхні задрукованого матеріалу (SP):

$$Q = f(PP, AN, VI, SP) \quad (5.8)$$

Ці лінгвістичні змінні, які забезпечують якість процесу флексографічного друку та умови оцінки, наведено в таблиці 5.6.

У результаті експертна база знань, яка відповідає процесу флексографічного друку на найвищому рівні, може бути представлена наступним чином:

якщо (PP = низька) або (PP = середня) або (PP = висока)

і (AN = низька) або (AN = середня) або (AN = висока)

і (VI = низька) або (VI = середня) або (VI = висока)

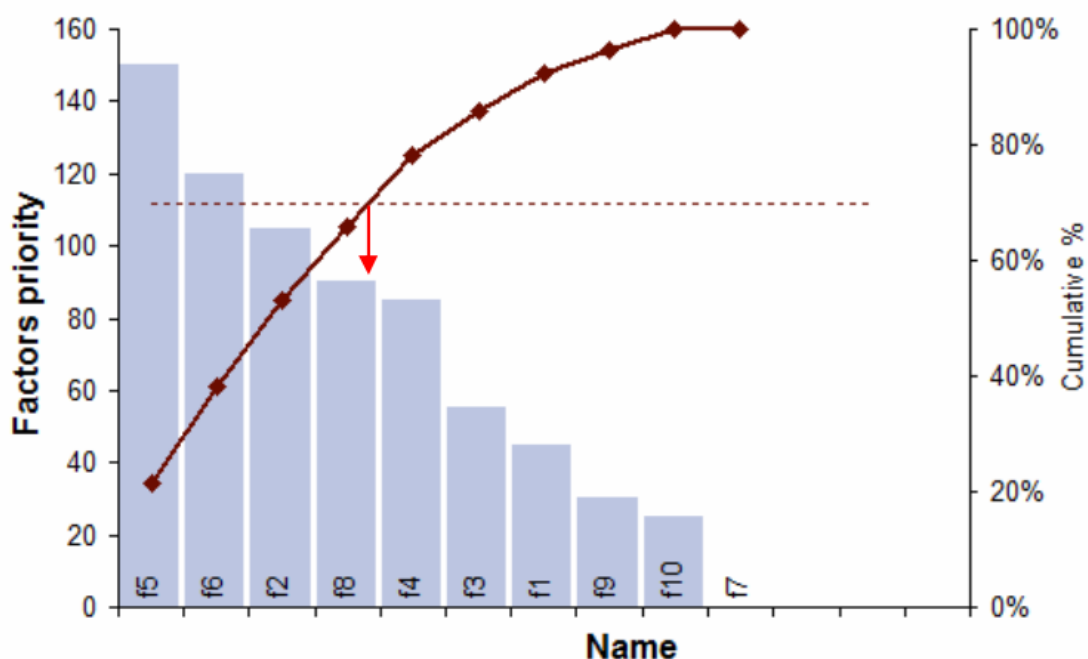


Рис. 5.5. Діаграма виокремлення факторів за правилом Парето

Таблиця 5.6

Лінгвістичні змінні факторів, які впливають на якість флексографічного друку

№з/п	Змінні	Універсальна множина	Умови оцінювання
1	Параметри фотополімерної друкарської форми (лініатура)	46-54 лін/см	Низька
			Середня
			Висока
2	Параметри анілоксового вала (лініатура)	250-420 лін/см	Низька
			Середня
			Висока
3	Реологічні характеристики фарби (в'язкість)	16-20 с	Низька
			Середня
			Висока
4	Поверхневі властивості задруковуваних матеріалів (поверхнева енергія)	34-40 мН/м	Низька
			Середня
			Висока

і (SP = низька) або (SP = середня) або (SP = висока)

то (Q = низька) або (Q = середня) або (Q = висока)

На основі технічних рекомендацій щодо факторів впливу на якість флексографічного друку побудовано функції належності (рис. 5.6). Відповідно, як універсальну множину визначаємо значення змінної «Параметри фотополімерної друкарської форми (лініатура)»: $u_1 = 46$ л/см; $u_2 = 48$ л/см; $u_3 = 50$ л/см; $u_4 = 52$ л/см; $u_5 = 54$ л/см (рис. 5.6, г). Для лінгвістичної оцінки цього параметра використовується набір нечітких термів: $T(x) = \langle \text{Низька, Середня, Висока} \rangle$. Відповідно до цих термів отримано функції належності лінгвістичної змінної «Параметри фотополімерної друкарської форми (лініатура)». Значення змінної у вигляді нечітких множин виглядає наступним чином:

$$\text{Лініатура друкарської форми низька} = \left(\frac{1}{46}; \frac{0,90}{48}; \frac{0,67}{50}; \frac{0,33}{52}; \frac{0,11}{54} \right), \text{ лін/см};$$

$$\text{Лініатура друкарської форми середня} = \left(\frac{0,11}{46}; \frac{0,67}{48}; \frac{1}{50}; \frac{0,67}{52}; \frac{11}{54} \right), \text{ лін/см};$$

$$\text{Лініатура друкарської форми висока} = \left(\frac{0,11}{46}; \frac{0,33}{48}; \frac{0,67}{50}; \frac{0,90}{52}; \frac{1}{54} \right), \text{ лін/см}.$$

Для лінгвістичної змінної «Тип анілоксового вала (лініатура)» визначено параметри як універсальної множини: $u_1 = 250$ л/см; $u_2 = 300$ л/см; $u_3 = 340$ л/см; $u_4 = 370$ л/см; $u_5 = 420$ л/см (рис. 5.6, в). Для оцінки змінної використовується набір нечітких термів: $T(y) = \langle \text{Низька, Середня, Висока} \rangle$. Отже, відносно даного параметра, відповідно до цих термів значення змінної у вигляді нечітких множин отримуємо таким чином:

$$\text{Лініатура анілоксового вала низька} = \left(\frac{1}{250}; \frac{0,78}{300}; \frac{0,55}{340}; \frac{0,33}{370}; \frac{0,11}{420} \right), \text{ лін/см};$$

$$\text{Лініатура анілоксового вала середня} = \left(\frac{0,11}{250}; \frac{0,55}{300}; \frac{1}{340}; \frac{0,55}{370}; \frac{11}{420} \right), \text{ лін/см};$$

$$\text{Лініатура анілоксового вала висока} = \left(\frac{0,11}{250}; \frac{0,33}{300}; \frac{0,55}{340}; \frac{0,78}{370}; \frac{1}{420} \right), \text{ лін/см}.$$

Для лінгвістичної змінної «Реологічні параметри фарби (в'язкість)» параметр визначено як універсальну множину: $u_1 = 16$ с; $u_2 = 17$ с; $u_3 = 18$ с; $u_4 = 19$ с; $u_5 = 20$ с (рис. 5.6, б). Для оцінки змінної використовується набір нечітких

термів: $T(z) = \langle \text{Низька, Середня, Висока} \rangle$. Отже, відносно даного параметра, відповідно до цих термів значення змінної у вигляді нечітких множин отримуємо таким чином:

$$\text{В'язкість низька} = \left(\frac{1}{16}; \frac{0,88}{17}; \frac{0,55}{18}; \frac{0,33}{19}; \frac{0,11}{21} \right), \text{ с};$$

$$\text{В'язкість середня} = \left(\frac{0,11}{16}; \frac{0,55}{17}; \frac{1}{18}; \frac{0,55}{19}; \frac{0,11}{21} \right), \text{ с};$$

$$\text{В'язкість висока} = \left(\frac{0,11}{16}; \frac{0,33}{17}; \frac{0,55}{18}; \frac{0,88}{19}; \frac{1}{21} \right), \text{ с}.$$

Лінгвістична змінна «Властивості поверхні задрукованого матеріалу (поверхнева енергія)», як ще один фактор якості друкарського процесу, визначена як універсальна множина: $u_1 = 34$ мН/м; $u_2 = 36$ мН/м; $u_3 = 38$ мН/м; $u_4 = 40$ мН/м; $u_5 = 42$ мН/м (рис.5.6, а). Для лінгвістичної оцінки параметра використовується набір нечітких термів: $T(r) = \langle \text{Низька, Середня, Висока} \rangle$.

Різні значення змінної «Властивості поверхні задрукованого матеріалу (поверхнева енергія)» представлені у вигляді нечітких множин:

$$\text{Поверхнева енергія низька} = \left(\frac{1}{34}; \frac{0,88}{36}; \frac{0,55}{38}; \frac{0,33}{40}; \frac{0,11}{42} \right), \text{ мН/м};$$

$$\text{Поверхнева енергія середня} = \left(\frac{0,11}{34}; \frac{0,55}{36}; \frac{1}{38}; \frac{0,55}{40}; \frac{0,11}{42} \right), \text{ мН/м};$$

$$\text{Поверхнева енергія висока} = \left(\frac{0,11}{34}; \frac{0,33}{36}; \frac{0,55}{38}; \frac{0,88}{40}; \frac{1}{42} \right), \text{ мН/м}.$$

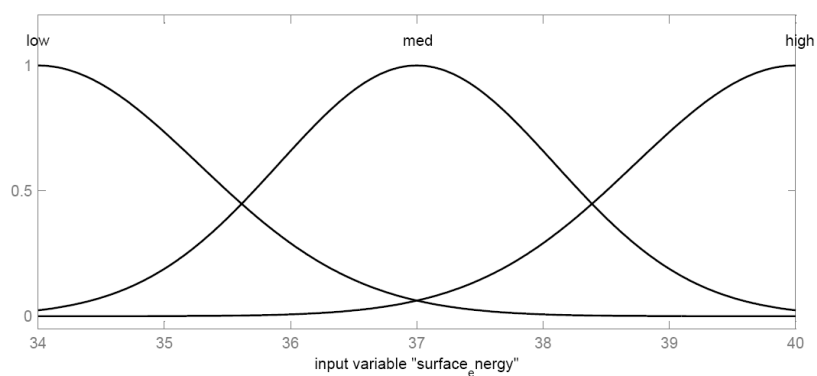
Формується нечітка база знань за обраними параметрами якості процесу флексографічного друку спиртовими фарбами:

1. Для терму якості флексографічного друку «Низька»:

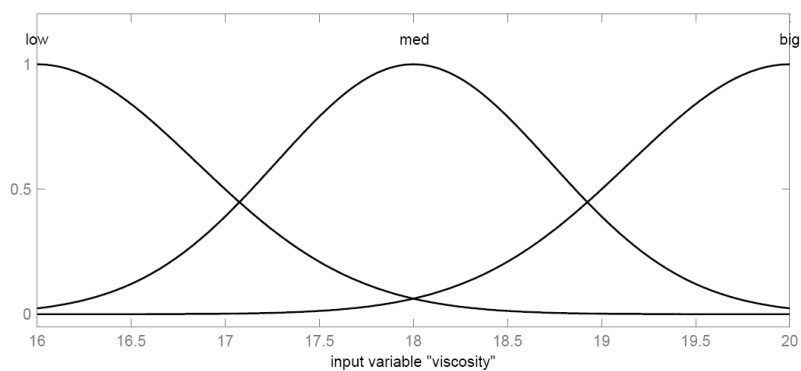
- Якщо «PP» — «Низька», «AN» — «Середня», «VI» — «Середня», «SP» — «Висока»

або

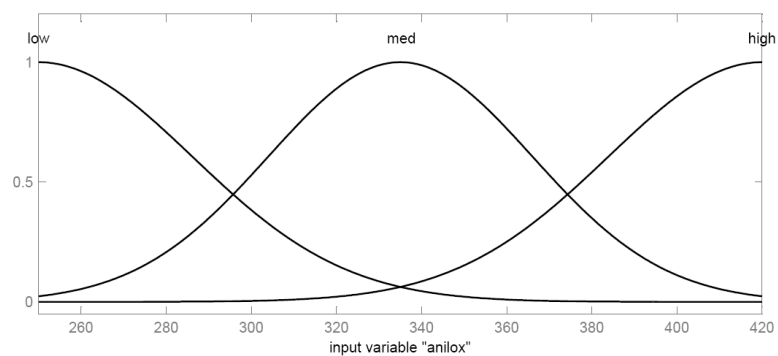
- Якщо «PP» — «Середня», «AN» — «Низька», «VI» — «Висока», «SP» — «Низька», тоді Q — «Низька»



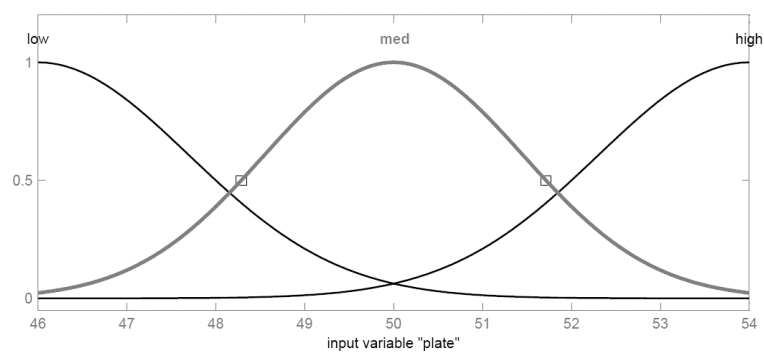
a



б



в



г

Рис. 5.6. Функції належності лінгвістичних змінних:

а – поверхнева енергія задрукованого матеріалу; б – в'язкість фарби; в – лініатура анілоксового вала; г – лініатура друкарської форми

2. Для терму якості флексографічного друку «Середня»:

- Якщо «PP» — «Середня», «AN» — «Середня», «VI» — «Середня», «SP» — «Середня»

або

- Якщо «PP» — «Середня», «AN» — «Висока», «VI» — «Висока», «SP» — «Висока», тоді Q — «Середня»

3. Для терму якості флексографічного друку «Висока»:

- Якщо «PP» — «Висока», «AN» — «Висока», «VI» — «Низька», «SP» — «Висока», тоді Q — «Висока»

або

- Якщо «PP» — «Висока», «AN» — «Висока», «VI» — «Середня», «SP» — «Висока», тоді Q — «Висока».

Відповідно до бази знань формуються нечіткі логічні рівняння для прогностичного варіанту якості друкарського процесу гнучкого пакування (рис. 5.7):

$$\begin{aligned}
 \mu^{low}(Q) &= \mu^{low}(PP) \wedge \mu^{med}(AN) \wedge \mu^{med}(VI) \wedge \mu^{high}(SP) \vee \mu^{med}(PP) \wedge \mu^{low}(AN) \wedge \mu^{big}(VI) \wedge \mu^{low}(SP); \\
 \mu^{med}(Q) &= \mu^{med}(PP) \wedge \mu^{med}(AN) \wedge \mu^{med}(VI) \wedge \mu^{med}(SP) \vee \mu^{med}(PP) \wedge \mu^{high}(AN) \wedge \mu^{big}(VI) \wedge \mu^{med}(SP); \\
 \mu^{high}(Q) &= \mu^{high}(PP) \wedge \mu^{high}(AN) \wedge \mu^{low}(VI) \wedge \mu^{high}(SP) \vee \mu^{high}(PP) \wedge \mu^{high}(AN) \wedge \mu^{med}(VI) \wedge \mu^{high}(SP).
 \end{aligned} \tag{5.9}$$

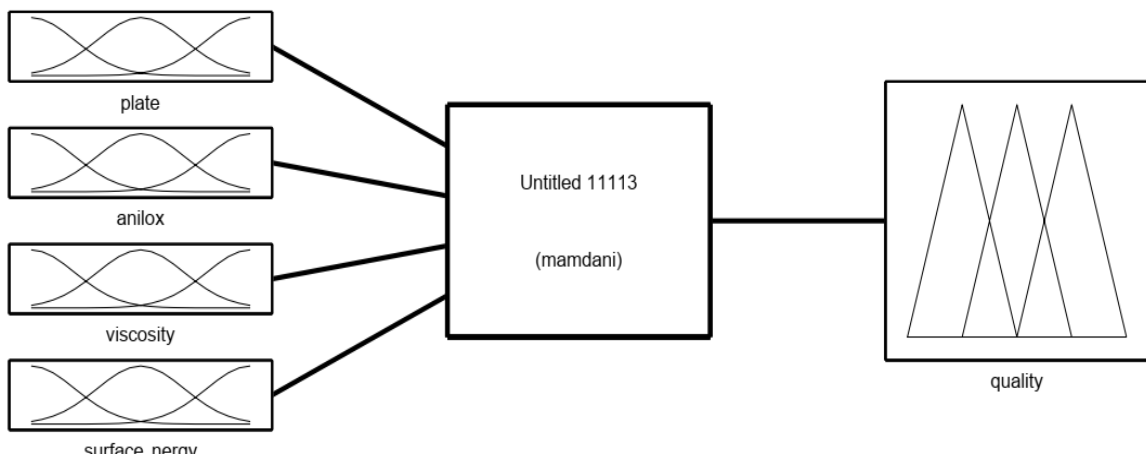


Рис. 5.7. Схема логічного формування якості
друкарського процесу гнучкого пакування

При підстановці ступенів належності до системи нечітких логічних рівнянь отримуємо один із варіантів розрахунку якості процесу флексографічного друку паковань:

$$\mu^{low} = 0,33 \wedge 0,78 \wedge 0,55 \wedge 0,88 \vee 0,67 \wedge 0,22 \wedge 0,88 \wedge 0,33 = 0,33$$

$$\mu^{med} = 0,67 \wedge 0,78 \wedge 0,55 \wedge 0,55 \vee 0,67 \wedge 0,89 \wedge 0,88 \wedge 0,55 = 0,55$$

$$\mu^{high} = 0,9 \wedge 0,89 \wedge 0,55 \wedge 0,88 \vee 0,9 \wedge 0,89 \wedge 0,89 \wedge 0,9 = 0,89$$

Після виконання операції дефазифікації за принципом «центр ваги» з використанням значень факторів отримуємо числове значення параметра якості процесу флексографічного друку [154]:

$$Q = f(PP, AN, VI, SP) = \frac{\sum_{i=1}^m u_i \cdot \mu(u_i)}{\sum_{i=1}^m \mu(u_i)} \quad (5.10)$$

Виконавши операцію дефазифікації, отримуємо кількісний параметр якості процесу:

$$Q = \frac{1 \cdot 0,33 + 50 \cdot 0,55 + 100 \cdot 0,89}{0,33 + 0,55 + 0,89} = 66,0\%$$

Для перевірки сформованої бази знань та побудови прогностичної моделі впливу пріоритетних факторів використовується пакет для розробки систем нечіткого керування – система Fuzzy Logic Toolbox технологічного розрахункового середовища Matlab та принцип Мамдані [155], що дає можливість побудувати функції належності для трьох лінгвістичних змінних (рис.5.8).

Результати моделювання (рис. 5.9) показують адекватність розробленої бази знань та можливість її використання для прогнозування якості процесу флексографічного друку при виборі вагомості пріоритетних факторів.

В результаті моделювання впливу факторів пріоритетності флексографічного друку з використанням нечіткої логіки сформована база знань і нечітких логічних рівнянь для обчислення функцій належності лінгвістичних змінних з відповідними заданими термами. Їх логічний аналіз та операція

дефазифікації дозволили отримати кількісну оцінку якості процесу флексографічного друку [156].

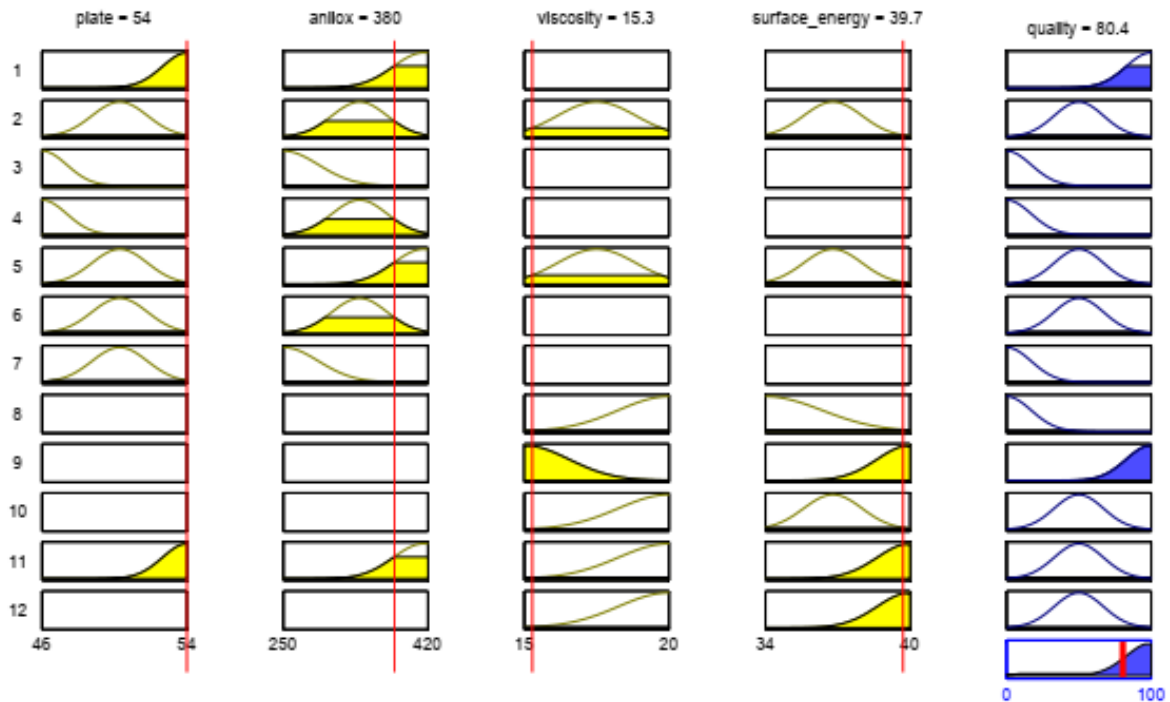


Рис. 5.8. Інтерфейс системи Fuzzy Logic Toolbox розрахункового середовища Matlab із графічним відображенням логічних рівнянь

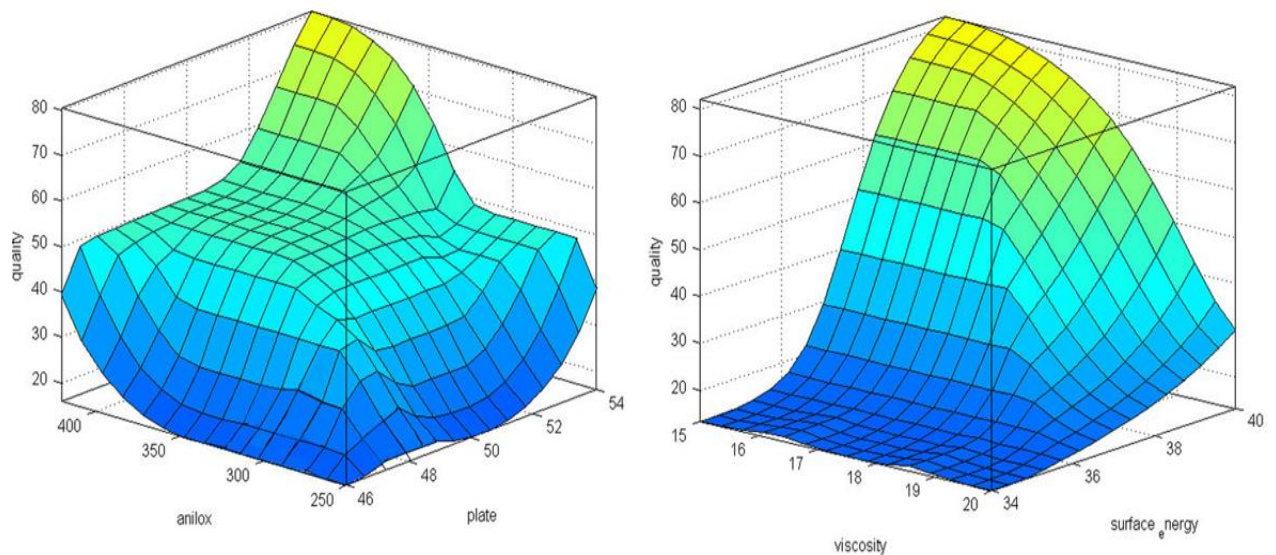


Рис. 5.9. Прогностичні моделі впливу виокремлених факторів на процес флексографічного друку пакувань з високолінійним зображенням:

а – вплив параметрів анілоксного вала та друкарської форми;

б - вплив в'язкості друкарської фарби та поверхневої енергії основи

Крім того, в системі Fuzzy Logic Toolbox технологічного обчислювального середовища Matlab побудовано прогностичні моделі впливу параметрів друкарської форми, анілоксового вала, в'язкості друкарської фарби та поверхневої енергії, які дають змогу спрогнозувати якість процесу флексографічного друку з використанням спиртових фарб.

Висновки до розділу 5

1. Побудова моделей впливу та залежності факторів якості процесу очищення анілоксів і методу ранжування дозволили встановити пріоритетність факторів за їх кількісною вагою.

2. Проведений аналіз з використанням експертно-лінгвістичної інформації, побудова функцій належності факторів процесу очищення анілоксових валів як лінгвістичних змінних уможливили розробку прогностичної моделі впливу тривалості процесу і аномалії в'язкості фарб на ефективність процесу очищення анілоксових валів різної лініатури.

3. Використання принципу Парето та побудова відповідної діаграми уможливили виокремити чотири основні фактори, вплив яких забезпечує 70 % якості процесу флексографічного друку, а саме, встановлено, що найбільш пріоритетними факторами є параметри друкарської форми, реологічні параметри фарби, лініатура анілоксового вала та властивості поверхні матеріалу, який задруковується, з такими розрахунковими значеннями: 150, 120, 105 і 90 одиниць відповідно.

4. Моделювання впливу пріоритетних факторів флексографічного друку з використанням нечіткої бази знань, виконання умови «якщо-тоді», формування нечітких логічних рівнянь для обчислення функцій належності лінгвістичних змінних з відповідними заданими термами дозволили кількісно оцінити якість процесу флексографічного друку гнучких паковань та побудувати прогностичну модель, що відкриває можливості прогнозування якості цього процесу.

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні розв'язано актуальну науково-прикладну задачу вдосконалення технології флексографічного друку гнучких паковань спиртовими фарбами шляхом: дослідження впливу режимів мікрорастрівання поверхні друкуючих елементів фотополімерних форм на якісні показники відбитків з встановленням оптимального режиму; дослідження адгезійної взаємодії на двох етапах друкарського контакту; розроблення методу оцінювання ступеня очищення комірок анілоксових валів різної лініатури; дослідження впливу характеристик анілоксових валів на якість друкарських відбитків; визначення факторів і пріоритетності їх впливу на якість технологічних процесів вимивання анілоксових валів і флексографічного друку паковань і побудови прогностичних моделей, що уможливило обґрунтоване використання методів якісного друкування гнучких паковань із забезпеченням енергоефективності і ресурсоощадливості.

При цьому отримано такі нові результати:

1. Інноваційні рішення у технологіях виробництва флексографічних друкарських форм зробили можливим отримувати не тільки друкарські форми з високою роздільною здатністю і контрольованою за розміром растровою точкою, але й керувати друкуючими елементами форми, з точки зору сприймання та передавання друкарської фарби, на двох етапах контакту в фарбово-друкарській системі: анілоковий вал – друкарська форма і друкарська форма – задруковуваний матеріал, що зробило флексографічний друк конкурентоздатним у порівнянні з офсетним і глибоким способами друку, усунувши притаманні у минулому недоліки флексографії.

2. Вперше запропоновано модель технологічного процесу флексографічного друку гнучких паковань, яка включає фактори процесу як сукупність елементів, що перебувають у певній взаємодії один з одним і створюють цілісну систему, що уможливило провести аналіз процесу з точки зору наявності відповідних методів контролю, узгоджених з відповідними

стандартами, і встановити пріоритетність впливу факторів на якість технологічного процесу.

3. Вперше розроблено метод кількісного оцінювання ступеня очищення комірок анілоксового вала, який дозволяє встановити відмінності у стані (відкритості) комірок анілоксових валів з різною лініатурою з візуалізацією у вигляді нечітких термів «достатньо», «посередньо» і «погано», що уможливило використати отримані результати для вихідного параметру якості при створенні моделі прогнозування ефективності процесу очищення анілоксових валів.

4. Виявлено значний вплив як на фарбопередачу у друкарському контакті системи «анілоксовий вал – фарба – друкарська форма», так і на процес очищення анілоксових валів, здатності друкарської фарби до структурування, що визначає реологічну властивість фарби – аномалію в'язкості, яка для фарб СМУК знаходиться в межах 1,02-1,18 од, а для білої – 1,4 од.

5. Проведеними дослідженнями встановлено, що адгезійна взаємодія фарб з поверхнею друкарських елементів є змінною внаслідок зниження у процесі друкування тиражу величини поверхневої енергії фотополімерних форм на 3 мН/м, що пояснюється взаємною дифузією органічних розчинників фарби і компонентів фотополімерної композиції з наступною зміною кількості активних функціональних груп на поверхні форми.

6. Встановлено вплив лініатури анілоксових валів і їх фарбоємності на оптичні показники друкарських відбитків, отриманих як тріадними, так і пантоними фарбами. Збільшення лініатури анілоксових валів на 20 лін/см при незмінному об'ємі комірки пропорційно знижує оптичну щільність відбитків приблизно на 0,1 у.о., що дає можливість оперувати даними показниками за рахунок правильного вибору анілоксового вала з відповідними характеристиками.

7. Враховуючи встановлений вплив аномалії в'язкості друкарської фарби, часу очищення анілоксових валів на ефективність процесу і використання засад нечіткої логіки, а саме: експертно-лінгвістичної інформації для побудови функцій належності цих факторів, створення нечіткої бази знань з виконанням

умови «якщо-тоді» дозволило побудувати прогностичні моделі при очищенні анілоксів з лініатурами від 120 до 400 лін/см і кількісно розрахувати ефективність процесу очищення анілоксів.

8. Використанням методу ранжування і правила Парето встановлено наступні пріоритетні фактори процесу флексографічного друку гнучких паковань: параметри друкарської форми, реологічні параметри фарби (аномалія в'язкості), лініатура анілоксового вала та властивості поверхні матеріалу з розрахунковими значеннями: 150, 120, 105 і 90 од. відповідно, які сумарно забезпечують 70% якості досліджуваного технологічного процесу.

9. Представлення пріоритетних факторів у вигляді лінгвістичних змінних з термами оцінювання на відповідних універсальних множинах уможливило сформулювати функції належності, нечітку базу знань з виконанням умови «якщо-тоді», нечіткі логічні рівняння і провести дефазифікацію нечітких значень, що дозволили кількісно оцінити якість процесу флексографічного друку гнучких паковань та побудувати прогностичну модель. Для одного з варіантів отримано кількісне значення якості процесу флексографічного друку паковань – 66%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Flexible Packaging Market Companies, Size and Growth Rate.
URL: <http://www.towardspackaging.com/insights/flexible-packaging-market> (дата звернення: 05.01.2025).
2. The Future of Flexographic Printing to 2027. URL: <http://www.smithers.com/services/market-reports/printing/the-future-of-flexographic-printing-to-2027> (дата звернення: 05.01.2025).
3. Репета В.Б., Кукура Т.Ю. Прогнозування міграції шкідливих компонентів УФ-фарби при експлуатації віддрукованих пакувань. Якість та безпечність товарів : VI Міжнар. наук.-прак. конф. молод. учених та студ., 13 травня 2022 р. Луцьк, 2022. С.47-49.
4. Flexographic Printing Machine Market Outlook (2022-2032). URL: <http://www.futuremarketinsights.com/reports/flexographic-printing-machine-market> (дата звернення: 05.01.2025).
5. Репета В.Б., Шибанов В.В., Кукура Т.Ю. Фотополімеризаційноздатний адгезив для «холодного» тиснення фольгою на флексографічних відбитках. Modern Advances in Organic Synthesis, Polymer Chemistry and Food Additives : Internatnal Scientific Online Conference, December 7-8 2021 / НУ«ЛП». Львів, 2021. С.21.
6. Ярема С.М. Флексографія. Обладнання, технологія. Київ : Либідь, 1998. 312 с.
7. Шибанов В.В. Фотополімеризаційноздатні матеріали : підручник. Львів : Ін-т інновац. технологій та змісту освіти, УАД, 2008. 216 с.
8. Crouch J.P. Flexography Primer. Pittsburgh : GATF Press, 1998. 192 p.
9. Никируй В.Е., Маїк В.З. Технологічні можливості СтР-пристроїв привиготовленні флексографічних друкарських форм. Комп'ютерні технології друкарства. 2012. №28. С. 311-317.

10. Pat. US20080261028A1, B41M5/24, Ablatable elements for making flexographic printing plates / Michael T. Regan, David B. Bailey, Christine J. Landry-Coltrain; Miraclon Corp. App. 2007.04.23. Publ. 2008.10.23.
11. Technic des Flexodrucks/ hrsg. K.-H. Meyer. St. Gallen: Coating. 1999. 394 p.
12. HD Flexo Technologies. URL: http://flexoplatemakers.com/wp-content/uploads/2018/08/ESKO_Technologies_IanHole.pdf (дата звернення: 05.01.2025).
13. Tatiana Bozhkova, A. Ganchev and Jana Kisova Optimizing HD Flexo for Different Plate Technologies and Substrates. International Circular of Graphic Education and Research. 2014. №7. pp. 44-53. URL: https://www.internationalcircle.net/wp-content/uploads/2022/01/ICJ_07_2014_04_080.pdf (дата звернення: 05.01.2025).
14. Gu P., Tian Q., Liu,Y., Gong Y. Study of High-Definition (HD)—Flexo Halftoning Based on the Region Growth and Segmentation Algorithm (RGSA) / Advances in Graphic Communication, Printing and Packaging Technology and Materials, 2021. pp. 316–320. DOI: 10.1007/978-981-16-0503-1_46.
15. HD Flexo - Full HD Flexo: The new quality standards for flexo printing URL: http://www.digiprint.pl/gallery/download/Esko_FullHDFlexo_US.pdf (дата звернення: 05.01.2025).
16. Маїк Л. Я., Ковальський Б. М., Голубник Т. С., Занько Н. В., Писанчин Н. С., Дослідження сучасних технологій виготовлення флексографічних форм. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Інновації : монографія. Харків : ТОВ «Друкарня Мадрид», 2022. С. 83-92.
17. Full HD Flexo. Application and Implications of Full High-Definition URL: [https://www.pac.gr/bcm/uploads/full-hd-flexo-whitepaper-us-\(1\).pdf](https://www.pac.gr/bcm/uploads/full-hd-flexo-whitepaper-us-(1).pdf) (дата звернення: 05.01.2025).
18. Кулинченко М.П., Зубченко М.Г., Чабан М.А., Чеботарева И.Б. Технология Flat Top Dots в изготовлении флексографских печатных форм. Бионика Интеллекта. 2016. №1(86). С.149-154.

19. Let's Talk About Flexo Plates by Jason Cagle, MacDermid Graphic Solutions. URL: <http://www.flexoglobal.com/blog-articles/2019/macdermid-01-lets-talk-about-flexo-plates.html> (дата звернення: 05.01.2025).
20. Козік О. М. Технологія «Full HD Flexo». Методика порівняння властивостей друкарських форм. Переваги і недоліки нових технологій Технологія і техніка друкарства. 2015. Вип.2(48). С.113-120.
21. LUX Laminator. URL: <https://graphics.macdermid.com/products/equipment/sheet-photopolymer-equipment/lux-laminator> (дата звернення: 05.01.2025).
22. MacDermid extends benefits of LUX Flat-Top Dot technology at drupa. URL: <http://flexotechmag.com/news/19442/macdermid-extends-benefits-of-lux-flat-top-dot-technology-at-drupa/> (дата звернення: 05.01.2025).
23. Kodak flexo plates: more than 6 reasons to choose them. URL: <http://www.flexo24.com/international/flexography-magazine/kodak-flexo-plates-more-than-6-reasons-to-choose-them.html> (дата звернення: 05.01.2025).
24. Pat. US7799504B2, G03F1/68, Mask film to form relief images and method of use/ Gregory L. Zwadlo, David E. Brown, Elsie A. Fohrenkamm, A. Peter Stolt; Eastmen Kodak Co. App. 2007.06.05. Publ. 2008.12.11.
25. Пат. US7802598B2, G03F7/2014, Lamination device method for flexographic plate manufacturing /Gregory L. Zwadlo, Peter A. Stolt, Christopher G. Staudt, Christopher M. Muir, Bradley S. Bush, Randy E. Armbruster; Eastmen Kodak Co. App. 2010.05.14. Publ. 2008.09.02.
26. Kodak Squarespot Imaging Technology. URL: <http://www.kodak.com/en/print/page/squarespot-imaging-technology> (дата звернення: 05.01.2025).
27. DuPont launches Cyrel DigiFlow interactive brochure. URL: <http://www.labelsandlabeling.com/news/latest/dupont-launches-cyrel-digiflow-interactive-brochure> (дата звернення: 07.01.2025).
28. DuPont Cyrel DigiFlow. URL: <http://www.rsd.kiev.ua/formne-vyrobnytstvo/dupont-cyrel-digiflow/> (дата звернення: 07.01.2025).

29. Pat. EP2748678A1, G03F7/202, Method for preparing a relief printing form / Edmund Francis Schieffer Jr., Marcia Jungran Chou; Du Pont de Nemours and Co. Appl. 2012.08.23. Publ. 2014.07.02.
30. Pat. EP2 888631A1, G03F7/20, Method for preparing a relief printing form / Edmund Francis Schieffer Jr. Mark R. Mazur; Du Pont de Nemours and Co. App. 2013.02.21. Publ. 2015.07.01.
31. Bozhkova T. Ts., Spridonov I., Ganchev A., Boeva- Spridonova R. Bulgarian Studies of technologies for exposing photopolymer plates in a controlled atmosphere and their application on a corrugated post print. Chemical Communications. 2017. Vol.49, pp. 163 – 168.
32. Pat. WO2019226737A1, A flexographic printing form having microcell patterns on surface / Bradley K. Taylor, Scott W. Rickard; Du Pont de Nemours and Co. Appl. 2019.05.22. Publ. 2019.11.28.
33. DuPont Packaging Graphics Installs Newest Flexographic Exposure System at Color Ad. URL: <http://www.flexography.org/industry-news/dupont-packaging-graphics-installs-newest-flexographic-exposure-system-color-ad/> (дата звернення: 07.01.2025).
34. nyloflex NExT technology URL: <http://www.flintgrp.com/en/products/flexographic/nyloflex-next/> (дата звернення: 07.01.2025).
35. Pat. EP3047336B1, B41C1/00, Digitally exposable flexographic printing element and method for producing flexographic printing plates / Uwe Stebani, Armin Becker, Matthias Beyer, Denis Riewe, Andreas Reifschneider; Flint Group Germany GmbH. Appl. 2014.09.18. Publ. 2016.07.27.
36. Pat. US9671695B2, G03F7/202, Process of manufacturing flexographic printing forms / Peter Fronczkiewicz, Armin Becker; Flint Group Germany GmbH. Appl. 2014.07.14. Publ. 2017.06.06.
37. Технология плоской точки nyloflex NExT URL: <http://www.niilt.kharkov.com/pages/tehnologija-ploskoj-tochki-nyloflex-next.html> (дата звернення: 07.01.2025).

38. Industry news nyloflex FTM Digital flexo plate is new. URL: <http://www.thepackagingportal.com/industry-news/nyloflex-ftm-digital-flexo-plate-is-new/> (дата звернення: 07.01.2025).
39. Asahi launches new flexo corrugated plate. URL: [http://www.nessancleary.co.uk/asahi-launches-new-flexo-corrugated-plate/Asahi-launches new flexo corrugated plate/](http://www.nessancleary.co.uk/asahi-launches-new-flexo-corrugated-plate/Asahi-launches-new-flexo-corrugated-plate/) (дата звернення: 07.01.2025).
40. Smit J. High tech technology – that’s flexo plates today. Flexotech. 2014. URL: <http://www.flexotechmag.com/key-articles/20525/high-tech-technology-that-s-flexo-plates-today/> (дата звернення: 07.01.2025).
41. Flexo printing troubleshooting guide URL: <http://www.tesa.com/tr-tr/files/download/11248561,2,tesa-flexo-printing-troubleshooting-guide.pdf> (дата звернення: 07.01.2025).
42. Flexography: Principles and Practices 6.0. Flexographic Technical Association Foundation of Flexographic Technical Association, 2013. 610 p.
43. Shape, Volume, Count: Standard Anilox Specifications in Flexographic Packaging. URL: <http://www.flexography.org/industry-news/shape-volume-count-standard-anilox-specifications-in-flexographic-packaging/> (дата звернення: 07.01.2025).
44. Release the ink: choosing your anilox. Flexo Tech. 2014. URL: <http://www.flexotechmag.com/key-articles/20517/release-the-ink-choosing-your-anilox/> (дата звернення: 07.01.2025).
45. Wang H., Wang Y., Wang H. and M. Yang Key technologies on YAG laser engraving ceramic anilox roll. International Conference on Electrical and Control Engineering. 2011. pp. 221-224. DOI: 10.1109/ICECENG.2011.6057515.
46. Franz M. How are modern Anilox rolls produced and with what degree of accuracy? URL: http://www.terolabsurface.com/uploads/document/file/512/tlsanilox_rolls_article.pdf (дата звернення: 07.01.2025).
47. Bruning S. Laser engraving of ceramic anilox rollers. Flexo & Gravure. 2007. №3. pp.88-89.
48. Sean Smyth All in the geometry. Flexo Tech. 2020. №4. pp. 17-18.

49. From Art to Science: The Evolution of the Anilox URL: <http://www.pamarco.com/from-art-to-science-the-evolution-of-the-anilox/> (дата звернення: 07.01.2025).
50. Harper Corp's Platinum XLT anilox engraving technology. URL: <http://www.labelsandlabeling.com/news/latest/harper-corps-platinum-xlt-anilox-engraving-technology> (дата звернення: 07.01.2025).
51. LaserKote. URL: <http://harpercorporation.com/AniloxRolls/LaserKote/product-7> (дата звернення: 07.01.2025).
52. XD Engraved Ceramic Anilox Roll. URL: <http://harpercorporation.com/AniloxRolls/XDW-Engraved-Ceramic-Anilox-Roll/product-82> (дата звернення: 07.01.2025).
53. XVR. URL: <http://www.harperimage.com/AniloxRolls/XVR/product-6> (дата звернення: 07.01.2025).
54. High Opacity White (HOW). URL: <http://sandonglobal.com/print-technique/narrow-web/high-opacity-white/> (дата звернення: 07.01.2025).
55. Sandon Global. URL: <http://www.sandonglobal.com/print-technique/wide-web/#printCap> (дата звернення: 07.01.2025).
56. MaxFlo. The Evolutionary Anilox roll. URL: <http://cheshireanilox.co.uk/product/maxflo/> (дата звернення: 07.01.2025).
57. TwinFlo. Smooth laydown of heavy coat weights. URL: <http://cheshireanilox.co.uk/product/twinflo/> (дата звернення: 07.01.2025).
58. ProFlo: High Precision Engraving For HD Plate Technology. URL: <http://cheshireanilox.co.uk/product/proflo/> (дата звернення: 07.01.2025).
59. Pegasus. URL: <http://ums.net.au/product/pegasus/> (дата звернення: 07.01.2025).
60. E-Cell. URL: <https://ums.net.au/product/e-cell/> (дата звернення: 07.01.2025).
61. Anilox Rolls & Sleeves. URL: <https://www.praxairsurfacetechologies.com/en/solutions-for-your-industry/printing-and-converting?tab=products> (дата звернення: 07.01.2025).

62. Results every time the press rolls. URL: <http://praxairsurfacetechologies.com/en/solutions-for-your-industry/printing-and-converting/flexography> (дата звернення: 07.01.2025).
63. Laser engraved anilox rolls. URL: <http://apexinternational.com/product/gtt-laser-engraved-anilox-rolls/> (дата звернення: 07.01.2025).
64. Кукура Ю. А., Кукура В. В., Репета В. Б., Баран Н.В. Дослідження технологічних особливостей застосування анілоксів GTT-гравіювання у виробничих умовах. Наукові записки УАД. 2019. №2.(59). С.11-21.
65. Consistency is the key with GTT. FlexoTech. URL: <http://www.flexotechmag.com/key-articles/20519/consistency-is-the-key-with> (дата звернення: 07.01.2025).
66. Apex upgrades GTT anilox technology, introducing GTT. FlexoTech. URL: <http://www.flexotechmag.com/news/18779/apex-upgrades-gtt-anilox-technology-introducing-gtt-2-0/> (дата звернення: 07.01.2025).
67. INOMETA – our new generation of anilox rollers and anilox sleeves. URL: <http://www.inometa.de/news/inometa-our-new-generation-of-anilox-rollers-and-anilox-sleeves.html> (дата звернення: 07.01.2025).
68. Поленок Д.В., Вовк О.В. Дослідження параметрів сучасних анілоксових валів у флексографії. Print, Multimedia & Web. С.76-78. URL: <http://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/2e887c00-7353-474b-9597-3fa6de23eef9/content> (дата звернення: 07.01.2025).
69. Новітня плазмова технологія виготовлення анілоксового валу. URL: <http://www.iop.kiev.ua/ua/novtnya-plazmova-tehnologya-vigotovlennya-anloksovogo-valu/> (дата звернення: 07.01.2025).
70. Michal Lodej Engrave danger. Flexo Tech. 2019. №3. pp.17-18.
71. Michal Lodej Cell evolution. Flexo Tech. 2022. №3. pp.19-20.
72. Pat. US010160196B2, Method for manufacturing and regenerating a functional surface of an anilox sleeve or anilox roller for a printing machine and anilox sleeve or anilox roller with such functional surface / Franz-Josef Driller, Christopher Wasserman – No US 2016/0159072 A1; Appl. 2011.09.02. Publ. 2013.05.01.

73. Pat. EP2428361B1, B41F31/002, Anilox roller, particularly for flexographic printing machines / Agostino Pertile, Luigi Bertagna; Uteco SpA Flexo and Converting Machinery. Appl. 2011.09.02. Publ. 2013.05.01.
74. Репета В. Б. Інновації у флексографічному та глибокому друці (ракельні ножі фарбових систем). Упаковка. 2018. № 1. С. 35-37.
75. Izdebska J., Sabu T. Printing on Polymers. Fundamentals and Applications. Elsevier Inc., 2016. 417 p.
76. Черкашина Г. М., Авраменко В. Л., Підгорна Л. П. та ін. Технологія склеювання та герметизації : навчальний посібник. Харків, 2021. 199 с.
77. Corona treatment theory. URL: <http://www.pillartech.com/surface-treatment/how-treaters-work/useful-information> (дата звернення: 07.01.2025).
78. Marian Zenkiewicz Stanislaw Lutomirski Construction and operation of a corona-treating equipment for plastic film. Polimery. 2001. №46(4). pp.244-251.
79. Курта С.А., Курганський В.С. Хімія і технологія високомолекулярних сполук. Навчальний посібник. Івано-Франківськ, 2010. 291 с.
80. Carlos F. Jasso-Gastinel, José M. Kenny Modification of Polymer Properties. Elsevier Inc., 2017. 232 с.
81. Flame Treatment For Film Production. URL: <http://www.flametreaters.com/surface-flame-treatment-system/flame-treatment-for-industrial-sectors/flame-treatment-for-film-production/> (дата звернення: 07.01.2025).
82. J. Leon Shohet The Encyclopedia of Plasma Technology. CRC Press, 2016. 1728 p.
83. Sabu Thomas, Miran Mozetič, Uroš Cvelbar, Petr Špatenka, Praveen K.M. Non-Thermal Plasma Technology for Polymeric Materials. Elsevier, 2019. 480 p.
84. ALDYNE treatment solutions. URL: <http://www.softal.de/en/aldyne/> (дата звернення: 07.01.2025).
85. Collins W.M. Classical Review of Corona Treatment. Coextrusion Conference Proceedings. Atlanta: Tappi Press. 1983. P. 47.
86. Markgraf D.A. Ozone Decomposition in Corona Treatment. Polymers, Laminations and Coatings Conference Proceedings. Atlanta: Tappi Press. 1985. P. 227.

87. Markgraf D.A. Corona Treatment: An Overview. Coextrusion Conference Proceedings. Atlanta: Tappi Press. 1986. P. 85.
88. Zito W.F. Electrostatic Treatment of Films Watts the Answer? Paper Synthetics Conference Proceedings. Atlanta: Tappi Press. 1980. P. 181.
89. Markgraf D.A. Practical Aspects of Determining Level of Corona Treatment Film. Extrusion Conference Proceedings. Atlanta: Tappi Press. 1985. P. 65.
90. Barry Morris The Science and Technology of Flexible Packaging. Elsevier Inc., 2016. 744 p.
91. Кукура Ю.А., Кукура Т.Ю. Поліетилентерефталатні плівки у виробництві гнучкої упаковки. Наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. прац. і аспір. УАД, 18–21 лютого 2020 р. : тези доп. Львів, 2020. С.43.
92. Bidhan Das Effects of corona treatment on surface properties of co-extruded transparent polyethylene film. Polymer Engineering and Science. 2021. №6. pp.1449–1462.
93. Sina Ebnesajjad Surface treatment of materials for adhesive bonding. Elsevier Inc., 2014. 360 p.
94. Martina Lindner, Norbert Rodler, Marius Jesdinszki, Markus Schmid, Sven Sänglerlaub Surface energy of corona treated PP, PE and PET films, its alteration as function of storage time and the effect of various corona dosages on their bond strength after lamination. Journal of Applied Polymer Science. 2017. Vol. 135, Issue 11. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/action/doSearch?AllField=Surface+energy+of+corona+treated+PP%2C+PE+and+PET+films%2C+its+> (дата звернення: 07.01.2025).
95. Ali Bougharouat A Comparison of Polypropylene-Surface Treatment by AC Corona and Dielectric-Barrier Corona Discharges in the Air Proceedings. The Sixth International Symposium on Dielectric Materials and Applications (ISyDMA'6). 2022. pp.231-239.
96. Liping Ding, Xiaoyong Zhang, Yanqing Wang Study on the Behavior of BOPP Film Treated by Corona Discharge. Coatings. 2020. №10. P.1195. URL: <http://www.mdpi.com/2079-6412/10/12/1195> (дата звернення: 07.01.2025).

97. Why corona treatment? URL: <http://www.ferben.com/technology/why-corona-treatment.kl> (дата звернення: 07.01.2025).
98. Шибанов В.В., Репета В.Б., Кукура Ю.А. Влияние обработки поверхностей коронным разрядом на характер растекания УФ-лаков Флексоdruk-Ревю и специальные виды печати. 2003. №5. С.33-34.
99. Кукура Ю.А, Кукура В.В., Репета В.Б. Дослідження поверхневих властивостей поліпропіленових плівок у виробничих умовах. Поліграфія і видавнича справа. 2010. №1. С.107-111.
100. New Corona treater for fast coating line: 800 m/min. URL: <http://www.mero.it/news/new-corona-treater-for-fast-coating-line-800-mmin/> (дата звернення: 07.01.2025).
101. New Corona Treatment Systems URL: <http://www.shermantreaters.co.uk/new-systems.html> (дата звернення: 07.01.2025).
102. Кукура Т. Ю. Репета В. Б. Фактори якості процесу флексографічного друку паковань спиртовими фарбами. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології : VII Міжнар. наук.-техн. конф., 17-21 травня 2022 р./ ХНУРЕ. Харків, 2022. Т.1. С.36-37.
103. ASTM D1200-23 Standard Test Method for Viscosity by Ford Viscosity Cup. 2023. 4 p.
104. ISO 8296:2003. Plastics — Film and sheeting — Determination of wetting tension. 2003. 3 p.
105. ISO 12647-6:2020. Graphic technology — Process control for the production of half-tone colour separations, proofs and production prints — Part 6: Flexographic printing, Third edition. 2020. 21p.
106. ASTM F2252/F2252M-13(2018). Standard Practice for Evaluating Ink or Coating Adhesion to Flexible Packaging Materials Using Tape. 2018. 2 p.
107. BS 3110:1959. Methods for measuring the rub resistance of print. 1959. 12 p.
108. ASTM F2250-13. Standard Practice for Evaluation of Chemical Resistance of Printed Inks and Coatings on Flexible Packaging Materials. 2018. 3 p.

109. ISO 8295:1995. Plastics — Film and sheeting — Determination of the coefficients of friction. 1995. 8 p.
110. ASTM F2029-16(2021). Standard Practices for Making Laboratory Heat Seals for Determination of Heat Sealability of Flexible Barrier Materials as Measured by Seal Strength. 2021. 6 p.
111. DuPont™ Cyrel® Microflex 1320 Mounting Equipment. URL: <http://www.dupont.co.uk/content/dam/dupont/emea/gb/english/cyrel/public/documents/DuPont%E2%84%A2%20Cyrel%C2%AE%20Microflex%201320%20data%20sheet%20%E2%80%93%20EU-English.pdf> (дата звернення: 07.01.2025).
112. eXact Standard. URL: <http://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact> (дата звернення: 07.01.2025).
113. Adhesion Tape. URL: [http://www.europe.averydennison.com/fre/planets/RMCAkzo.nsf/v0900/STM2010S+-+Adhesion+-+Tape+resistance+_2_.pdf/\\$file/STM2010S+-+Adhesion+-+Tape+resistance+_2_.pdf](http://www.europe.averydennison.com/fre/planets/RMCAkzo.nsf/v0900/STM2010S+-+Adhesion+-+Tape+resistance+_2_.pdf/$file/STM2010S+-+Adhesion+-+Tape+resistance+_2_.pdf) (дата звернення: 07.01.2025).
114. Репета В.Б., Шибанов В.В. Матеріали і технології лакування поліграфічної продукції. Львів: УАД, 2011. 136 с.
115. Репета В.Б. Комп'ютерна програма "Аналіз кінетики розтікання рідин". Свідectvo про реєстрацію авторського права на твір №28766. Державний департамент інтелектуальної власності України. Дата реєстрації : 15.05.2009.
116. DIN 53211 1987-06 Bestimmung der Auslaufzeit mit dem DIN-becher. 1987. 5 p.
117. Leading Innovation in 3D Scanning Microscopes for Precise Surface and Print Inspection. URL: <https://www.troika-systems.com/> (дата звернення: 07.01.2025).
118. Кукура Ю. А., Репета В. Б., Кукура Т. Ю., Кукура В.В. Вплив режимів мікрорастровування флексографічних друкарських форм на якість відбитків. Наукові записки УАД. 2021. №2.(63). С.42-51.

119. Coating system dyne levels. URL: https://www.flexoconcepts.com/wp-content/uploads/2014/01/coating_system_dyne_levels.jpg (дата звернення: 07.01.2025).
120. Thompson K. Flame Surface Treatment-New Perspectives. Polymers, Laminations and Coatings Conference Proceedings. Atlanta: Tappi Press. 1984. P. 213.
121. Кукура Т.Ю. Дослідження властивостей термозбіжних поліетиленових плівок. Наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. прац. і аспір. УАД, 6–10 лютого 2023 р. : тези доп. Львів, 2023. С.64.
122. Кукура Ю.А., Кукура Т.Ю. Дослідження властивостей поліетиленових плівок : Тези доп. Наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. прац. і аспір. УАД. 2022. Львів. С.64.
123. Zimon A. D. Adhesion of Dust and Powder. New York: Plenum Press, 1982. 438 p.
124. ISO 2811-1:2023. Paints and varnishes Determination of density. Part 1: Pycnometer method. 2023. 10 p.
125. Кукура Т.Ю., Вархоляк В.І. Адгезійна взаємодія флексографічних фарб з поверхнею фотополімерних друкарських форм. Поліграфія і видавнича справа. 2024. №1.(87). С.133-139.
126. Кукура Т.Ю. Дослідження поверхневих властивостей друкарських елементів форм флексографічного друку. Наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. прац. і аспір. УАД, 5–9 лютого 2024 р. : тези доп. Львів, 2024. С.76.
127. ASTM D5946 – 09. Standard Test Method for Corona-Treated Polymer Films Using Water Contact Angle Measurements. 2025. 7 p.
128. Гургаль Н. С., Репета В. Б., Шибанов В. В. Зміна поверхневої енергії флексографічних фотополімерних форм у процесі їх виготовлення. Технологія і техніка друкарства. 2012. Вип. 1(35). С.164–168.
129. Кукура Т.Ю. Дослідження впливу характеристик анілоксових валів на якісні показники відбитків флексографічного друку. Поліграфія і видавнича справа. 2023. №1.(85). С.145-154.

130. Кукура Т.Ю., Кукура В.В. Дослідження процесу очищення анілоксових валів у виробничих умовах. Наукові записки УАД. 2024. №1.(68). С.153-160.
131. Gurgal N., Repeta V., Senkivsky V. Definition of Quality Criteria of the Technological process of Narrow Web UV-Printing. Graphic Engineering and Design. 2013. Vol. 4., No. 2. pp. 7-11.
132. Understanding the Anilox: Improve Performance Reliability While Reducing Waste. URL: <https://www.flexography.org/industry-news/anilox-improve-performance-reliability-reduce-waste/> (дата звернення: 07.01.2025).
133. Repeta V. Influence of Surface Energy of Polymer Films on Spreading and Adhesion of UV-Flexo Inks. Acta Graphica. 2013. № 3-4. pp.79-84.
134. A. Hamblyn, Effect of plate characteristics on ink transfer in flexographic printing. thesis, Swansea University. URL: <http://cronfa.swan.ac.uk/Record/cronfa42827> (дата звернення: 07.01.2025).
135. Dean Valdec, Petar Miljković, Darijo Čerepinko The Impact of Top Dot Shapes of the Printing Plate on Dot Formation in Flexography. Tehnicki Vjesnik. 2018. №25(2). pp.596-602. URL: http://www.researchgate.net/publication/324924934_The_Impact_of_Top_Dot_Shapes_of_the_Printing_Plate_on_Dot_Formation_in_Flexography (дата звернення: 07.01.2025).
136. R. Vest Flat-Top Dots for All: The Evolution of Flexo's Game-Changing Technology. URL: http://graphics.macdermid.com/application/files/9215/5136/8937/TAGA17_Vest_3-9-17.pdf (дата звернення: 07.01.2025).
137. Excellent quality of printing. URL: <http://multimedia.3m.com/mws/media/1569259O/flexo-catalogue.pdf>. (дата звернення: 07.01.2025).
138. Harper C. Anilox line screens – stabilizers of the ink film. G&K TechMedia GmbH. FLEXO & GRAVURE ASIA. 2005. №3. pp. 14-15.
139. Arnas Savickas, Rimantas Stonkus, Eugenijus Jurkonis Investigation of anilox roller cell clogging. Journal of Graphic Engineering and Design. Vol.11(2). 2020. pp.63-67. URL: https://www.researchgate.net/publication/347741073_Investigation_of_anilox_roller_cell_clogging (дата звернення: 07.01.2025).

140. D.C. Bould, S.M. Hamblyn, D.T. Gethin, T.C. Claypole Effect of impression pressure and anilox specification on solid and halftone density. Sage Journals. 2011. Vol.225, pp.699-709. URL: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/2041297510394072?journalCode=pibb> (дата звернення: 07.01.2025).
141. Repeta V. Innovations in flexographic and gravure printing (squeegee knives for ink systems). Packaging magazine. 2018. №1. pp. 35-37.
142. Ink transfer technology. dot gain and ink film thickness. URL: https://daetwyler.co.uk/wp-content/uploads/2021/12/ink_transfer_technology.pdf (дата звернення: 07.01.2025).
143. M.F.J. Bohan, P. Townsend, S. M. Hamblyn, T. C. Claypole, D. T. Gethin. Evaluation of Pressures in Flexographic Printing. Foundation of Flexographic Technical Association, Inc. 2003. URL: http://www.researchgate.net/profile/Tim-Claypole-2/publication/265409485_Evaluation_of_Pressures_in_Flexographic_Printing/links/54ccbb2a0cf298d6565ac1fa/Evaluation-of-Pressures-in-Flexographic-Printing.pdf (дата звернення: 07.01.2025).
144. E. Gencoglu. Influence of ink viscosity on dot gain and print density in flexography. Asian Journal of Chemistry. 2012. 24(5). pp.1999-2002. URL: http://www.researchgate.net/publication/289581789_Influence_of_Ink_Viscosity_on_Dot_Gain_and_Print_Density_in_Flexography/ (дата звернення: 07.01.2025).
145. Кукура Ю.А., Кукура В.В. Дослідження деяких параметрів друкарського процесу флексографічного друку у виробничих умовах. Наукові записки УАД. 2008. №1(13). С.106-109
146. Robert Olsson, Li Yang, Jan van Stam Magnus Lestelius. Effects of elevated temperature on flexographic printing. Journal of Print and Media Technology Research. 2007. Vol.34. pp. 85-91. URL: [http://jpmtr.org/Advances-Vol-34\(2007\)_online.pdf](http://jpmtr.org/Advances-Vol-34(2007)_online.pdf) (дата звернення: 07.01.2025).
147. Zuzanna Żółek-Tryznowska, Maciej Rombel, Georgij Petriaszwili, Sandra Dedijer, Nemanja Kašiković. Influence of Some Flexographic Printing Process Conditions on the Optical Density and Tonal Value Increase of Overprinted Plastic

- Films. Coatings. 2020, №10(9). pp. 1-12. URL: <http://www.mdpi.com/2079-6412/10/9/816> (дата звернення: 07.01.2025).
148. B. Durnyak, V. Senkivsky, I. Pikh. Information technology of prognostication and providing the quality of publishing and printing processes (methodology of problem solution). Technol. Complexes. 2014. №1(9), pp. 21-24.
149. V. Repeta, Yu. Kukura. Quantitative Evaluation of Quality of Flexographic Prints by Means of Fuzzy Logic. Acta Graphica. 2016. №1, pp. 39-46. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/> (дата звернення: 07.01.2025).
150. L.A. Zadeh. Is there a need for fuzzy logic? Information Sciences. 2008. №178. pp.2751–2779.
151. Vyacheslav Repeta, Tetiana Kukura, Yurii Kukura, Ihor Myklushka, Bohdan Durniak. Assessment and Prognostic Models of the Efficiency of Anilox Rollers Cleaning Process. CEUR Workshop Proceedings. 1st International Workshop on Advanced Applied Information Technologies (AdvAIT-2024). Khmelnytskyi, 2024. 10 p. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3899/paper4.pdf> (дата звернення: 07.01.2025).
152. V. Senkivsky, I. Pikh, N. Senkivska et al. Forecasting assessment of printing process quality. ISDMCI 2020: Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. Springer. pp 467-479.
153. Сеньківський В. М., Піх І. В., Мельников О. В. Поліграфія і видавнича справа. 2013. № 1-2. С. 33-41.
154. A. Rotshteyn. Intelligent identification technologies: fuzzy sets, neural networks, genetic algorithms. UNIVERSUM-Vinnytsya. 1999. P. 320.
155. E. Mamdani, S. Assilian. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International Journal of Man-Machine Studies. 1975. Vol.7, №1, pp. 1-13.
156. Vyacheslav Repeta, Tetiana Kukura, Volodymyr Havrylyshyn, Yurii Kukura. 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. 2023. №14.(3). С.37-44.

ДОДАТКИ

Опис роботи програмного застосунку

Програмний застосунок «AniTest» призначений для аналізу зображень, які отримані при 3D скануванні поверхні анілоксових валів пристроєм Aniscam (Troika Systems). Застосунок аналізує кольорові пікселі зображення і при визначенні пікселів червоного діапазону, робить їх заміну на пікселі білого кольору, після чого перетворює сині і зелені кольори зображення в пікселі чорного кольору та приводить підрахунок кількості чорних і білих пікселів, встановлюючи відсоток білих на зображенні. За заданих умови, лініатури анілоксового вала проводиться розрахунок і оцінювання ступеня очищення комірок анілоксового вала.

При запуску застосунку «AniTest» відкривається вікно, інтерфейс якого, показано на рис. 1.

Меню «Файл» вміщує опції «Відкрити»; це дозволяє завантажити необхідне цифрове зображення, що було отримане при скануванні поверхні анілоксового вала пристроєм Aniscam.



Рис. 1. Інтерфейс програмного застосунку «AniTest»

Опція «Зберегти кадр» дозволяє зберегти зображення після відповідної обробки. Опція «Закрити» завершує роботу програмного застосунку. На рис. 2 продемонстровано завантажене зображення, отримане попередньо на пристрої Anicam.

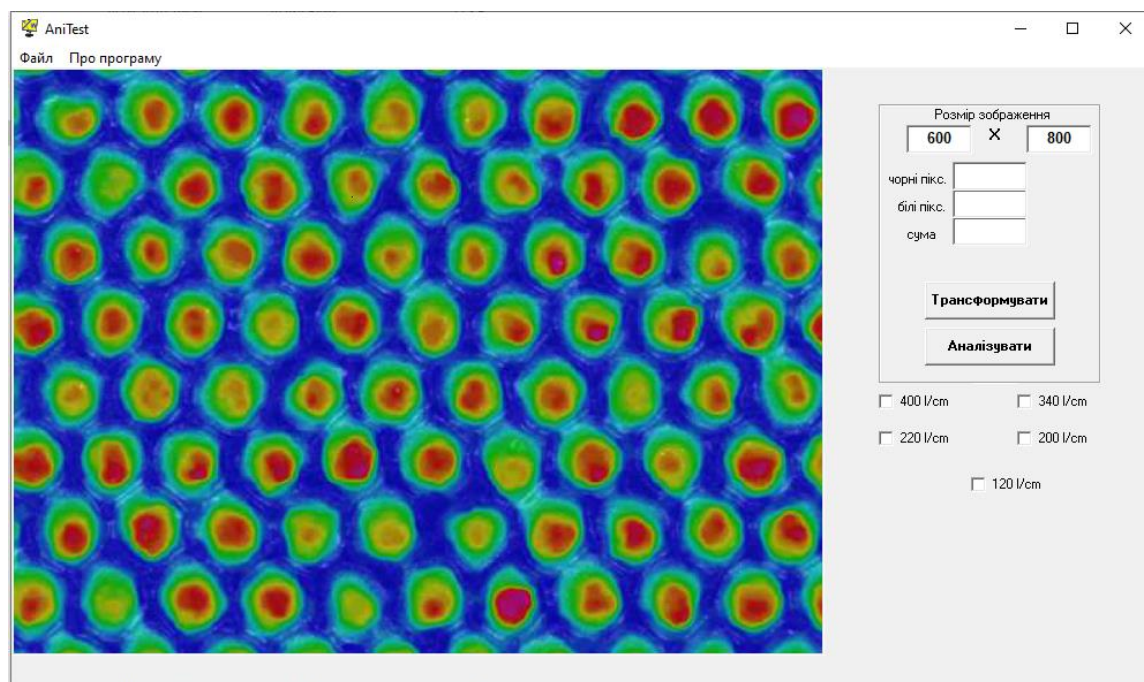


Рис. 2. Зображення, завантажене в застосунок для аналізу

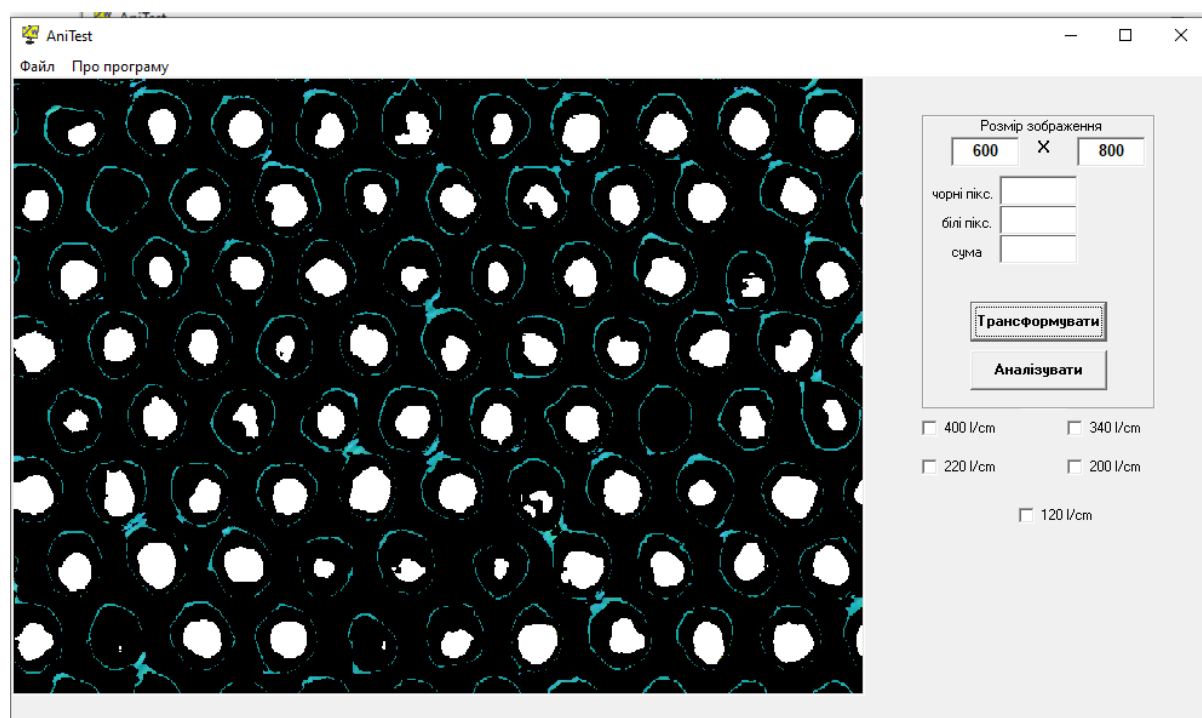


Рис. 3. Зображення після запуску команди «Трансформувати»

На панелі, розташованій у правій частині вікна програми, при виборі команди «Трансформувати» відбувається заміна кольорів. Червоно-жовті кольори замінюються на білі, а сині кольори – на чорні. Невизначені кольори зміни не підлягають і характеризують шуми цифрового зображення.

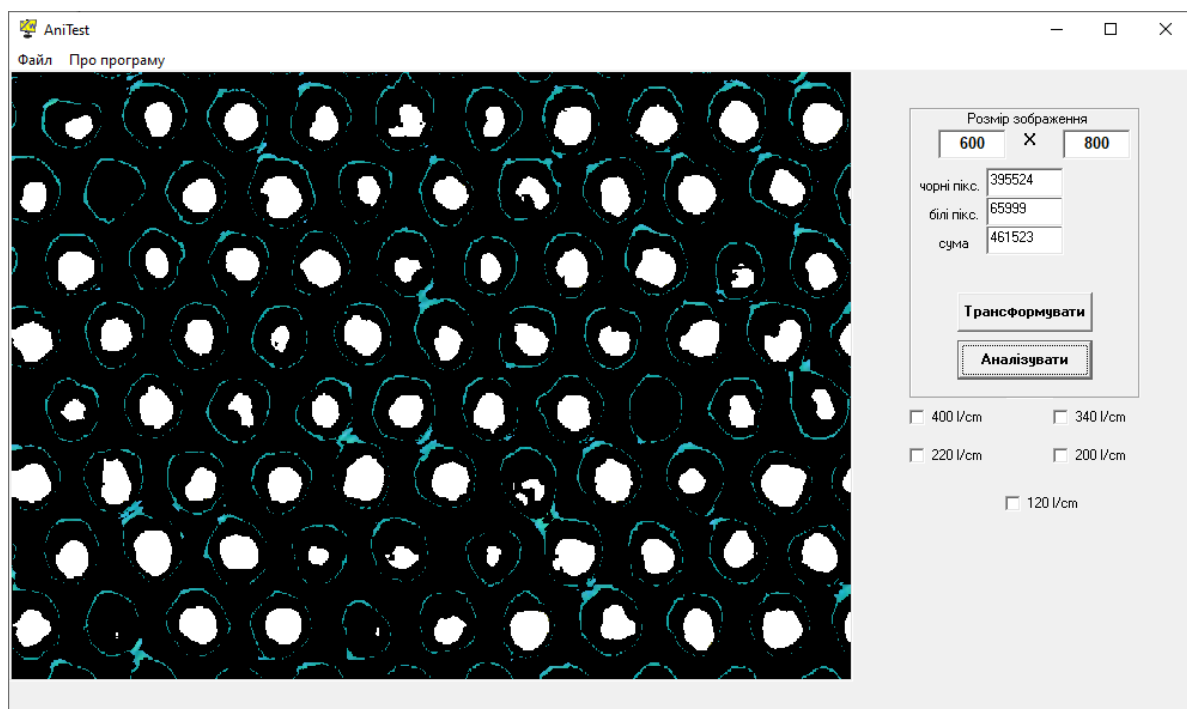


Рис.4. Трансформоване зображення з результатом підрахунку пікселів

При виборі команди «Аналізувати», програмний застосунок проводить підрахунок чорних і білих пікселів і виводом результатів у текстові блоки панелі (рис. 4).

Після підрахунку пікселів, для оцінювання стану комірок анілоксового валу необхідно здійснити на панелі вибір лініатури досліджуваного валу, після чого програмно буде проаналізовано пропорцію білих і чорних пікселів згідно з заданою умовою і видано результат. У випадку, зображеному на рис. 5, Результат: Посередньо, тобто операція вимивання валів пройшла «посередньо». Іншими варіантами може бути результат: «достатньо» і «погано».

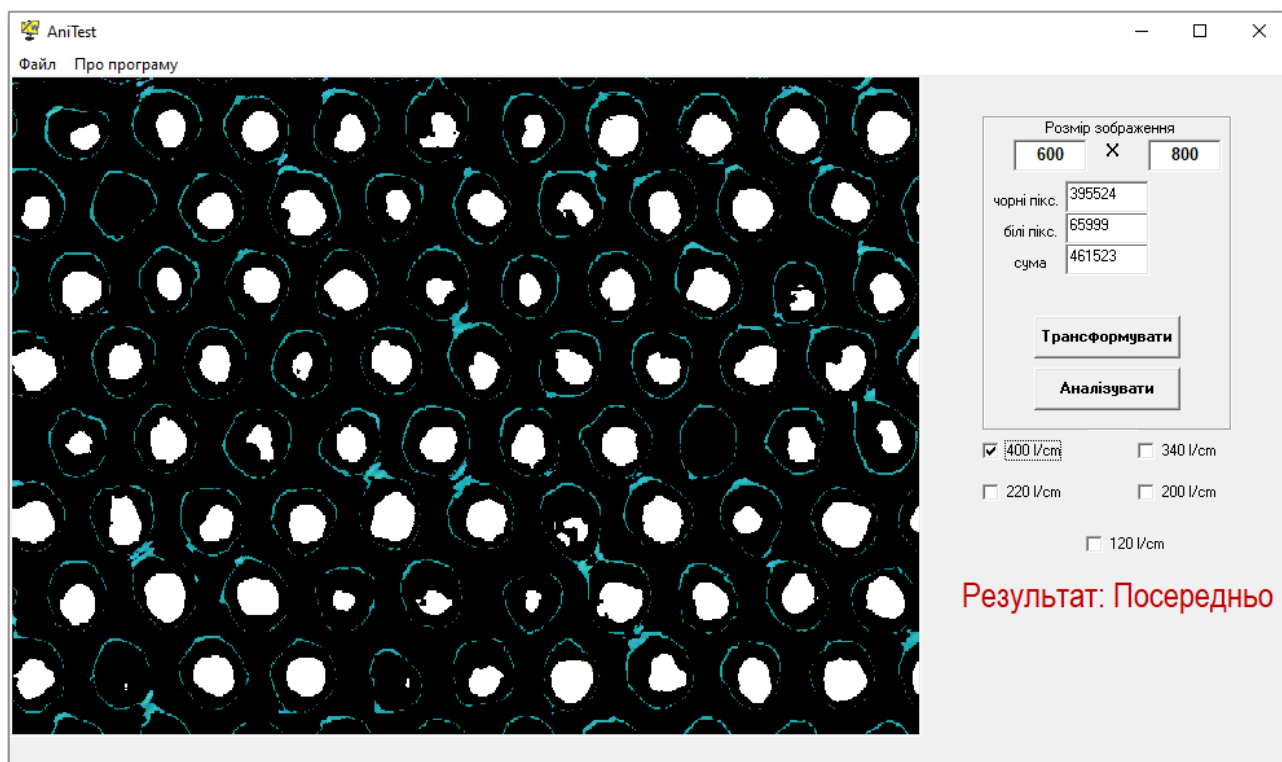


Рис. 5. Інтерфейс застосунку з отриманим результатом

Після чого можна зберегти оброблений кадр або завантажити наступне зображення (рис.6).

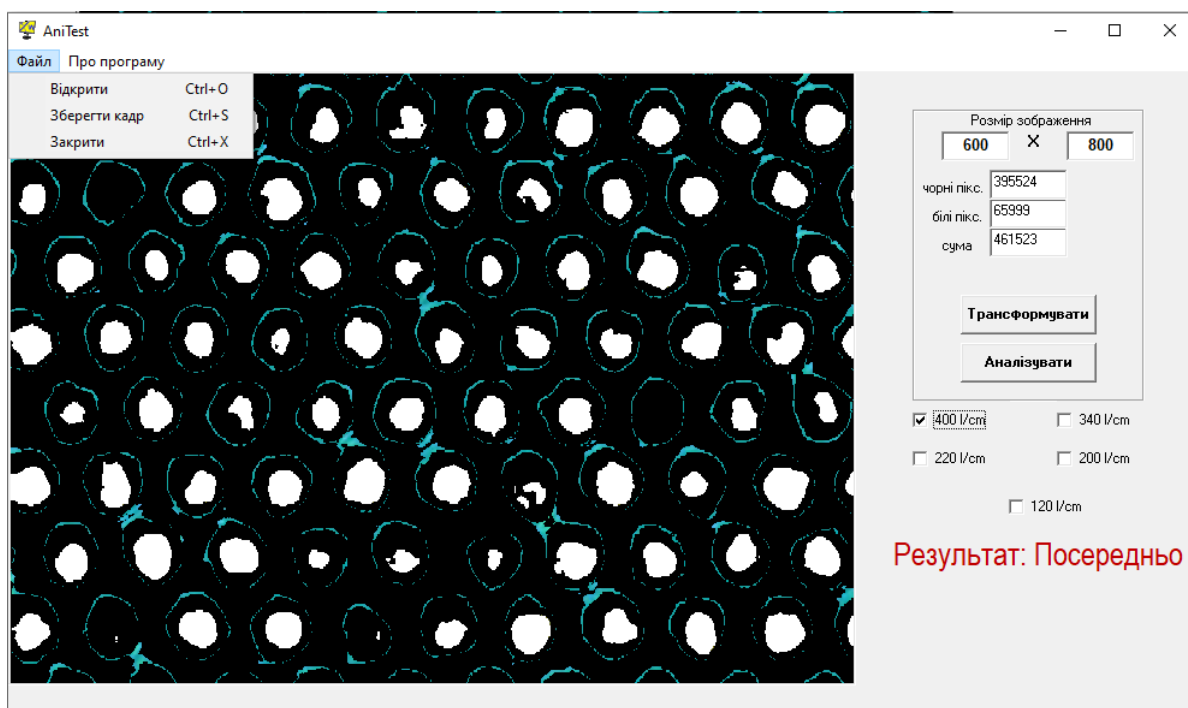


Рис.6. Збереження результату отриманого у застосунку

При виборі в меню опції «Про програму» з'являється вікно (рис. 7) з короткою інформацією про даний програмний застосунок.

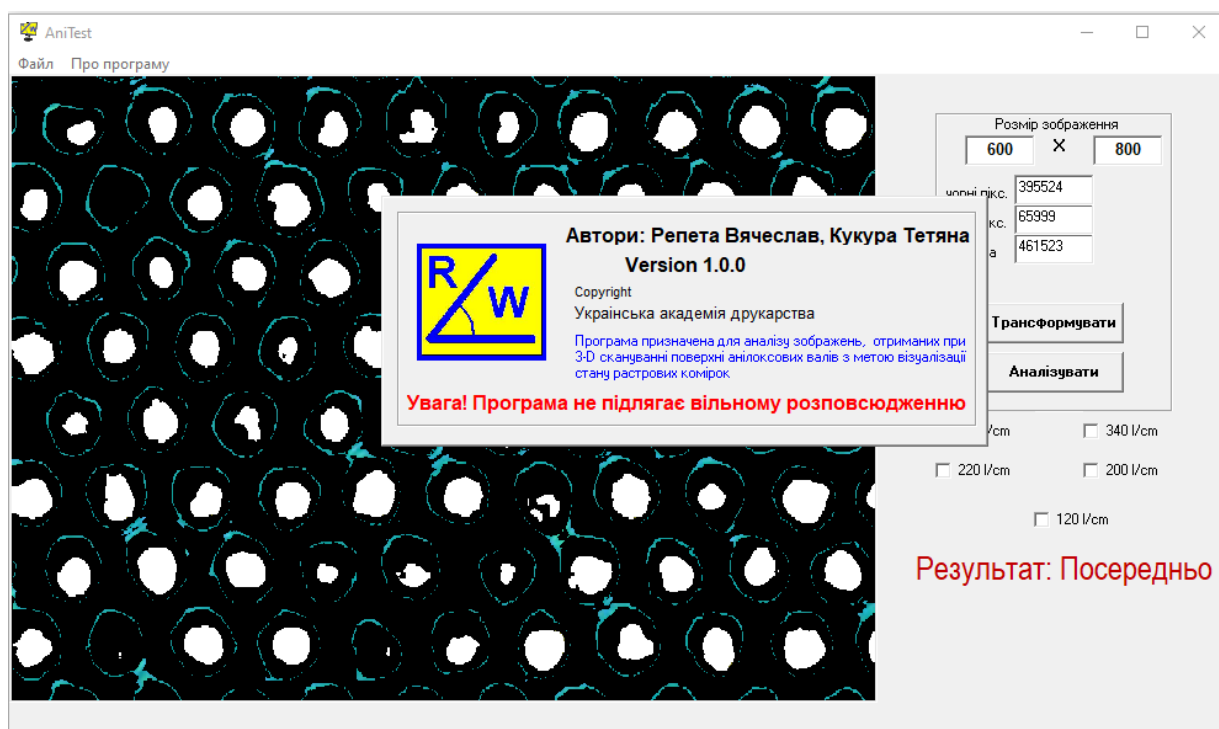


Рис.7. Інтерфейс застосунку з вікном із короткою інформацією про даний програмний застосунок

Текст комп'ютерної програми

Option Explicit

```
Private Declare Function SetClipboardData Lib "user32" (ByVal wFormat As Long,
ByVal hMem As Long) As Long
```

```
Private Declare Function EmptyClipboard Lib "user32" () As Long
```

```
Private Declare Function CloseClipboard Lib "user32" () As Long
```

```
Private Declare Function OpenClipboard Lib "user32" (ByVal hwnd As Long) As
Long
```

```
Private Const CF_BITMAP = 2
```

```
Private Declare Function CopyImage Lib "user32" (ByVal handle As Long, ByVal
imageType As Long, ByVal NewWidth As Long, ByVal NewHeight As Long,
ByVal lFlags As Long) As Long
```

```
Private Const IMAGE_BITMAP = 0
```

```
Private Const LR_COPYRETURNORG = &H4
```

```
Private Const LR_MONOCHROME = &H1
```

```
Const ws_child As Long = &H40000000
```

```
Const ws_visible As Long = &H10000000
```

```
Const WM_USER = 1024
```

```
Const WM_CAP_DRIVER_CONNECT = WM_USER + 10
```

```
Const WM_CAP_SET_PREVIEW = WM_USER + 50
```

```
Const WM_CAP_SET_PREVIEWRATE = WM_USER + 52
```

```
Const WM_CAP_DRIVER_DISCONNECT = WM_USER + 11
```

```
Const WM_CAP_GRAB_FRAME = WM_USER + 60
```

```
Const WM_CAP_FILE_SAVEDIB = WM_USER + 25
```

Private Declare Function SendMessage Lib "user32" Alias "SendMessageA" (ByVal hwnd As Long, ByVal wParam As Long, ByVal lParam As Long) As Long

Private Declare Function SendMessageString Lib "user32" Alias "SendMessageA" (ByVal hwnd As Long, ByVal wParam As Long, ByVal lParam As String) As Long

Private Declare Function capCreateCaptureWindow Lib "avicap32.dll" Alias "capCreateCaptureWindowA" (ByVal a As String, ByVal b As Long, ByVal c As Integer, ByVal d As Integer, ByVal e As Integer, ByVal f As Integer, ByVal g As Long, ByVal h As Integer) As Long

Private Declare Function capGetDriverDescription Lib "avicap32" Alias "capGetDriverDescriptionA" (ByVal wDriverIndex As Long, ByVal lpszName As String, ByVal cbName As Long, ByVal lpszVer As String, ByVal cbVer As Long) As Long

Private Declare Sub Sleep Lib "kernel32" (ByVal dwMilliseconds As Long)

Private Const ORIG_COLOR As Long = vbRed

Private Const ORIG_COLOR2 As Long = vbBlue

Private Const NEW_COLOR As Long = vbWhite

Private Const NEW_COLOR2 As Long = vbBlack

Private Const ORIG_COLOR3 As Long = vbYellow

Private Const NEW_COLOR3 As Long = vbBlack

Private Const ORIG_COLOR4 As Long = vbGreen

Private Const NEW_COLOR4 As Long = vbBlack

Public max As Long

Dim hWDC As Long

Dim STARTcap As Boolean

Dim PushButton As Long

Dim ValButton As String

Dim ValShift As String

Public min As Long

Dim Index As Integer

Dim SumBlack As Double

'Dim SumBlack4 As Double

Dim SumWhite As Double

Dim iSumWhite As Double

Dim iSumBlack As Double

Dim strInfo As String

Dim r

Dim e

Dim i1

Dim j1

Dim i2

Dim j2

Dim WithEvents PicEx As cPictureEx

Private Sub Check1_Click()

 lblInfo = strInfo

 If iSumWhite > 95475 Then lblInfo = lblInfo & " Достатньо "

 If iSumWhite < 95475 And iSumWhite > 63650 Then lblInfo = lblInfo &
 "Посередньо"

 If iSumWhite < 63650 Then lblInfo = lblInfo & "Погаано"

End Sub

```
Private Sub Check2_Click()
```

```
    lblInfo = strInfo
```

```
    If iSumWhite > 108075 Then lblInfo = lblInfo & " Достатньо "
```

```
    If iSumWhite < 108075 And iSumWhite > 72050 Then lblInfo = lblInfo &  
    "Посередньо"
```

```
    If iSumWhite < 72050 Then lblInfo = lblInfo & "Погано"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Check3_Click()
```

```
    lblInfo = strInfo
```

```
    If iSumWhite > 114750 Then lblInfo = lblInfo & " Достатньо "
```

```
    If iSumWhite < 114750 And iSumWhite > 76500 Then lblInfo = lblInfo &  
    "Посередньо"
```

```
    If iSumWhite < 76500 Then lblInfo = lblInfo & "Погано"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Check4_Click()
```

```
    lblInfo = strInfo
```

```
    If iSumWhite > 114750 Then lblInfo = lblInfo & " Достатньо "
```

```
    If iSumWhite < 114750 And iSumWhite > 76500 Then lblInfo = lblInfo &  
    "Посередньо"
```

```
    If iSumWhite < 76500 Then lblInfo = lblInfo & "Погано"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Check5_Click()
```

```
    lblInfo = strInfo
```

```

If iSumWhite > 93375 Then lblInfo = lblInfo & " Достатньо "
If iSumWhite < 93375 And iSumWhite > 62250 Then lblInfo = lblInfo &
"Посередньо"
If iSumWhite < 62250 Then lblInfo = lblInfo & "Погано"
End Sub

```

```

Private Sub Command1_Click()
    Set picImage.Picture = ColorProcess.ReplaceColor(picImage.Picture,
    ORIG_COLOR, 180, NEW_COLOR)
    Set picImage.Picture = ColorProcess.ReplaceColor(picImage.Picture,
    ORIG_COLOR2, 180, NEW_COLOR2)
    Set picImage.Picture = ColorProcess.ReplaceColor(picImage.Picture,
    ORIG_COLOR3, 180, NEW_COLOR3)
    Set picImage.Picture = ColorProcess.ReplaceColor(picImage.Picture,
    ORIG_COLOR4, 180, NEW_COLOR4)
End Sub

```

```

Private Sub Command2_Click()
    Dim hNew As Long
    hNew = CopyImage(picImage.Picture, IMAGE_BITMAP, 0, 0,
    LR_COPYRETURNORG & LR_MONOCHROME)
    OpenClipboard Me.hwnd
    EmptyClipboard
    SetClipboardData CF_BITMAP, hNew
    CloseClipboard
    picImage.Picture = Clipboard.GetData(vbCFBitmap)

End Sub

```

```

Private Sub Command4_Click()
'Dim z As Double
Dim pw As Double
Dim i As Double
'Dim j As Double
'Dim n1 As Double
'Dim n2 As Double
Dim ph As Double
Dim ph2 As Double
iSumWhite = 0
iSumBlack = 0

' List1.Clear

Dim time1 As Integer

Dim mas(10000) As Long
pw = picImage.Picture.Width
ph = picImage.Picture.Height
pw = picImage.ScaleWidth
ph = picImage.ScaleHeight

For i1 = 0 To (pw - 1)
    For i = 0 To (ph - 1)
        If picImage.Point(i1, i) = vbWhite Then
            iSumWhite = iSumWhite + 1
        End If
        If picImage.Point(i1, i) = vbBlack Then
            iSumBlack = iSumBlack + 1
        End If
        mas(i) = mas(i) + 1
    Next i
Next i1

```

```

        End If
    Next
Next

Text4(1).Text = iSumBlack
Text5(1).Text = iSumWhite
Text6(1).Text = iSumWhite + iSumBlack
min = mas(1)
max = mas(1)

For i = 1 To 10000
    If max < mas(i) Then max = mas(i)
    If min > mas(i) Then min = mas(i)
Next i
' List1.AddItem max
'max = n1

End Sub

Private Sub Form_Load()

    Caption = "AniTest"
    lblProgress = ""

    Me.Show

    DoEvents
    CommonDialog1.Filter = "Bitmaps Files|*.BMP|JPEG Files|*.JPG|GIF
Files|*.GIF"
    Text4(1).Text = ""

```

```
Text5(1).Text = ""
```

```
Text6(1).Text = ""
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuExit_Click()
```

```
    Unload Me
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuHelp_Click()
```

```
    frmSplash.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuLoad_Click()
```

```
    CommonDialog1.ShowOpen
```

```
    If Err Then Exit Sub
```

```
    picImage.Picture = LoadPicture(CommonDialog1.FileName)
```

```
    CommonDialog1.Filter = "*.bmp|*.bmp"
```

```
    strInfo = "Результат: "
```

```
    Text17.Text = picImage.Width
```

```
    Text18.Text = picImage.Height
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuSave_Click()
```

```
    CommonDialog1.ShowSave
```

```
    If CommonDialog1.FileName <> "" Then
```

```
        SavePicture picImage.Image, CommonDialog1.FileName
```

```
    End If
```

```
End Sub
```



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор СП ТЗОВ «Полі Пак»

Панкевич Т.В.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Акт складений представниками СП ТЗОВ «Полі Пак» (м. Львів) начальником виробництва Панкевичем О.Р., головним технологом Кульчицьким С.В. та представниками Української академії друкарства - аспіранткою Кукурою Т.Ю. і професором Репетою В.Б., про те, що 27.08.2024 року у виробничих умовах було апробовано програмний застосунок «AniTest».

Програмний застосунок дозволяє аналізувати зображення, які отримані при 3D скануванні поверхні анілоксових валиків пристроєм Anicam (Troika Systems). Застосунок аналізує кольорові пікселі зображення і при визначенні пікселів червоного діапазону, робить їх заміну на пікселі білого кольору, після чого перетворює сині і зелені кольори зображення у пікселі чорного кольору та приводить підрахунок кількості чорних і білих пікселів, встановлюючи відсоток білих на зображенні. На основі аналізу і при використанні заданих параметрів анілоксового вала проводиться розрахунок і оцінювання ступеня забруднення його комірок.

За результатами апробації, розроблений програмний застосунок рекомендується до впровадження як операція у процесі підготовки до друку анілоксових валів, так як дає змогу підвищити ефективність і якість виробничого процесу флексографічного друку, мінімізуючи суб'єктивний вплив на результати аналізу людського фактору.

Начальник виробництва

Головний технолог

Професор кафедри ПМХ УАД

Аспірантка УАД

О.Р. Панкевич

С.В. Кульчицький

В.Б. Репета

Т.Ю. Кукура



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з НІПР

Я.М. Угрин

2024 р.

АКТ ВАПРОВАДЖЕННЯ у навчальний процес

На кафедрі поліграфічного матеріалознавства і хімії УАД розроблена комп'ютерна програма «AniTest» (автори: професор Репети В.Б., аспірантка Кукура Т.Ю.), яка дозволяє здійснювати оцінювання якості операції очищення анілоксових валів шляхом аналізу цифрових зображень, отриманих при 3D скануванні поверхні анілоксів пристроєм «AniCam». Дана розробка дозволяє оператору отримати інформацію щодо ступеня забруднення анілоксових валів на апіорному рівні, що дозволяє підвищити ефективність та якість процесу їх очищення та дає можливість уніфікувати даний етап технологічного процесу.

Розроблена програма впроваджена у навчальний процес підготовки студентів спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія» ОПП «Мультимедійні видавничо-поліграфічні технології».

Зав кафедрою ПМХ УАД,

д-р техн. наук, професор

Вячеслав РЕПЕТА

Гарант ОПП, канд. техн. наук,

доцент

Ігор МИКЛУШКА