

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДРУКАРСЬКИХ ФАРБ ТА ПАПЕРУ НА ЯКІСТЬ ВІДБИТКІВ ОФСЕТНОГО ДРУКУ

**Кукура Ю.А.**

к.т.н., доцент, кафедра «Мультимедійних технологій»,  
Національний університет «Львівська політехніка»  
ORCID ID: 0000-0002-0041-6351

**Кукура В.В.**

к.х.н., доцент, кафедра «Мультимедійних технологій»,  
Національний університет «Львівська політехніка»  
ORCID ID: 0000-0003-4217-9638

***Анотація.** Досліджено вплив характеристик фарби і паперу на колірні та денситометричні показники відбитків офсетного друку і визначено оптимальну кількість фарби на відбитках. У висновках подано практичні рекомендації щодо нанесення тріадних фарб плоского офсетного друку на різних типах паперу для забезпечення якості відповідно до стандарту ISO 12647-2.*

***Ключові слова:** офсетний друк, якість відбитків, колірна відмінність, оптична щільність, трепінг, коефіцієнт контрасту.*

### Вступ

Швидкий розвиток цифрових технологій друкування і зростання частки флексографії на ринку паковань та етикетки приводить до поступової втрати плоским офсетним друком своїх незаперечних лідерських позицій як найбільш широко розповсюдженого способу друку. Однак, як показує практика, потенціал цього способу друку ще не використаний на повну потужність. Це підтверджується новітніми розробками високопродуктивних машин для друкування картонних паковань, застосуванням нових високоефективних і екологічно безпечних фарб, все ширшим використанням «сухого» офсету та різноманітних «гібридних» технологій – поєднання цифрових і офсетних друкарських процесів.

Ці тенденції підтверджуються аналізом, згідно якого глобальний ринок офсетного друку оцінювався в 3 мільярди доларів США у 2024 році та, за прогнозами, досягне 6,6 мільярда доларів США до 2030 року, зростаючи зі середньорічним темпом 14,1% з 2024 по 2030 рік [1]. Зростання ринку офсетного друку зумовлене кількома факторами, включаючи зростання попиту на високоякісні друковані матеріали, постійну потребу в масовому друкованому виробництві та постійні технологічні вдосконалення, що покращують ефективність та сприяють збільшенню обсягу виробництва. Одним з основних факторів є розширення пакувальної галузі, де офсетний друк широко

використовується у виробництві яскравих та міцних пакувальних матеріалів, таких як складні коробки, етикетки та гофровані коробки. Оскільки споживчі вподобання зміщуються в бік візуально привабливих та екологічних пакувальних рішень, здатність офсетного друку забезпечувати чудову якість зображення та обробляти широкий спектр матеріалів вигідно позиціонує його порівняно з іншими технологіями друкування [1].

Зростаючі вимоги замовників до скорочення термінів виробництва і підвищення якості продукції вимагають від виробників впровадження ефективних процедур контролю і оптимізації виробничих процесів. Важливою перевагою саме плоского офсетного друку є високий рівень стандартизації технологічних процесів, який постійно вдосконалюється. Тому актуальним завданням є дослідження впливу характеристик друкарських фарб, паперів і технологічних режимів друкування на якість відбитків з метою одержання таких параметрів якості, які відповідають вимогам галузевих стандартів.

### **Мета та задачі дослідження**

Метою дослідження було встановлення закономірностей впливу характеристик друкарських фарб на якість відбитків плоского офсетного друку на різних типах паперу. Для досягнення вказаної мети були поставлені такі завдання: встановити залежності показника колірної відмінності від оптичної щільності тріадних офсетних фарб серій Aronon-T і Diamond на паперах Magno Star та SCP та на основі встановлених залежностей визначити оптичні щільності цих фарб, при яких забезпечуються показники кольоровідтворення відповідно до стандарту ISO 12647-2; визначити відхилення колірних координат  $a^*$  в залежності від товщини фарбового шару для досліджуваних матеріалів і визначити оптимальну кількість тріадних фарб на відбитках; провести денситометричні дослідження трепінгу та визначити показник контрасту тріадних фарб Aronon-T і Diamond на паперах Magno Star та SCP; на основі проведених досліджень зробити практичні рекомендації щодо оптимального нанесення фарб Aronon-T і Diamond на паперах Magno Star та SCP, при яких колірні характеристики відбитків відповідатимуть вимогам стандарту ISO 12647-2.

### **Основна частина**

Розвиток технологій офсетного друку супроводжується постійними дослідженнями у цій галузі. Набуті знання було систематизовано та узагальнено у роботах українських вчених [2-4]. Сучасні праці науковців присвячені моделюванню і вдосконаленню як технологічного процесу та матеріалів офсетного друку, так і розробці нового і вдосконаленню існуючого обладнання для цього процесу. Підвищення репродукційно-графічних показників відбитків офсетного друку та якості кольоровідтворення досягається за рахунок встановлення (на основі аналізу експериментальних досліджень) залежностей

впливу на ці показники технологічних режимів друкування [5], властивостей паперу і фарб [6-9] та вдосконалення вузлів друкарського обладнання [10]. У роботі [11] для аналізу та оцінки якості друкування при аркушевому офсетному друці використано такі інструменти методу комплексного управління якістю, як діаграма Парето, діаграма Ісікави та 5xWhy і доведена ефективність цих методик. У роботі [12] для комплексної оцінки якості в офсетному друці використано принципи нечіткої логіки, що дозволило в результаті отримати кількісний показник якості друку. У дослідженні [13] з використанням штучного інтелекту розроблено нову модель оптимізації процесу офсетного друку на основі підходу «Шість сигма» з метою зменшення мінливості процесу та досягнення стабільних, передбачуваних результатів виробництва. На основі дослідження [13] були визначені межі мінливості виробничих параметрів для забезпечення стабільності та високої якості продукції.

Ключовим елементом впровадження сучасних розробок є всебічний контроль та стандартизація технологічних процесів [14-15]. Тому на провідних поліграфічних підприємствах галузі вже не просто відбувається контроль виробничих процесів, а створені системи контролю якості, які керуються розробленими світовими стандартами.

Контроль багатофарбового друкарського процесу описує стандарт ISO 12647-2. Метою даного стандарту є не стандартизація матеріалів (папір, фарби, обладнання, офсетні полотна), а диференціація між фіксованими (друкарський процес) і нефіксованим (друкарська фарба) змінними. Іншими нормативними документами, які є важливими при формуванні системи контролю якості на поліграфічному підприємстві є специфікації, наприклад, Fogra 39 (Fogra Graphic Technology Research Association, Німеччина) і GRACoL (IDEAlliance, США). Обидві включають групи стандартних параметрів, які ґрунтуються на інтерпретаціях стандарту ISO 12647-2. Для впровадження ISO 12647-2 компанією Fogra для німецької асоціації поліграфістів bvdn була розроблена система впровадження Process Standard Offset (PSO) [16], яка пропонує практичний посібник з його застосування. Успішно впровадивши систему PSO, друкарня отримує право подати заявку на сертифікацію за стандартом ISO 12647-2. Цей стандарт встановлює вимоги до ключових параметрів друкарського процесу в залежності від типу використаного паперу, а саме: координат кольору Lab, розтискування растрової крапки і балансу по сірому. Стандарт регулярно оновлюється, щоб відповідати змінам у хімічному складі паперу, фарб та розвитку технологій контролю. Перша версія стандарту (ISO 12647-2:1996), орієнтована на традиційні фотоформи та аналогові процеси, заклала фундамент для стандартизації офсету. Найбільш поширеною стала друга версія (ISO 12647-2:2004 та оновлення 2007) [17], на якій базується відомий колірний профіль FOGRA39 (ISO Coated v2). У ній введено параметри для цифрового вводу даних (CtP), уточнено колориметрію фарб та змінено значення TVI на 3% порівняно з першою версією. В Україні ця версія імплементована як ДСТУ ISO 12647-2:2008 Поліграфія. Керування процесами

виготовлення растрових кольороподілених фотоформ, пробних і тиражних відбитків [18]. ISO 12647-2:2013 [19] є найновішою версією, яка враховує поширеність паперу з великим вмістом оптичних відбілювачів. На базі цієї версії створені профілі FOGRA51 (PSO Coated v3) та FOGRA52 (PSO Uncoated v3). В цій версії введено режим вимірювання M1, який використовує джерело світла з ультрафіолетовим компонентом (D50) для коректного вимірювання кольору на папері з відбілювачами та було переглянуто показники кривих розтискування для кращої відповідності сучасному обладнанню. В статті [20] розглянуто особливості стандарту для офсетного друку ISO 12647-2:2013 та проаналізовано відмінності цього стандарту від ISO 12647-2:2004. Авторами розраховано коефіцієнти нелінійності друкарського процесу з врахуванням технологічних параметрів регламентованих обома редакціями стандарту ISO 12647.

Дотримання вимог стандарту ISO 12647-2 дозволяє друкарні гарантувати клієнту, що результат у тиражі буде максимально близьким до кольоропроби, а замовнику готувати макети за єдиними світовими правилами.

### **Результати досліджень**

В експериментальній роботі використовувались фарби для плоского офсетного друку серії Arnon-T виробництва компанії Dong Yang Ink (Республіка Корея). Це універсальна серія фарб, яку можна застосувати для друкування широкого спектру продукції. Фарби виготовлені на основі соєвої та лляної олії.

В дослідженнях також використовувались фарби для плоского офсетного друку серії Sunlit Diamond виробництва компанії Sun Chemical. Це серія високоякісних фарб для триадного аркушевого офсетного друку, які можуть використовуватися з максимально широким асортиментом паперу і картону, в технології їх виробництва використовуються тільки натуральні оливи, відновлювальні матеріали складають 74% в структурі фарби.

Як основа для задруковування використовувались два типи паперу: багатофункціональний чистоцелюлозний офсетний папір SCP (Mondi SCP) граматурою 70 г/м<sup>2</sup> та крейдований папір Magno Star 115 (Sappi) граматурою 115 г/м<sup>2</sup>.

Для отримання тестових відбитків використовували прободрукарський пристрій виробництва компанії IGT Testing Systems (Нідерланди). Після задруковування на пристрої, шляхом зважування визначали кількість фарби, яка перейшла на відбиток. Знаючи параметри відбитку (ширину і довжину) розраховували кількість фарби в г/м<sup>2</sup>.

Для визначення колориметричних та сенситометричних характеристик відбитків використовували спектрофотометр X-Rite SpectroEye.

Міжнародний стандарт офсетного друку ISO 12647-2 регламентує колір офсетних фарб на відбитку в колірних координатах CIE Lab (D50, 2°), а допуски на відхилення від цих колірних координат визначає за формулою CIE delta E (ΔE) 1976 р. Різниця щільності або delta D не може застосовуватися як величина, яка

регламентує колірне відхилення, оскільки оптична щільність не корелюється з кольором і може використовуватися лише для визначення товщини невизначеної за кольором фарби. Однак визначати денситометричні щільності для різних фарб і паперів для оперативного контролю під час друкування важливо: щільності для конкретної пари фарба/папір вимірюються при різному накочуванні і фіксується та щільність, де колірне відхилення від стандарту мінімальне.

На першому етапі досліджень з використанням прободрукарського пристрою IGT Testing Systems було виготовлено по дев'ять тестових контрольних відбитків з використанням різної кількості триадних фарб Aronon-T та Diamond (приблизний крок складав 0,1 г) на офсетному (SCP) та крейдованому (Magno Star) папері. За допомогою спектрофотометра X-Rite SpectroEye для кожного зразка було визначено оптичні щільності і координати кольорів у системі CIE Lab, а також величину колірної відмінності ( $\Delta E$ ).

За отриманими експериментальними даними були побудовані залежності показника колірної відмінності від оптичної щільності триадних фарб серії Aronon-T та Diamond на папері Magno Star (рис. 1-2).

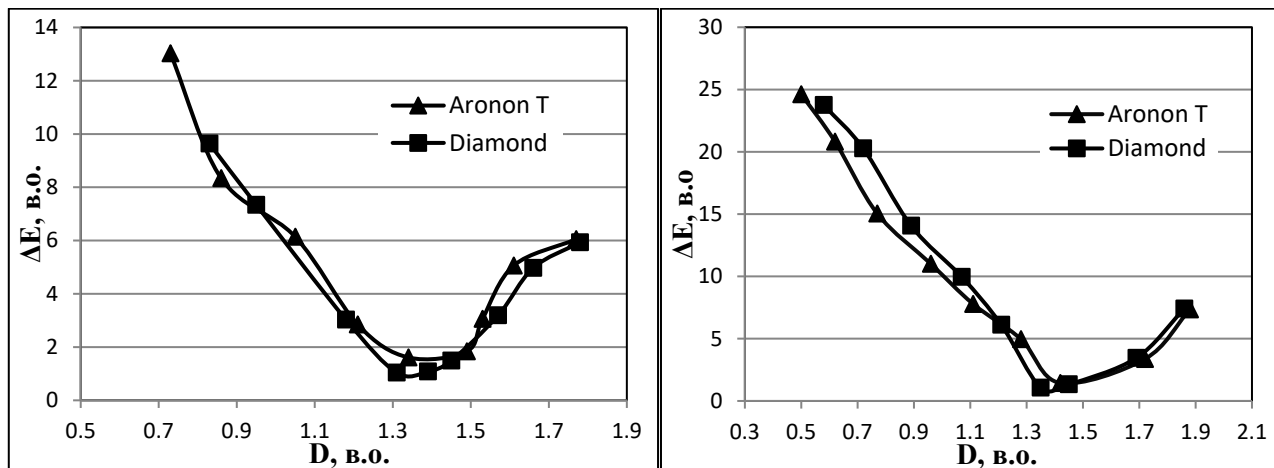


Рисунок 1 – Залежність показника колірної відмінності від оптичної щільності фарб Yellow (ліворуч) та Суан (праворуч) на відбитку (папір Magno Star)

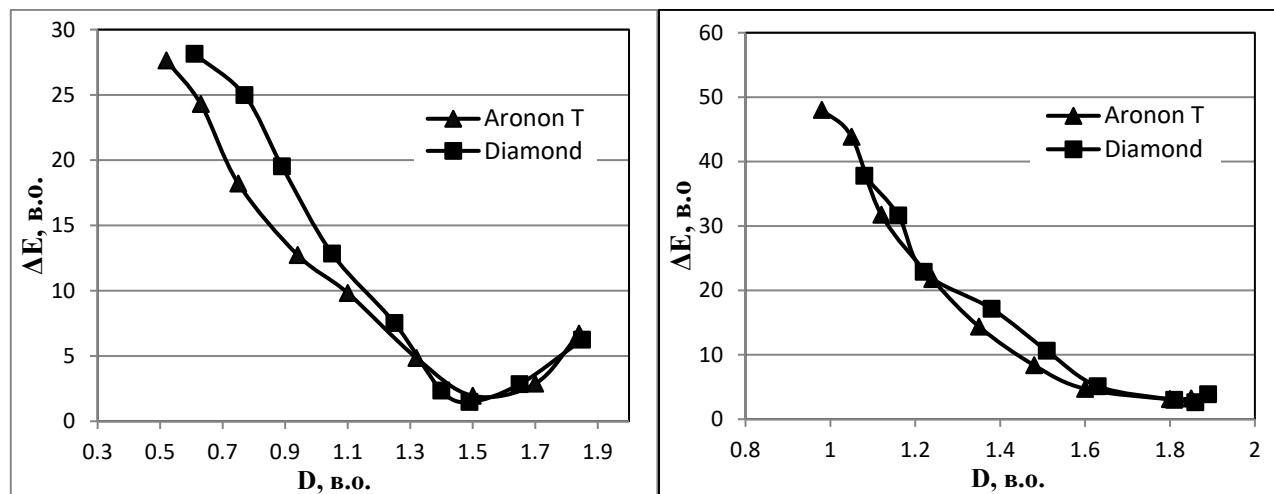


Рисунок 2 – Залежність показника колірної відмінності від оптичної щільності фарб Magenta (ліворуч) та Black(праворуч) на відбитку (папір Magno Star)

Для усіх досліджуваних фарб спостерігаємо подібний характер отриманих кривих, які дають можливість визначити мінімальне колірне відхилення та ту величину оптичної щільності, яка йому відповідає. Слід зауважити, що при вимірюванні фарби Black було б коректніше визначати не сумарне колірне відхилення  $\Delta E$ , а відхилення за світлотою  $\Delta L$ , бо рекомендовані координати кольору для цієї фарби рівні нулю, однак, як правило, у цьому випадку значення  $\Delta E$  та  $\Delta L$  корелюють між собою.

Менше значення  $\Delta E$  для фарб серії Diamond свідчить про їх вищу насиченість і прогнозовано вищу оптичну щільність порівняно з фарбами Aronon-T. Для фарб Yellow спостерігаємо доволі суттєву різницю – фарби серії Diamond забезпечують значно ближчий до стандарту відтінок ( $\Delta E=1,04$ ), порівняно з фарбами Aronon-T ( $\Delta E=1,84$ ). Для фарб Magenta та Cyan також має перевагу серія Diamond ( $\Delta E_{DM}=1,47$ ,  $\Delta E_{AM}=1,95$ ;  $\Delta E_{DC}=1,06$ ,  $\Delta E_{AC}=1,44$ ), однак не таку суттєву. В цілому, не дивлячись на отриману різницю, колірні відмінності обох серій фарб є нижчими двох одиниць ( $\Delta E < 2,0$ ), що свідчить про їх відповідність стандарту ( $\Delta E < 3,0$ ).

Для зручнішого проведення аналізу отриманих результатів, визначені оптимальні оптичні щільності фарб зведено в одну діаграму (рис. 3).

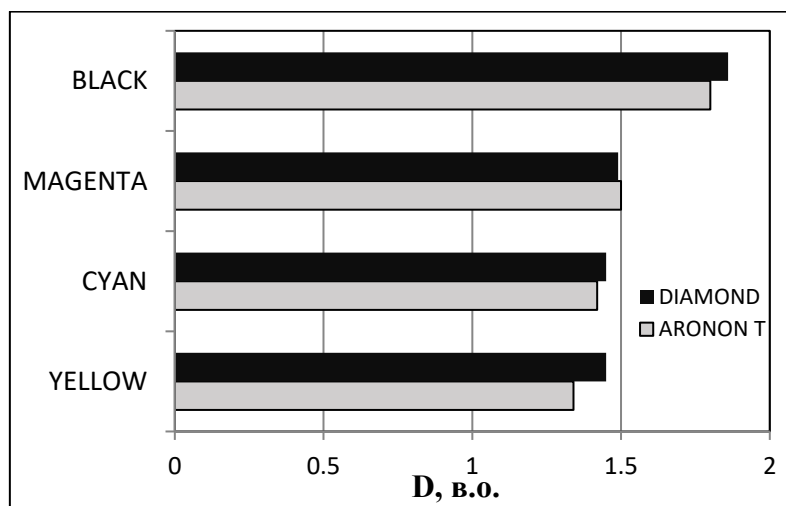


Рисунок 3 – Визначені оптичні щільності фарб Diamond та Aronon-T для оптимального кольоровідтворення на папері Magno Star

Як бачимо, фарби Magenta обох серій (рис. 3) при мінімальному колірному відхиленні забезпечують практично однакову оптичну щільність плашки ( $D=1,5$ ), для Black та Cyan отримані оптичні щільності фарб Diamond є на 3-3,2% вищими від фарб Aronon-T, а для фарби Yellow ця різниця ще більш суттєва і складає  $\Delta D=0,9$ . Відповідно до рекомендацій, оптичні щільності тріадних фарб повинні складати:  $D_Y=1,45 \pm 0,1$ ,  $D_M=1,5 \pm 0,1$ ,  $D_C=1,55 \pm 0,1$ ,  $D_B=1,85 \pm 0,15$ . Таким чином, визначені оптичні щільності усіх досліджуваних фарб відповідають рекомендованим значенням.

Аналогічні дослідження були проведені з використанням офсетного паперу марки SCP. Як свідчать отримані результати (рис. 4-5), на офсетному папері перевага у коректності кольоровідтворення тріадних фарб Diamond є ще

більш вираженою. Різниця між отриманим колірним відхиленням для фарб Magenta і Cyan складає приблизно 0,7 в.о., а для фарби Yellow – 0,2 відносні одиниці. Як і на крейдованому папері, на офсетному папері обидві серії фарб забезпечують відповідність кольоровідтворення до вимог стандарту.

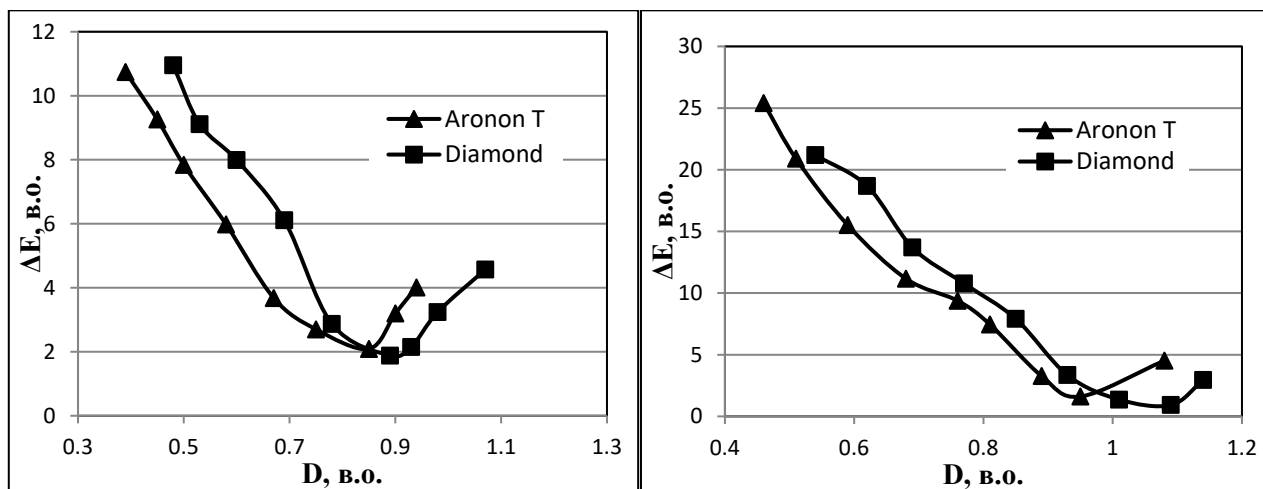


Рисунок 4 – Залежність показника колірної відмінності від оптичної щільності фарб Yellow (ліворуч) та Cyan (праворуч) на відбитку (папір SCP)

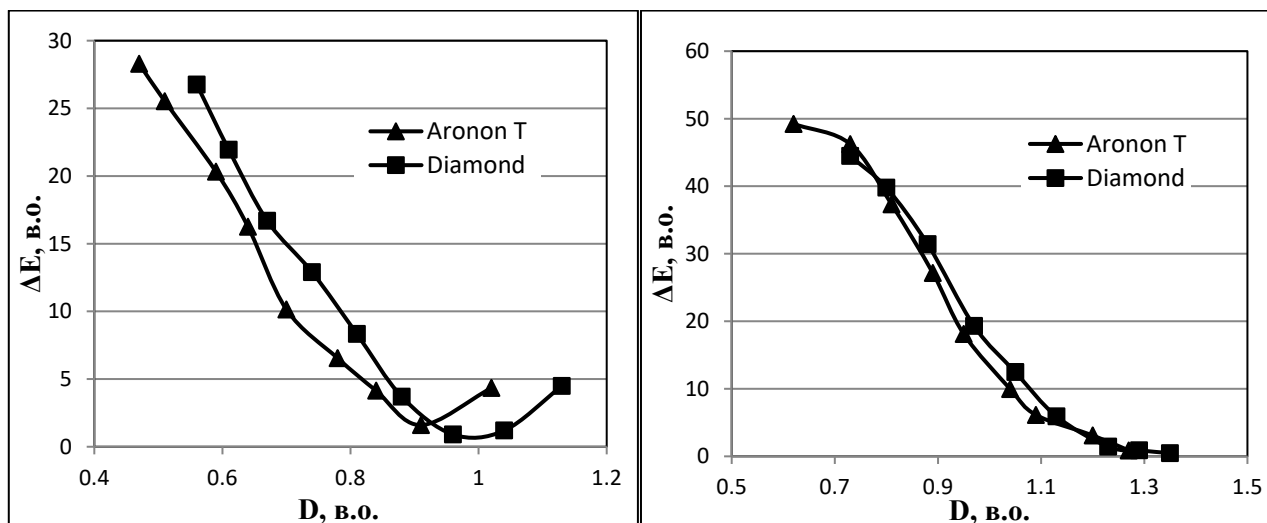


Рисунок 5 – Залежність показника колірної відмінності від оптичної щільності фарб Magenta (ліворуч) та Black (праворуч) на відбитку (папір SCP)

Визначені оптимальні оптичні щільності фарб на офсетному папері (рис. 6) в цілому корелюють з показниками для крейдованого паперу, однак у цьому випадку ще більш помітною є перевага фарб серії Diamond – практично для усіх фарб тріади їх оптична щільність є на 3-6% вищою. Порівняння отриманих значень з рекомендованими показниками ( $D_Y=0,95\pm 0,1$ ,  $D_M=0,95\pm 0,1$ ,  $D_C=1,0\pm 0,1$ ,  $D_B=1,25\pm 0,15$ ) підтверджує належну якість усіх досліджуваних фарб.

Отримані експериментальні дані дозволяють визначити ще один важливий технологічний параметр – оптимальну товщину фарбового шару, при якій забезпечуються відповідні стандарту колориметричні та денситометричні показники. Цей параметр важливий також і з економічної точки зору, адже

показує, якою мінімальною кількістю фарби можна добитися належних якісних показників відбитку. На крейдованому папері Magno Star (рис. 7) оптимальна кількість фарби Yellow складає 1,0 та 0,9 г/м<sup>2</sup>, для фарби Magenta – 1,1 та 1,0 г/м<sup>2</sup>, для фарби Black – 1,2 та 1,1 г/м<sup>2</sup> – для фарб Aronon-T та Diamond відповідно. Для фарби Cyan цей показник є ідентичним для обох серій фарб – 1,1 г/м<sup>2</sup>.

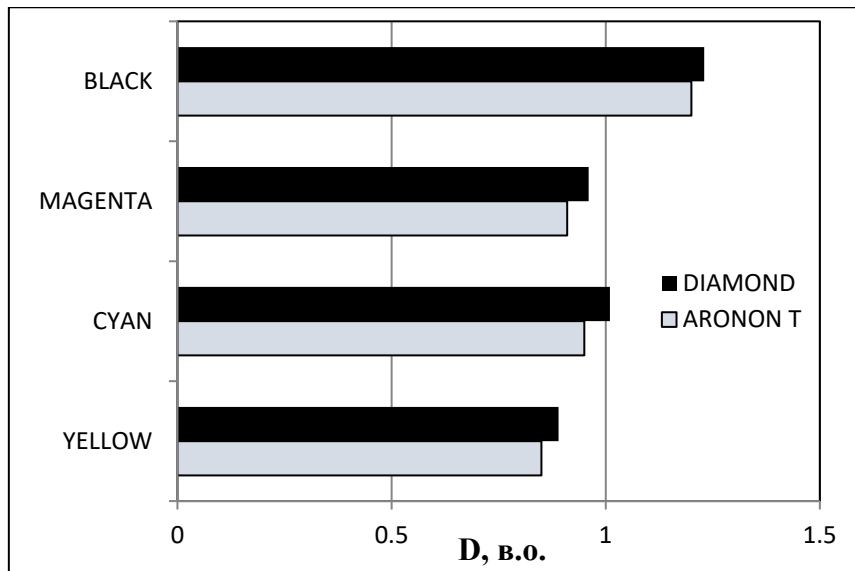


Рисунок 6 – Визначені оптичні щільності фарб Diamond та Aronon-T для оптимального кольоровідтворення на папері SCP

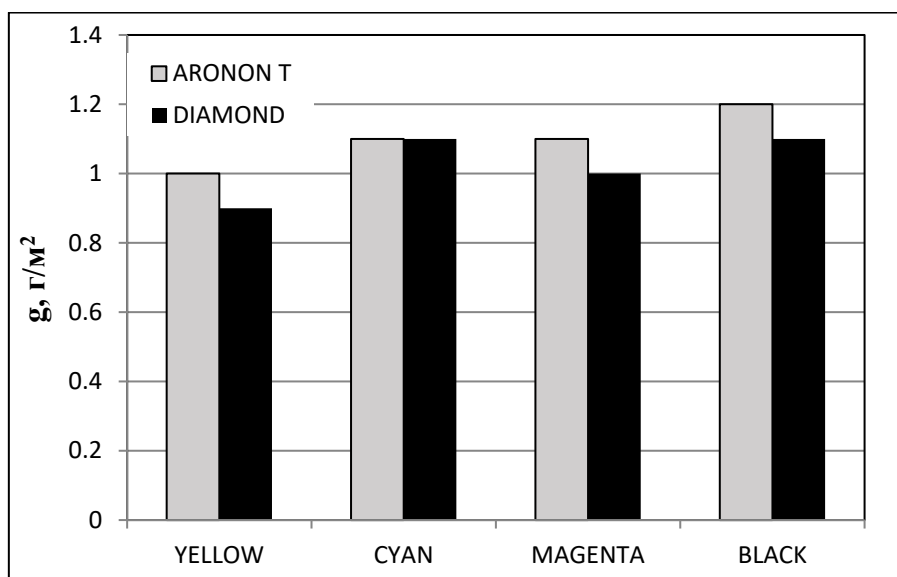


Рисунок 7 – Оптимальна кількість фарб Diamond та Aronon-T на відбитку на папері Magno Star

Таким чином, можемо твердити, що для фарб серії Diamond, порівняно із фарбами серії Aronon-T, необхідна товщина фарбового шару для відтворення належних колориметричних характеристик є нижчою.

Аналогічний експеримент був проведений на офсетному папері SCP (рис. 8), де перевага фарб серії Diamond виявилася ще більш очевидною – для усіх фарб тріади оптимальна товщина фарбового шару є меншою на 0,1 г/м<sup>2</sup>.

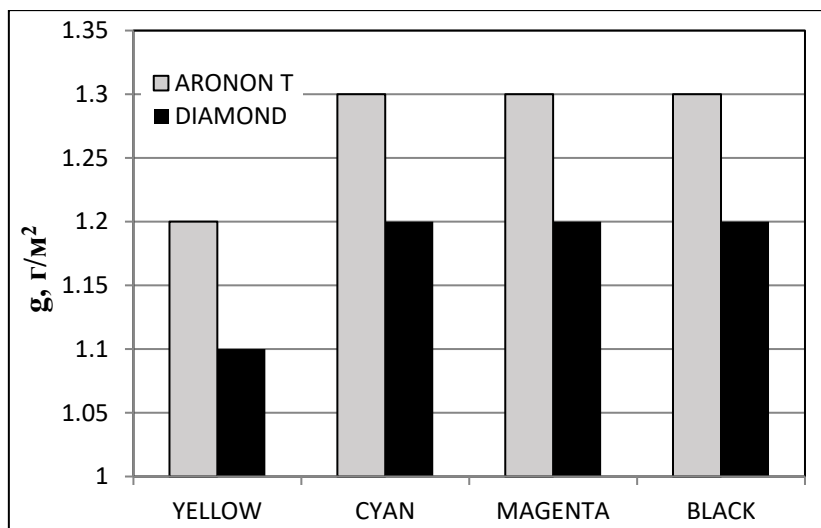


Рисунок 8 – Оптимальна кількість фарб Diamond та Aronon-T на відбитку на папері SCP

Це може пояснюватися, перш за все, особливостями складу фарб – у «європейської» тріади Diamond, очевидно, дещо вища концентрація чи дисперсність пігменту, а в'яжуче не так інтенсивно всотується у пори паперу. Більш ґрунтовні висновки можна буде зробити тільки після додаткових лабораторних досліджень.

Для більш глибокого розуміння колористики досліджуваних тріадних фарб, з використанням отриманих експериментальних даних були побудовані їх колірні характеристики в координатах  $ab$  на крейдованому та офсетному паперах (рис. 9-10).

Діаметр кільця на графіках відповідає допуску відхилення координат кольору, які рекомендовані стандартом ISO 12 647-2. Можемо спостерігати, що найбільш близькими до цільових координат (рекомендованих ISO 12 647-2) для обох серій фарб на обох типах паперу є фарби Magenta – у межах допуску отримано точки і через них проходить умовна лінія тренду. Криві для фарби Cyan серії Diamond перетинають площу кільця допуску (маючи у ній точки) незалежно від типу паперу. Для фарби Aronon-T при певних товщинах фарбового шару досягаються близькі до рекомендованих значення – умовні лінії тренду дотикають площину кільця допуску. Найбільше відхилення координат кольору спостерігаємо для фарб Yellow і, якщо крива тренду для фарби Diamond Yellow є близькою до рекомендованих стандартом координат, то для фарби Aronon-T Yellow спостерігаємо більш суттєве відхилення від стандарту. Таке відхилення можна пояснити тим, що на ринку тріадних фарб присутні різні за колористикою жовті фарби – так звані «теплі» та «холодні», колір яких залежить від типу пігменту, який використовувався при їх виготовленні.

Залежності (рис. 9-10) наглядно демонструють, що колористика фарб серії Diamond повністю відповідає вимогам стандарту, а фарб Aronon-T має незначні відхилення для фарби Yellow.

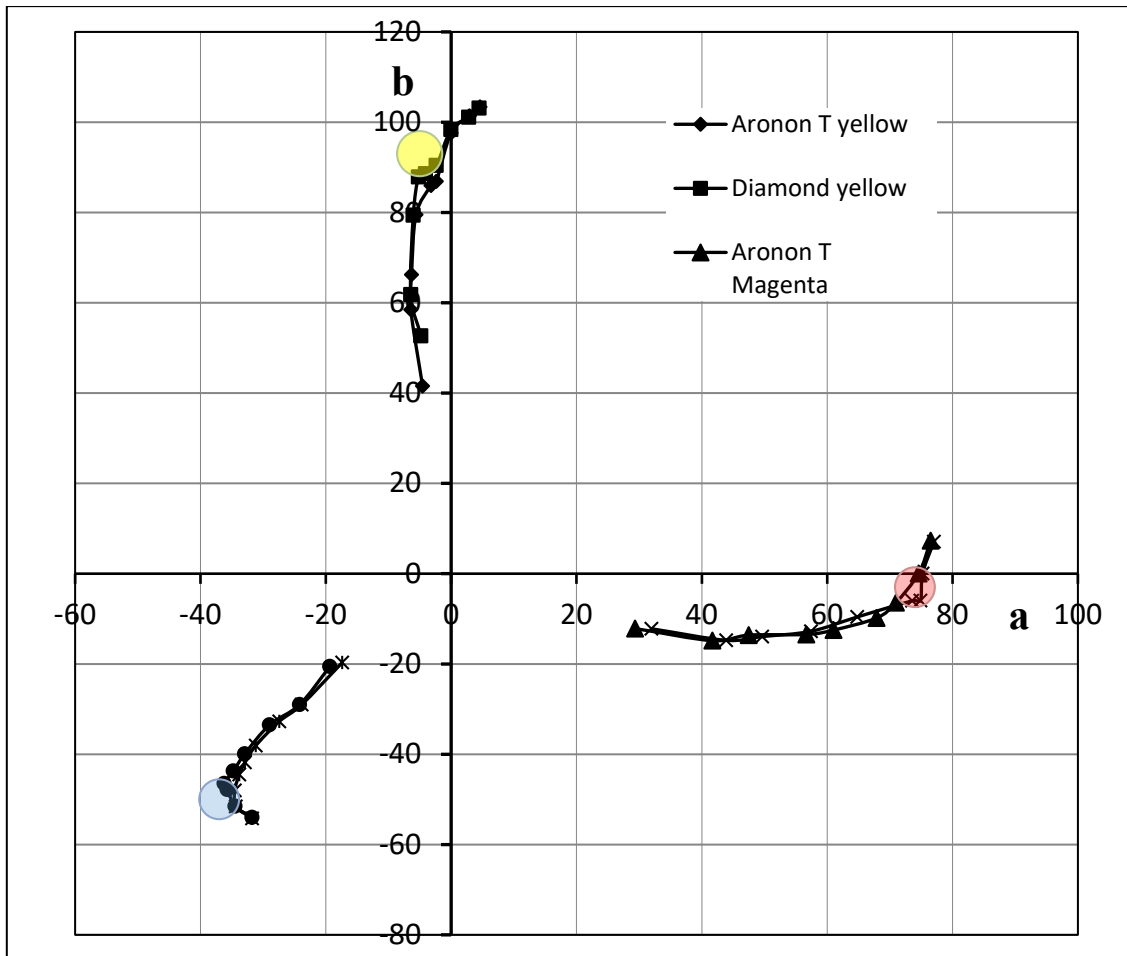


Рисунок 9 – Координати ab для фарб Aronon T та Diamond для різної товщини фарбового шару (папір Magno Star)

Зауважимо також, що на побудованих графіках наведено лише дві координати – ab, а більш повну картину кольорового охоплення тріади можна отримати при введенні третьої координати – світлоти (L), тоді кільце допуску цільової координати перетвориться на кулю у трьохмірному просторі Lab.

Необхідною умовою синтезу нових кольорів в процесі друкування повноколірного зображення є накладення фарб одна на одну. Офсетний друк кольорових зображень в режимі «по сирому» характеризується різними умовами перенесення першої та наступних фарб. Якщо шар першої фарби наноситься на сухий папір, то наступні шари фарби повністю або частково взаємодіють з шарами, які ще не висохли. В результаті шари однієї і тієї ж фарби, нанесені на задрукований матеріал і на шар іншої фарби, мають різну товщину (різниця може досягати 50%), а при колориметричному контролі двофарбових полів з'ясовується, що їх колірні координати мають зрушення в бік кольору нижньої фарби.

При оцінюванні величини трепінгу (величини фарбосприйняття) важливо не стільки її абсолютне значення, скільки тенденція до зміни в ту чи іншу сторону. Контроль накладення фарб обов'язково слід виконувати при зміні задрукованого матеріалу, фарб, зволожуючого розчину, офсетного полотна, регулювання тиску друкування.

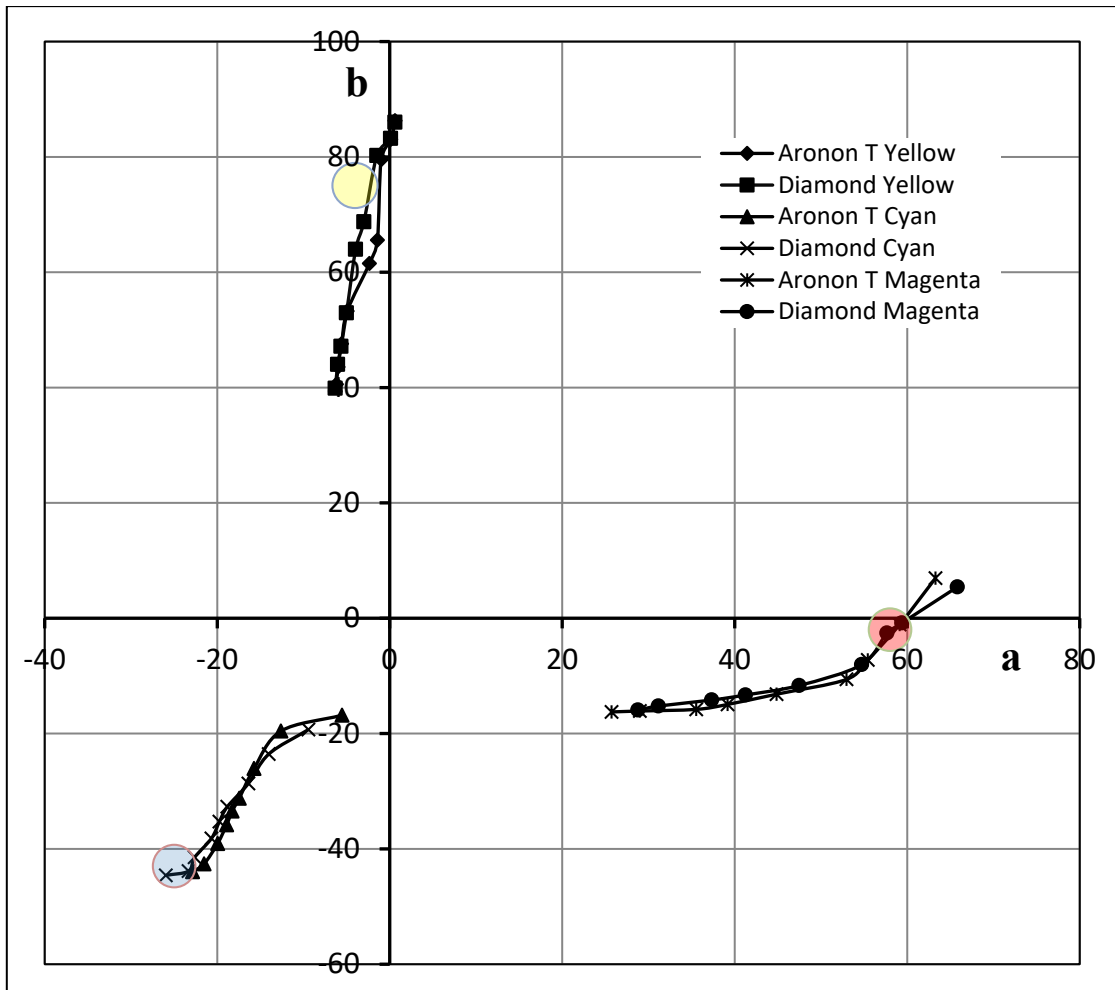


Рисунок 10 – Координати ab для фарб Aronon T та Diamond для різної товщини фарбового шару (папір SCP)

Визначення величини трепінгу проводили за допомогою спектроденситометра шляхом вимірювання оптичної щільності двофарбових (бінарних) полів контрольної шкали. Для розрахунку оцінки накладення фарб також виконували вимірювання оптичної щільності однофарбових 100% полів відповідних фарб.

Для оцінювання накладення фарб використовували метод Пройціла (Preucil), який полягає в порівнянні величин оптичної щільності фарби при її нанесенні на шар попередньої фарби і на задруковуваний матеріал:

$$T_p = \frac{D_{12} - D_1}{D_2} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $D_{12}$  – оптична щільність двофарбового поля;  
 $D_1$  – оптична щільність поля першої (нижньої) фарби;  
 $D_2$  – оптична щільність поля другої (верхньої) фарби.

Було проведено експериментальні дослідження, визначено оптичні щільності та за формулою Пройціла розраховано величину трепінгу для досліджуваних серій фарб на крейдованому та офсетному папері (рис. 11-12).

Отримані результати свідчать, що фарби Diamond при накладанні забезпечують ближчі до рекомендованих компанією X-Rite ( $T_{MY}=70\%$ ,  $T_{CY}=80\%$ ,  $T_{CM}=75\%$ ) значення трепінгу як на крейдованому, так і на офсетному папері. В цілому, також спостерігаємо більше відхилення від рекомендованих значень трепінгу на офсетному папері для обох серій фарб.

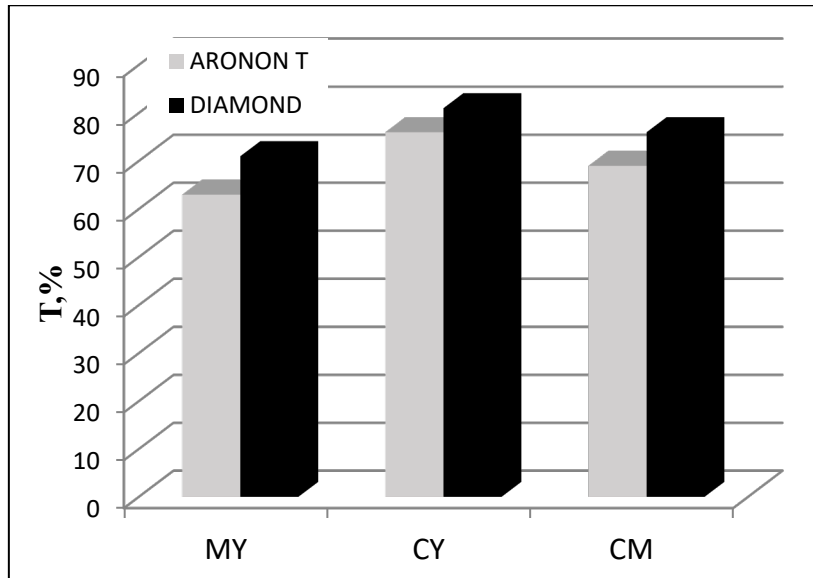


Рисунок 11 – Результати денситометричних досліджень трепінгу фарб Aronon T та Diamond на папері Magno Star

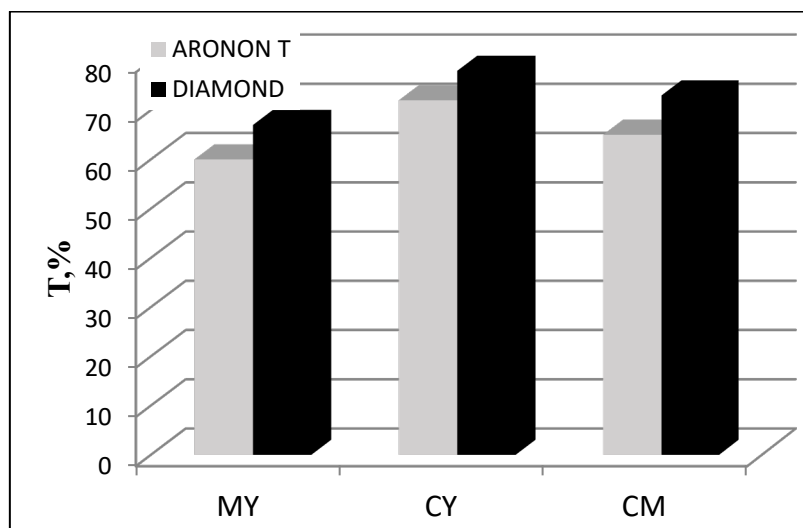


Рисунок 12 – Результати денситометричних досліджень трепінгу фарб Aronon T та Diamond на папері SCP

Ще одним важливим показником контролю якості відбитка офсетного друку є контраст, адже широко поширеним дефектом друку є втрата градацій в тінях растрових зображень. До виникнення цього дефекту може привести, зокрема, збільшення подачі фарби з метою кращого відтворення деталей в світах зображення. Для контролю відтворення тіней растрових зображень служить показник контрасту друку – коефіцієнт Ширмера. При розрахунку коефіцієнта контрасту друкування проводиться вимірювання зональних оптичних щільностей 100% і 80% полів растрової шкали. Показник розраховується за формулою:

$$k = \frac{D_s - D_r}{D_r} \cdot 100\% \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт контрасту;  
 $D_r$  – інтегральна оптична щільність;  
 $D_s$  – оптична щільність суцільного фарбового шару (плашка).

Отримані експериментальні результати свідчать, що показник контрасту тріадних фарб серії Diamond на крейдованому папері Magno Star в цілому вищий від цього показника фарб серії Aronon T на 5-7% (рис. 13).

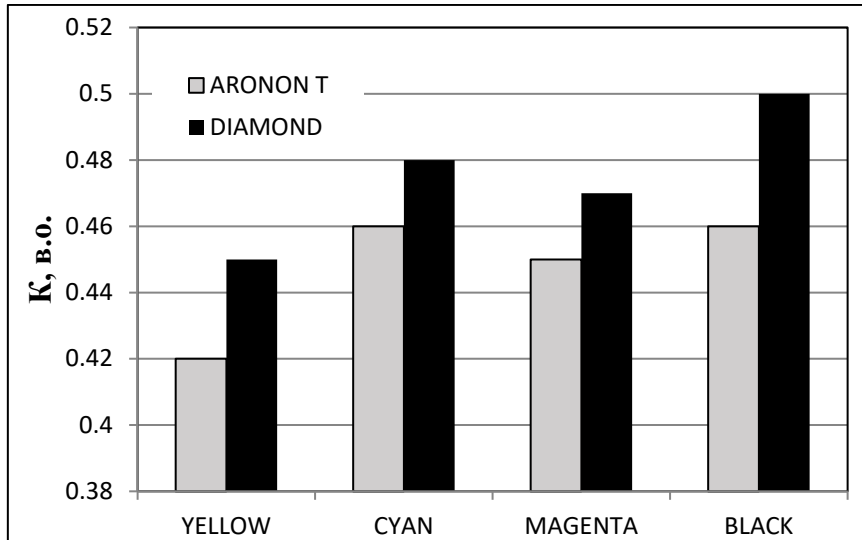


Рисунок 13 – Результати денситометричних досліджень показника контрасту фарб Aronon T та Diamond на папері Magno Star

На офсетному папері SCP (рис. 14) ще більш яскраво визначена перевага фарб серії Diamond за показником контрасту, цей показник вищий на 10-14%.

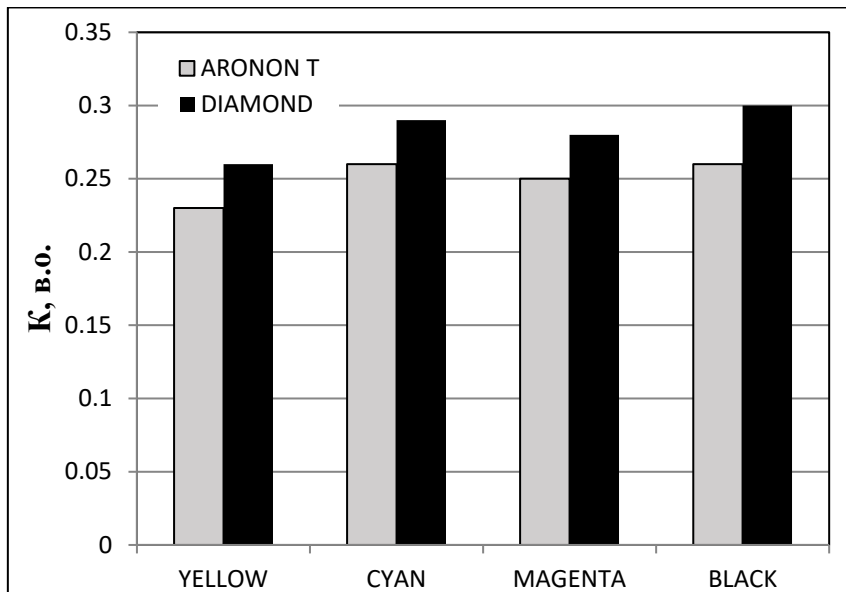


Рисунок 14 – Результати денситометричних досліджень показника контрасту фарб Aronon T та Diamond на папері SCP

Отже, фарби серії Diamond переважають фарби серії Aronon T за якістю відтворення градацій у тінях зображення. При цьому показник контрасту для усіх досліджуваних фарб відповідає вимогам стандарту.

Для повного приведення кольоровідтворення до вимог стандарту необхідно також привести у відповідність градаційні характеристики (лініаризувати криві тоновідтворення) і узгодити (збалансувати) отримані результати. Це може бути предметом наступних досліджень.

## **Висновки**

В результаті проведених експериментальних досліджень відбитків плоского офсетного друку:

– встановлено залежності показника колірної відмінності від оптичної щільності триадних фарб серій Aronon-T і Diamond на паперах Magno Star та SCP та на основі цих залежностей визначено оптичні щільності фарб серій Aronon-T і Diamond при яких забезпечуються показники кольоровідтворення відповідно до стандарту ISO 12647-2;

– визначено відхилення колірних координат ab в залежності від товщини фарбового шару триадних фарб Aronon-T і Diamond на паперах Magno Star та SCP та встановлено, що колористика фарб серії Diamond повністю відповідає вимогам стандарту, а фарб Aronon-T має незначні відхилення для фарби Yellow, найбільш близькими до цільових координат для обох серій фарб на обох типах паперу є фарби Magenta;

– визначено, що оптимальна кількість (з точки зору колориметричних характеристик) триадних фарб Aronon-T на відбитку на папері Magno Star складає 1,0-1,2 г/м<sup>2</sup>, на папері SCP – 1,2-1,3 г/м<sup>2</sup>, а для триадних фарб Diamond - на папері Magno Star 0,9-1,1 г/м<sup>2</sup>, на папері SCP – 1,1-1,2 г/м<sup>2</sup>;

– встановлено, що фарби Diamond при накладанні забезпечують ближчі до рекомендованих компанією X-Rite значення трепінгу (за формулою Проїцїла) як на крейдованому, так і на офсетному папері;

– встановлено, що показник контрасту триадних фарб серії Diamond на крейдованому папері Magno Star в цілому вищий від цього показника фарб серії Aronon T на 5-7%, а на папері SCP – на 10-14%, що свідчить про перевагу фарб серії Diamond за якістю відтворення градацій у тінях зображення.

В цілому, за аналізом результатів проведених експериментальних досліджень встановлено оптимальні кількості фарб Aronon-T і Diamond на відбитках та підтверджено, що фарби Diamond забезпечують вищі колориметричні та денситометричні показники відбитків офсетного друку при дещо нижчій товщині фарбового шару.

Список літератури.

1. Research and markets. (2026). Offset Printing – Global Strategic Business Report. <https://www.researchandmarkets.com/report/offset-printing?srsId=AfmBOorqMT2f3A5boISn-eW6rKxzHuD1fh-75U7yTJB2TAf6A4AiW7Hh>.

2. Мельников, О.В. (2007). Технологія плоского офсетного друку. Львів: УАД.
3. Ярема, С.М., Карплюк, В.А., Мельнічук, С.І. & Прокопчук, Р.С. (2002). Офсетний друк. Друкарські машини, оздоблювальне та допоміжне обладнання. ХаГар.
4. Мельнічук, С.І., & Ярема, С.М. (2002) Офсетний друк. Технологія та обладнання додрукарських процесів. ХаГар.
5. Гавенко, С.Ф., Бернацек, В.В., & Лабецька, М.Т. (2020). Дослідження впливу технологічних режимів друкування на якість офсетних відбитків. Технологія і техніка друкарства, 3(69), 16-24.
6. Cuvalcioglu, G., Gundogdu, D. & Ozel, F. (2025). A multi-criteria decision making method to measure offset printing quality according to paper type: Intuitionistic fuzzy entropy based TOPSIS method. <https://ifigenia.org/images/7/79/NIFS-31-4-532-552.pdf>.
7. Nguyen, T.P., Nguyen, L.G., Le, C.D., Truong, T.T., Che, Q.L., & Nguyen V.N. (2026). Quantifying the Correlation between Ink Trapping Efficiency and Color Difference ( $\Delta E_{ab}$ ) in Offset Printing: A Predictive Model for Process Optimization. *Jstage*. <https://doi.org/10.11413/nig.63.43>.
8. Mertoğlu Elmas, G., Karabulut, B. & Sönmez, S. (2022). The effect of some office papers quality characteristics on offset printing process. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 37(2), 270-281. <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/npprj-2022-0002/html>.
9. Назар, І.М., Ривак, П.М., & Карпа, І.І. (2025). Дослідження якості відбитків офсетного способу друку для виготовлення пакувальної та рекламної продукції. Технологія і техніка друкарства, 2(88), 24-33.
10. Зигуля, С.М. (2017). Дослідження параметрів якості друкованого відбитка при двобічному друкуванні на аркушевих офсетних машинах. Технологія і техніка друкарства, 2(56), 34-44.
11. Phung, A.T. (2021). A study on the assessment of quality of printed sheets in offset sheet-fed printing. *Engineering and Technology For Sustainable Development*, 31(1), 41-45.
12. Repeta, V., Ryvak, P., & Krykhovets, O. (2026). Models for calculating the integral quality indicator of the offset printing process for the IIOT-system. *Applied Computer Science*, 22(1), 99-109.
13. Bratić, D., Miljković, P., Jurečić, D., & Grabarić, T. (2025). AI-Driven Random Forest Model and the Six Sigma Approach for Enhancing Offset Printing Process and Product Quality. *Appl. Sci.*, 15(5), 2266.
14. Гавенко, С., & Мельников, О. (2006). Стандарти у видавничо-поліграфічній галузі Укр. акад. друкарства.
15. Ярема, С., Моргунок, В., & Пашуля, П. (2004). Стандарти у поліграфії: Стандартизація у видавничій, поліграфічній та пакувальній справі. Ун-т “Україна”.
16. PSO-Insider. (n.d.). Fogra, & Bundesverband Druck und Medien. <https://www.pso-insider.de/en/ps0>.
17. International Organization for Standardization. (2004). Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 2: Offset lithographic processes (ISO Standard No. 12647-2:2004). <https://www.iso.org/standard/37880.html>.
18. Державне агентство з питань технічного регулювання та споживчої політики України. (2008). Поліграфія. Керування процесами виготовлення растрових кольороподілених фотоформ, пробних і тиражних відбитків. Частина 2. Процеси офсетного плоского друкування (ISO 12647-2:2004, IDT + ISO 12647-2:2004/Amd.1:2007, IDT) (ДСТУ ISO 12647-2:2008). <https://online.budstandart.com>.
19. International Organization for Standardization. (2013). Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 2: Offset lithographic processes (ISO Standard No. 12647-2:2013). <https://www.iso.org/standard/57833.html>20.
20. Ковальський, Б., Занько, Н., & Писанчин, Н. (2015). Аналіз особливостей нового стандарту для офсетного друку ISO 12647-2: 2013. Комп'ютерні технології друкарства, 2(34), 196-204.