

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТОЧНОСТІ ВІДТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗМІСТУ ЗОБРАЖЕННЯ У СУБЛІМАЦІЙНОМУ ДРУЦІ

Дубневич М.М.

к.т.н., доцент, кафедра мультимедійних технологій, ІПМТ,
НУ «Львівська Політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-7089-0190

Сельменська З.М.

к.т.н., доцент, кафедра мультимедійних технологій, ІПМТ,
НУ «Львівська Політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-9514-7923

***Анотація.** Сублімаційний спосіб друку нарощує сегмент присутності на поліграфічному ринку. Точність відтворення інформаційного змісту зображення за цих умов стає критичним показником якості відбитка. За відсутності нормативної документації, що регулює оцінювання якості сублімаційного способу друку існує нагальна потреба розробки процедури оцінювання та регламенту показників якості. У статті сформульовано чіткий перелік показників якості відтворення інформаційного змісту зображення та представлено розроблену авторами методику їх оцінювання.*

***Ключові слова:** сублімаційний спосіб друку, показники якості, градаційний зміст, кольоровідтворення, структурні характеристики, градієнт, графічна точність, колірний контраст.*

Вступ

У сучасному цифровому середовищі, де технологічний прогрес відбувається надзвичайно швидко, зростає потреба у високоякісних зображеннях із точною передачею кольору, деталізацією та роздільною здатністю. Це пояснюється не лише розвитком цифрового дизайну, але й підвищенням стандартів споживачів до візуального контенту та декоративних виробів. Серед численних методів друку, доступних сьогодні, сублімаційний друк виділяється завдяки здатності забезпечувати фотореалістичну якість, максимально наближену до результатів традиційних технологій друку, таких як офсетний чи цифровий друк високої роздільності, при цьому надаючи нові можливості для творчих рішень.

Сублімаційний друк базується на фізико-хімічному процесі переходу барвника з твердого стану безпосередньо в газоподібний, минаючи рідку фазу. Це дозволяє пігментам проникати безпосередньо у структуру матеріалу, що забезпечує надзвичайну яскравість кольорів, насиченість та глибину відтінків. Однією з головних переваг цього методу є універсальність: за допомогою сублімації можна переносити зображення на тканини (поліестер, суміші поліестеру та бавовни), кераміку, металеві поверхні, пластик, скло, дерев'яні вироби та навіть спеціальні

декоративні матеріали. Завдяки цьому технологія стала надзвичайно популярною у створенні сувенірної продукції, інтер'єрного декору, рекламних матеріалів, а також індивідуального дизайнерського одягу та аксесуарів.

Якість зображення, отриманого сублімаційним друком, характеризується високою стійкістю до механічного тертя, впливу сонячного світла, вологи та інших зовнішніх факторів. Зображення не вицвітає, не стирається і зберігає привабливий вигляд протягом тривалого часу, що є однією з ключових причин популярності цього методу у промисловому та художньому виробництві. На відміну від традиційного друку на поверхні, де фарба лежить зверху та може легко зішкрябатися або зіпсуватися під впливом навколишнього середовища, сублімаційні пігменти стають частиною матеріалу, що забезпечує їхню довговічність.

Крім безпосередніх технологічних переваг, сублімаційний друк відкриває широкі можливості для творчості та дизайну. Дизайнери можуть експериментувати із кольоровими градієнтами, фотопортретами, складними візерунками та деталізованими текстурами. Наприклад, на текстильних виробках легко створювати плавні переходи від одного відтінку до іншого, що важко досягти іншими методами друку. На кераміці або металі можна виготовляти сувеніри з яскравими деталізованими фотографіями або корпоративною символікою. Таким чином, сублімаційний друк поєднує у собі художню свободу та технологічну надійність.

Важливим етапом у роботі з сублімаційною технологією є підготовка макету. Правильно створений макет визначає не лише якість фінального відбитку, але й економічність процесу, зменшення кількості браку та відповідність дизайнерської концепції задуму. При створенні макету слід враховувати ряд технічних аспектів: колірний профіль (RGB або CMYK), роздільну здатність зображення, формат та масштабування для конкретного матеріалу, особливості фарбувальних пігментів та їх взаємодію з матеріалом. Навіть найдрібніші деталі можуть втратити чіткість без належної підготовки файлу, тому підготовка макету вважається критичною частиною робочого процесу.

Процес створення макету починається із визначення розмірів і формату виробу та врахування технічних обмежень обладнання для сублімації. Наступним етапом є оптимізація зображення: корекція кольору, контрасту та насиченості, вибір правильного колірної профілю, щоб кінцевий результат максимально відповідав дизайнерській концепції. Далі здійснюється векторизація або ретушування зображень для уникнення пікселізації при збільшенні масштабу. Останнім кроком є тестування макету через пробний друк, що дозволяє внести необхідні корективи до фінальної версії [7].

Сублімаційний друк порівняно з іншими методами має свої переваги та обмеження. Наприклад, офсетний друк забезпечує високу продуктивність у великих тиражах, але обмежений у можливості передавати плавні градієнти та фотореалістичні зображення на тканинах або криволінійних поверхнях. Цифровий струменевий друк більш універсальний, але часто поступається сублімації у яскравості та стійкості кольорів на спеціалізованих матеріалах.

Таким чином, вибір сублімації стає оптимальним для високоякісних дизайнерських виробів невеликими партіями або для персоналізації продуктів [8].

Отже, сублімаційний друк – це не просто метод перенесення зображення на матеріал, а складна інтегрована технологія, що поєднує творчий задум, наукові знання про фізико-хімічні процеси, використання сучасного обладнання та матеріалів. Розуміння усіх етапів технології та правильна підготовка макету є ключовими факторами успішного застосування сублімації. Тільки поєднання художнього підходу, технологічного знання та практичної підготовки забезпечує отримання яскравих, детальних, довговічних та естетично привабливих виробів, що відповідають найвищим стандартам якості та дизайну.

Мета та задачі дослідження

Важливим критерієм конкурентоспроможності продукції цифрового друку є стабільна якість відбитків. Як було висвітлено у попередньому розділі, одним із прогресивних методів перенесення зображення на різні носії є сублімаційний спосіб друку, який забезпечує високий рівень деталізації, насиченість кольорів та стійкість зображення до зовнішніх впливів. Однак якісна оцінка таких відбитків потребує не лише візуальної експертизи, а й кількісного аналізу на основі фізико-оптичних параметрів. Для цього доцільно використовувати комплексний показник якості, що дозволяє врахувати взаємозв'язок між кількома характеристиками відбитка.

Сублімаційний друк базується на перенесенні барвника з проміжного носія (сублімаційного паперу) на полімерне покриття матеріалу під дією температури (180-220 °С) та тиску. Під час цього процесу твердий барвник переходить у газоподібний стан, проникає в полімерну структуру й закріплюється на молекулярному рівні [10].

Сублімаційний друк характеризується подвійним передаванням інформації через проміжний носій на основний задруковуваний матеріал. Проміжне зображення формується на трансферному папері спеціальним сублімаційним чорнилом на основі барвників, що сублімуються при нагріванні. Рекомендується використовувати принтер зі струменевою технологією друку, оскільки лазерний спосіб друку передбачає термічну обробку відбитку, а це не сумісно з сублімаційними чорнилами. При цьому модель струменевого принтера обов'язково мусить бути з п'єзоелектричною технологією подачі краплі чорнила, оскільки термічна технологія не дозволить створити бульбашку фарби, а просто випарує барвник ще до перенесення на термотрансферний папір.

Для цієї технології придатні струменеві принтери, які або спеціально призначені для сублімаційного друку, або ті, що легко конвертується для нього (зміна чорнил, можливо, зміна профілів). Колірна модель принтера повинна відповідати СМΥК-системі кольорів (або більше кольорів за необхідності), а також забезпечувати високу роздільну здатність для чіткості зображення.

Після стабілізації та сушіння відбитка, щоб уникнути деформації зображення здійснюють перенесення зображення безпосередньо на виріб з використанням термопресу або каландра. Зображення з паперу переходить у газоподібну фазу та проникає у волокна поліестеру або полімерне покриття. Завершальна операція технологічного процесу – охолодження: виріб охолоджується, фарба стабілізується у структурі матеріалу [6].

Основними факторами, що впливають на якість відбитка, отриманого сублімаційним способом друку згідно внутрішніх технологічних регламентів підприємств, поки немає чітких міжнародних чи українських норм, є: температура та тривалість термоперенесення; тиск у пресі; тип та товщина полімерного покриття; склад сублімаційного чорнила; колірний профіль та точність калібрування пристроїв. Кожен технологічний процес потребує проведення контролювання якості. Відомо, що за наявності у технологічному ланцюзі контрольних точок, вирізняють вхідний контроль, поопераційний та приймальний [9]. Вхідному контролюванню у поліграфічному технологічному процесі підлягають витратні матеріали та зміст підготованої до відтворення та тиражування інформації. Поопераційний та приймальний види контролю полягають в оцінюванні якісних показників півфабрикатів та готового виробу. Важливо визначитися з фіксуванням контрольних точок у технологічному процесі і, головне, з переліком показників якості, зокрема готового продукту.

Сублімаційний спосіб друку відноситься до цифрових і на жаль поки не регламентується окремим стандартом, на відміну від класичних способів друку – офсетного, флексографічного та інших [2, 3]. Отже, головною перепоною на етапі оцінювання відбитків є відсутність спеціалізованого стандарту для сублімації. Більшість стандартів охоплюють цифровий друк загалом або зображення на папері чи плівках, але не враховують всі специфічні умови сублімаційного процесу (тепло, адгезія до полімерів, термостійкість, стирання, зношення тощо). Не всі стандарти встановлюють граничні значення, багато з них лише визначають методики вимірювань або умови випробувань (без критеріїв прийнятності) [4].

Окремого ISO-стандарту тільки для сублімаційного друку (зокрема всіх аспектів якості: колірний контраст, адгезія, стійкість до стирання та ін.) наразі нема. Багато положень охоплюються стандартами, які стосуються матеріалів зображення, стабільності, зберігання, колориметрії та цифрового друку. Зокрема деякі нормативні документи прямо чи опосередковано регламентують якісні показники та методики вимірювання властивостей відбитків у сфері сублімаційного й інших цифрових видів друку:

– ISO 18930:2011 Imaging materials – Pictorial colour reflection prints – Methods for evaluating image stability under outdoor conditions – включає технологію thermal dye / dye sublimation як один із видів цифрового друку – може застосовуватись для оцінки стабільності кольору сублімаційних відбитків, методи оцінки змін кольору при старінні (вплив світла, клімату);

– ISO 18920:2011 Imaging materials – Reflection prints – Storage practices – встановлює, як зберігати сублимаційні відбитки чи інші зображення на матеріальних носіях, щоб мінімізувати втрати якості, умови зберігання, контроль вологості, температури, захист від світла, рекомендації з обробки матеріалу;

– ISO 18909:2022 Photography – Processed photographic colour films and paper prints – Methods for measuring image stability – тестування стабільності кольору фотографічних зображень під дією світла або за умови темного зберігання. Незважаючи на фокус на фото, стандарт описує методики, які можна адаптувати до сублимаційних зображень, адже охоплює технології, схожі до сублимації;

– ISO/TC 130 – серія стандартів 12647 поліграфії та цифрового друку для графічного виробництва Опрацювання, контроль якості, параметри кольорового друку, допуски, які можна адаптувати і для відбитків, отриманих сублимацією.

AATCC (American Association of Textile Chemists and Colorists) – організація, яка розробляє методики для текстильної хімії та кольоровідтворення на тканинах. Їхні стандарти часто використовуються в лабораторіях для оцінки кольоростійкості тканин, стійкості кольору до прання тощо.

Стандарт ISO 13655-2017 Graphic technology – Spectral measurement and colorimetric computation for graphic arts images встановлює регламент вимірювань для цифрового друку – наприклад, (спектральні вимірювання для графіки) належать до категорії стандартів, що встановлюють, як вимірювати, але не встановлює конкретні порогові значення цього показника для сублимації.

За умови застосування інших стандартів для цифрового друку (зокрема, ISO 12647-7 чи ISO 12647-8) [4, 5] у процесі оцінювання якісних показників сублимаційних відбитків існує необхідність адаптації процедури під сублимаційний спосіб друку, наприклад, для тканини чи пластику з полімерними покриттями. Але такий підхід не є достатньо обґрунтованим, тому існує необхідність проведення більш широкого аналізу показників якості відбитків, отриманих методом сублимації. Ця технологія сьогодні активно експлуатується, тому для забезпечення очікуваного рівня якості відбитків необхідно регламентувати показники якості цього виду друку та нормувати умови вимірювання їх чисельних значень. На основі отриманих даних можна розробляти технологічні інструкції з оцінювання якості та рекомендації щодо отримання відбитків задовільної якості.

З огляду на викладене вище можна сформулювати наступні важливі завдання даного дослідження:

– сформулювати чіткий перелік важливих простих показників якості відбитків, отриманих сублимаційним способом друку;

– на отриманому відбитку проаналізувати головні репрографічні показники якості зображення;

– визначити вплив технологічних факторів на репрографічні характеристики відбитків;

– провести порівняльний аналіз відбитків, отриманих сублимаційним та іншими цифровими способами друку.

Основна частина

Для визначення репрографічних характеристик відбитків, отриманих сублимаційним способом друку необхідно згідно сформульованих вище завдань визначитися з конкретними умовами їх вирішення.

У першу чергу сформулюємо перелік оцінюваних показників якості відбитків та визначимося з тест-об'єктами для їх вимірювання та оцінювання.

Для цифрового друку у літературних джерелах різні автори пропонують визначати різний перелік показників [1, 6, 8]: оптична щільність фону, рівномірність друку, градаційне передавання, колірне охоплення друку та ін. Але викладені методики переважно не охоплюють увесь діапазон репрографічних показників саме способу друку, що розглядається у межах цієї роботи.

Сублимаційний спосіб друку (термосублимаційний друк) застосовується переважно для перенесення зображення на синтетичні тканини (поліестер), кераміку, металеві пластини з полімерним покриттям тощо. Якість цього методу оцінюють за низкою показників.

1. Яскравість та насиченість кольорів.
2. Стійкість до зовнішніх впливів.
3. Роздільна здатність друку.
4. Рівномірність фарбування.
5. Глибина проникнення барвника.
6. Стійкість до багаторазового використання.
7. Екологічність та безпечність.
8. Глянцевий чи матовий ефект.

Цей розширений перелік показників якості містить частину характеристик, що не залежать від препрес-підготовки інформаційного змісту, тому у межах даного дослідження розглядатися не будуть. Це, зокрема, глянець, екологічність, стійкість до стирання, глибина проникнення барвника, стійкість до зовнішніх впливів.

Перед безпосередньо оцінюванням якісних показників необхідно визначитися з їх номенклатурою не лише на підставі літературних джерел, але і за інформацією від практикуючих фахівців цієї сфери. Основне завдання під час виборів членів експертної групи полягає у залученні фахівців галузі, здатних максимально точно вирішити поставлене завдання. Підбір експертів є однією з найскладніших у теорії експертних оцінок, оскільки необхідна наявність знань як теоретичних, так і практичних у досліджуваній предметній області. Кількість експертів у комісії впливає на точність та надійність її результатів. З урахуванням перелічених завдань та відповідно до рекомендацій було визначено п'ять експертів з підприємств: препрес-інженер, технолог, дизайнери, начальник відділу реклами. Основними критеріями при виборі експертів є: формальні показники (посада, стаж роботи у галузі та ін.); успішність участі в попередніх експертизах (чітке розуміння поставлених завдань, адекватна оцінка тощо); знайомство експерта з іншими членами групи (довіра до результатів інших експертів, особиста відповідальність перед іншими учасниками).

Обрана група експертів сформулювала наступну номенклатуру показників для оцінки якості відбитків, отриманих сублімаційним способом друку: контраст друку, кольорове охоплення, колірний контраст, рівномірність друку, лінійність друку (відтворення тональностей).

Таким чином для проведення комплексного оцінювання якості відтворення інформації пропонується визначити наступні групи показників: кольоровідтворення, відтворення градаційного змісту, відтворення дрібних деталей зображення, відтворення текстової інформації.

Повний перелік показників якості сублімаційних відбитків можна об'єднати у декілька груп, кожна з яких стосується окремих етапів технологічного процесу та вимагає окремих методологічних підходів до оцінювання.

Отже, перелік простих показників якості відтворення інформаційного змісту зображення на відбитку наступний:

- оптична густина полів зі 100%-вою заливкою основних кольорів (голубого, жовтого та пурпурного) та їх попарного накладання (синій, зелений, червоний), а також чорного кольору;
- відтворення оптичної густини по усьому діапазону яскравості (100%-10%);
- рівномірність відтворення градієнту (відсутність полосіння);
- координати колірності чистих кольорів та їх подвійного накладання;
- охоплення відтворюваних кольорів;
- точність відтворення шрифтових знаків;
- графічна точність (за відтворенням тонких штрихів – ширина окремих штрихових елементів).

Для оцінювання такого переліку показників тестове зображення повинно містити наступні тест-об'єкти:

- поля із 100% заливкою фарбою голубого, пурпурного, жовтого, червоного, синього, зеленого та чорного кольорів;
- градієнтні смуги основних кольорів, їх подвійного накладання та чорного кольору;
- ступінчасті шкали основних кольорів зі зміною тональності у діапазоні 100-10% тону;
- поле з тонкими штрихами;
- текстове поле з літерами різного кеглю, відтворене різними кольорами на білому фоні та білі літери на кольоровому фоні.

Перелічені тест-об'єкти можна створити самостійно у графічних редакторах. Але краще скористатися готовим тестовими зображеннями, що містять усі перелічені необхідні для проведення дослідження тест-об'єкти та поширюються безкоштовно у мережі. Таким тестовим зображенням є Print testing tools, створений спеціально для тестування струменевих принтерів провідних виробників даного класу техніки та перевірки якості паперів для друку (рис. 1).

Epson SureColor SC-F500 спеціальними сублімаційними чорнилами Mimaki sb614 на папері для термопереносу Epson DS Transfer General Purpose.

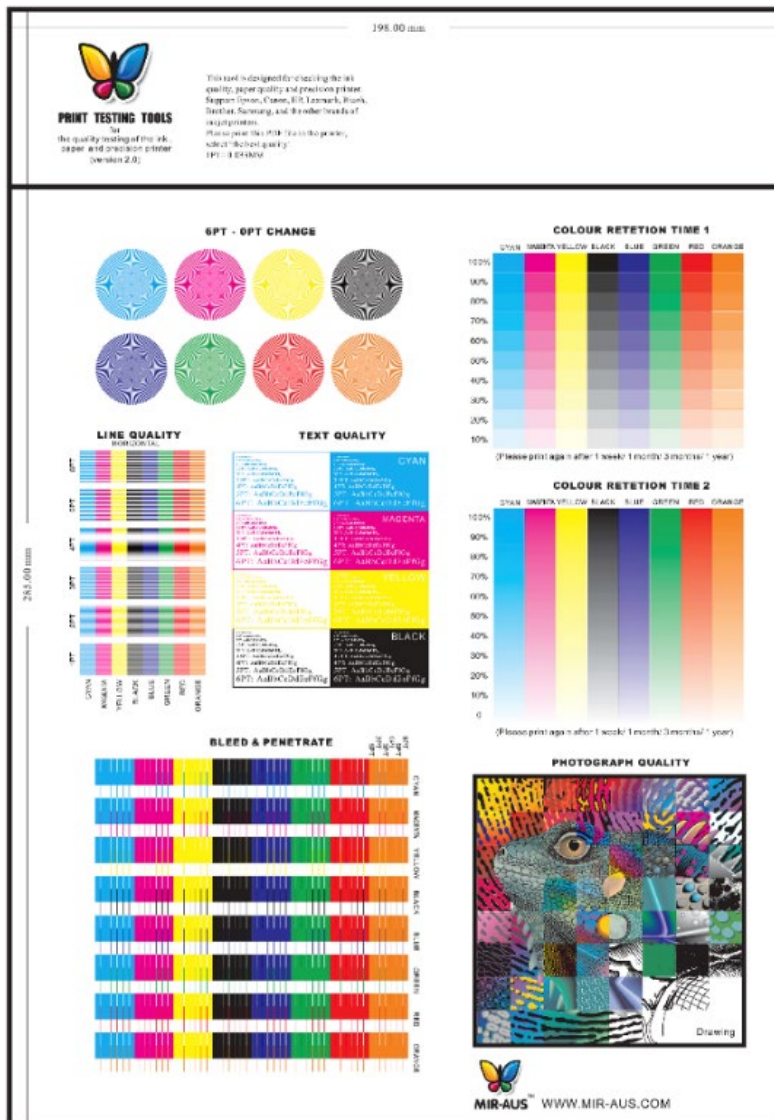


Рисунок 1 – Тестове зображення Print testing tools для перевірки якості струменевого друку

З метою забезпечення максимальної точності кольоровідтворення важливо встановити профайли конвертування між адитивним та субтрактивним колірними просторами з урахуванням задрукованої основи та типу конкретного чорнила. Управління кольором при друкуванні здійснюється через програмне забезпечення принтера Epson SureColor SC-F500. Використання некоректних параметрів може призвести до кольорових спотворень або дефектів на готовому виробі. Тому було обрано спеціальний ICC-профіль під чорнила Mimaki SB614, які використані для друку.

Для проведення дослідження згідно сформульованих вище завдань було отримано відбиток тестового зображення на пластиковій заготовці для виготовлення пазлів, щоб з площинного зображення зручно оцінювати контрольовані показники. Макет було віддруковано на сублимаційному принтері.

На рис. 2-3. наведено діалогові вікна у графічному редакторі Adobe Photoshop та драйвері принтера, що демонструють заходи управління кольором, інтегровані у технологічний процес.

Результати досліджень

Перший показник, який було визначено, – точність кольоровідтворення. Це важливий показник якості, оскільки око людини доволі чутливе саме до втрат інформаційного змісту зображення саме у плані кольоровідтворення.

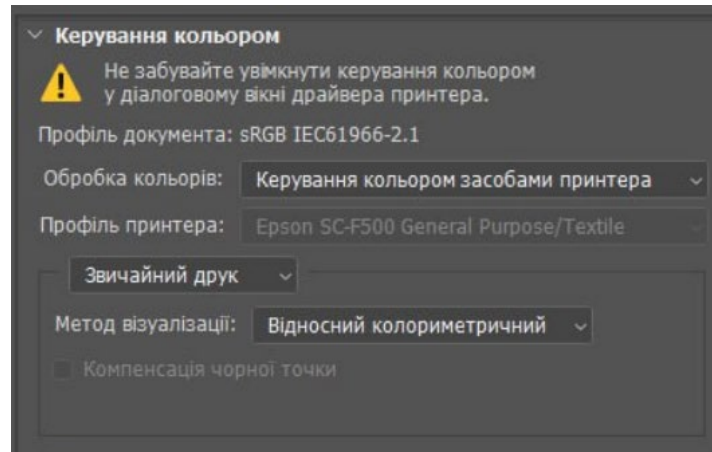


Рисунок 3 – Діалогове вікно управління кольором в Adobe Photoshop

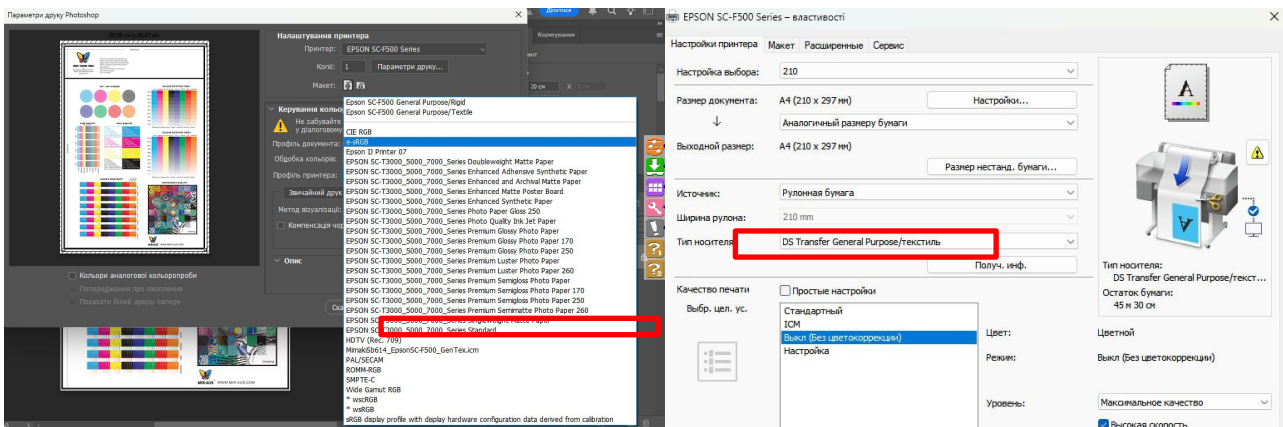


Рисунок 3 – Діалогове вікно вибору ICC-профілю відповідно до марки чорнила та паперу

На відбитку спектрофотометром виміряли координати колірності у колірному просторі Lab на ділянках зі 100%-им покриттям фарбою жовтого, пурпурного, голубого, червоного, зеленого та синього кольорів. За отриманими даними було побудовано фігуру колірного охоплення відбитку та оригінала (рис. 4).

Також для порівняння на графіку зображено колірне охоплення відбитка, отриманого струменевим способом друку та офсетного друку згідно ISO 12647-2:2013. Отримані результати показали, що колірне охоплення відбитка, отриманого сублімаційним способом друку, є дуже близьким до колірного охоплення оригінального зображення. Також високу точність кольоровідтворення підтверджує величина колірного контрасту, який для усіх кольорів на відбитку є меншим 5 (табл. 1). Для прикладу, на відбитках, отриманих струменевим способом цей показник значно вищий, що вказує на нижчу точність відтворення кольорів.

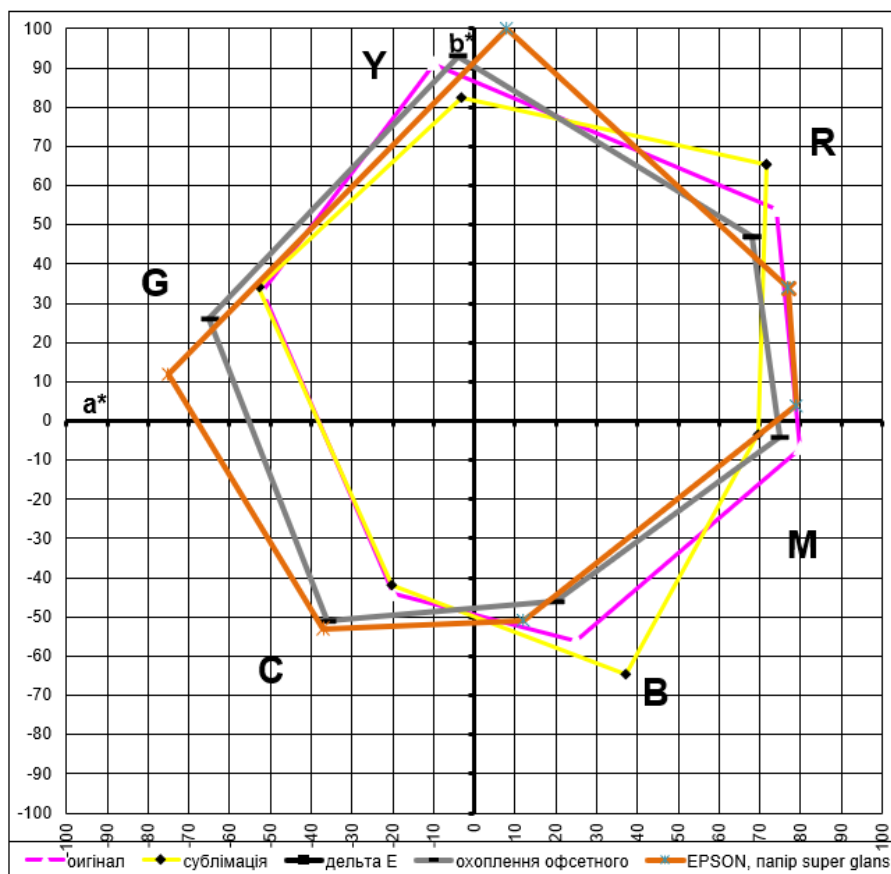


Рисунок 4 – Колірне охоплення відбитка

Таблиця 1 – Величина колірного контрасту для відбитків, отриманих різними цифровими способами друку

Колірний контраст	R	Y	G	C	B	M
ΔE сублімаційний друк	4,9	3,9	0,4	0,6	4,5	2,7
ΔE струменевий друк	9,2	9,7	12,4	6,8	6,6	4,2

Можна зробити висновок на підставі отриманих результатів, що використання профайлу конвертування даних у СМУК-простір, зробленого спеціально під використані чорнила та задруковувану основу, забезпечило високу точність відтворення кольорів. Тому, не дивлячись на складність та багатостадійність процесу сублімаційного друку, він може відтворювати колірний зміст оригінала без спотворень при використанні точних профайлів конвертування колірного змісту.

У цифровому друці баланс по сірому або нейтральність друку є одним із ключових показників, що визначає точність та стабільність кольоропередачі. Досягнення балансу по сірому – це основа якісного кольорового відбитка, незалежно від технології (лазерний, струменевий, широкоформатний друк чи цифрові друкарські машини).

Ахроматичні відтінки у цифровому друці – це індикатор того, наскільки система правильно дозує кольорові канали СМУ або СМУК. Якщо баланс порушений – сірий відтворюється з синім, зеленим, червоним чи іншим відтінком. Це відразу кидається в очі, особливо на портретах, фоні та деталях.

У фотографії та поліграфії саме нейтральні тони визначають загальну гармонію та «спокій» картини. Порушений баланс по сірому робить зображення брудним, «заваленим» у певний відтінок, менш контрастним. Баланс по сірому – це не другорядний технічний параметр, а фундамент цифрового друку.

Для оцінки балансу сірого на тестовому зображенні виміряно координати кольору полів сірої шкали, а також координати кольору цієї ж шкали на відбитку.

Як видно із зображених на рис. 5 залежностей нейтральність друку на оцінюваному відбитку на високому рівні. Криві, що демонструють вміст основних кольорів синтезу, розташовані на координатній площині близько одна до одної. Це свідчить про те, що нейтральні відтінки сформовані рівним кількостями основних кольорів, що і є основною умовою нейтральності відтінків. Отже, кольоровідтворення на досліджуваному відбитку є відмінним.

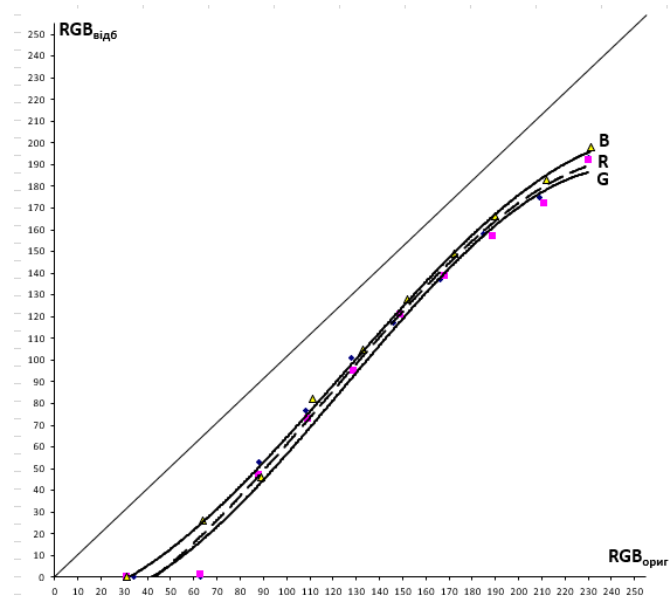


Рисунок 5 – Залежність вмісту одноколірних складових по ахроматичній шкалі

Наступна група важливих показників якості – це градаційне відтворення змісту зображення, тобто кількісні його характеристики. Згідно викладеної вище методики на отриманому відбитку у два етапи оцінюємо відтворення градаційного змісту зображення. Визначаємо відповідно два показники – характеристику та ступінь точності відтворення градації в усьому тоновому діапазоні та максимальну оптичну густину, досягну на відбитку при стовідсотковому заповненні фарбою. З метою порівняння також наведено градаційну характеристику відбитка, отриманого струменевим принтером Epson на високоякісному глянцевому папері для фотодруку.

По отриманій (рис. 6) залежності можна зробити висновок, що відбиток сублімаційним способом друку характеризується ширшим діапазоном оптичних густин, ніж відбиток, отриманий струменевим способом друку. Високі яскравості відображено з пониженим контрастом, діапазон півтіней – з нормальним, а глибокі тіні – з дуже високим контрастом. Зокрема у діапазоні глибоких тіней спостерігаємо різкий приріст оптичної густини і непропорційне

відтворення деталей яскравості. В цілому відтворення градаційного змісту зображення сублімаційним способом неможна вважати задовільним.

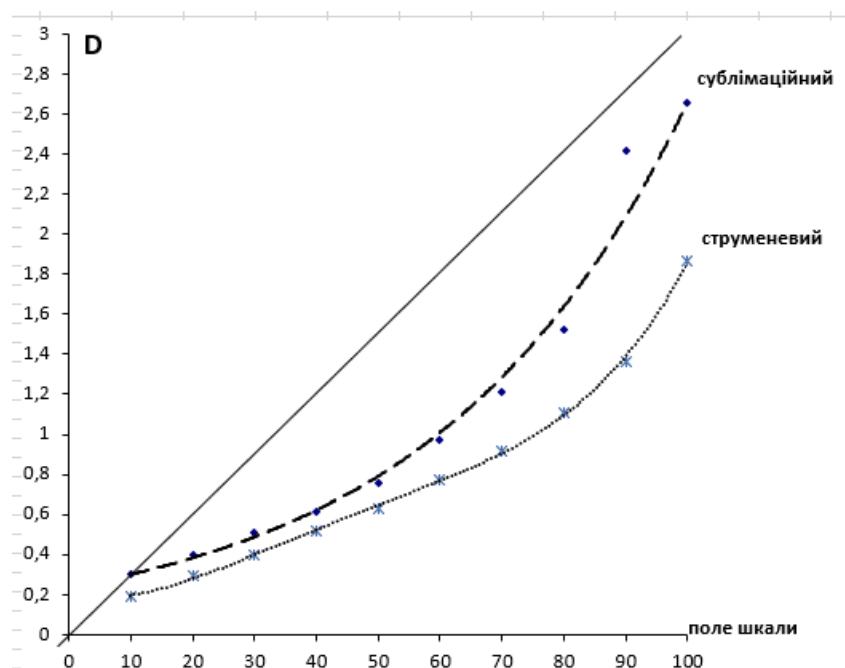


Рисунок 6 – Градаційне передавання на відбитках, отриманих цифровими способами друку

Порівняння оптичних густин по окремих кольорах на відбитках (рис. 7), отриманих сублімаційним та струменевим способами друку, демонструє, що по більшості кольорів сублімаційний друк забезпечує вищу оптичну щільність, ніж струменевий друк на високоякісному фотопапері. Це перевага сублімації, оскільки забезпечується висока насиченість кольорів.

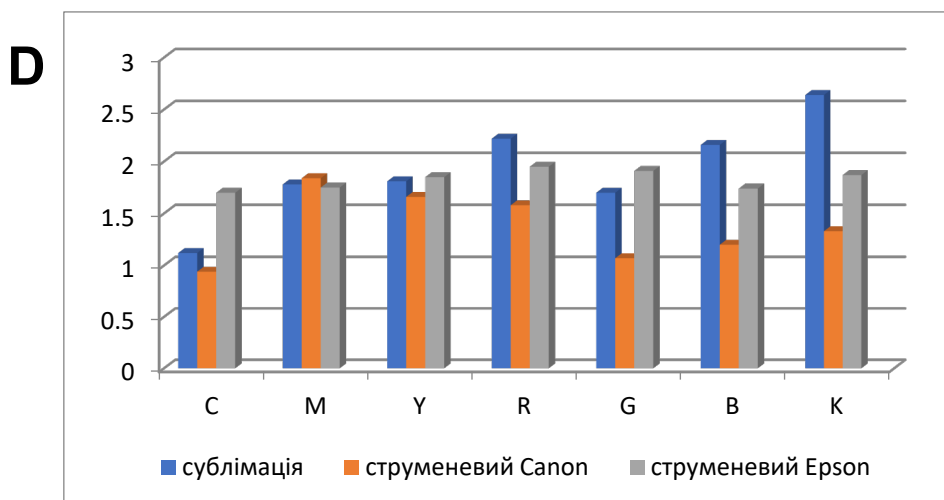


Рисунок 7 – Оптичні густини полів зі 100%-им заповненням фарбою відбитків, отриманих на сублімаційному та струменевому принтерах

У цифровому друці відтворення плавних градієнтів – одна з найтипівіших і водночас найскладніших задач. Найпоширеніший дефект – градієнт, який має бути плавним, перетворюється на серію помітних смуг. Причин для виникнення цього дефекту є багато: обмежена кількість тонових рівнів принтера; неточна лінеаризація та калібрування; нерівномірна подача чорнила (струменеві принтери);

особливості растрування (тип растру, частота, алгоритм згладжування), технологічні обмеження конкретного струменевого друку, яким створюється зображення на проміжковому носіїві – мікросмуги через нерівномірне відкладання дроплетів; двонапрямний друк дає «хвилі» у світлих градієнтах.

У сублімаційному друці проблеми з відтворенням градієнтів зустрічаються навіть частіше, ніж у класичному струменевому чи лазерному друці. Це зумовлено специфікою самої технології – перетворенням твердого барвника на газ і його проникненням у задруковувану основу, колір "розтікається" у матеріалі нерівномірно; ступінь проникнення залежить від щільності волокон і температурних коливань. Важливо дати кількісну оцінку цьому недоліку відтворення інформаційного змісту.

У межах цього дослідження прийнято рішення оцінювати плавність градієнту бальним методом, коли найвищу оцінку виставляється у разі повної відсутності недоліків та спотворень. Для оцінювання цього показника було зроблено фотографії відповідних ділянок відбитка у дуже крупному масштабі (рис. 8). З цих фото чітко видно, що по чорному, зеленому, синьому та голубому кольорах градієнт відтворюється зі смугами у діапазоні високої насиченості кольору. Тому цей показник було оцінено у балах на 3 бали, тобто невисока якість відтворення градієнта - наявне суттєве полосіння.

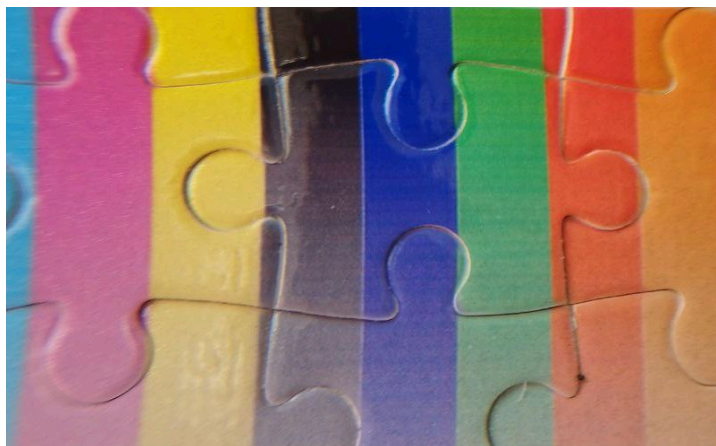


Рисунок 8 – Макрофотографія ділянки відбитка з градієнтом

Наступний важливий показник для оцінювання відбитку – графічна точність, що вимірюється за відтворенням розмірів дрібних деталей. Даний показник відноситься до категорії структурних характеристик зображення. По отриманих цифрових мікрофотографіях ділянок відбитків з відповідними штриховими елементами проводимо заміри ширини штрихів різної товщини (рис. 9).

Тест-об'єкт для контролю відтворення на зображенні дрібних деталей складений з штрихів різної товщини та з різним кольором та розташуванням: на білому фоні та на кольоровому, а також білі штрихи на кольоровому фоні. Навіть при первинному огляді макрофотографії видно, ще не уся група тестових штрихів відтворюється задовільно. Так, на чорному фоні зовсім не відтворені білі та кольорові штрихи.

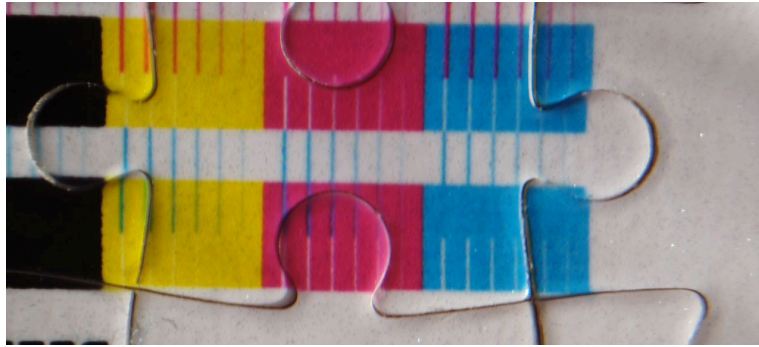


Рисунок 9 – Макрофотографія ділянки відбитка з дрібними штриховими елементами

Для більш об'єктивного аналізу було проведено вимірювання дрібних штрихів з використанням цифрового мікроскопа. Отримані результати представлено рис. 10.

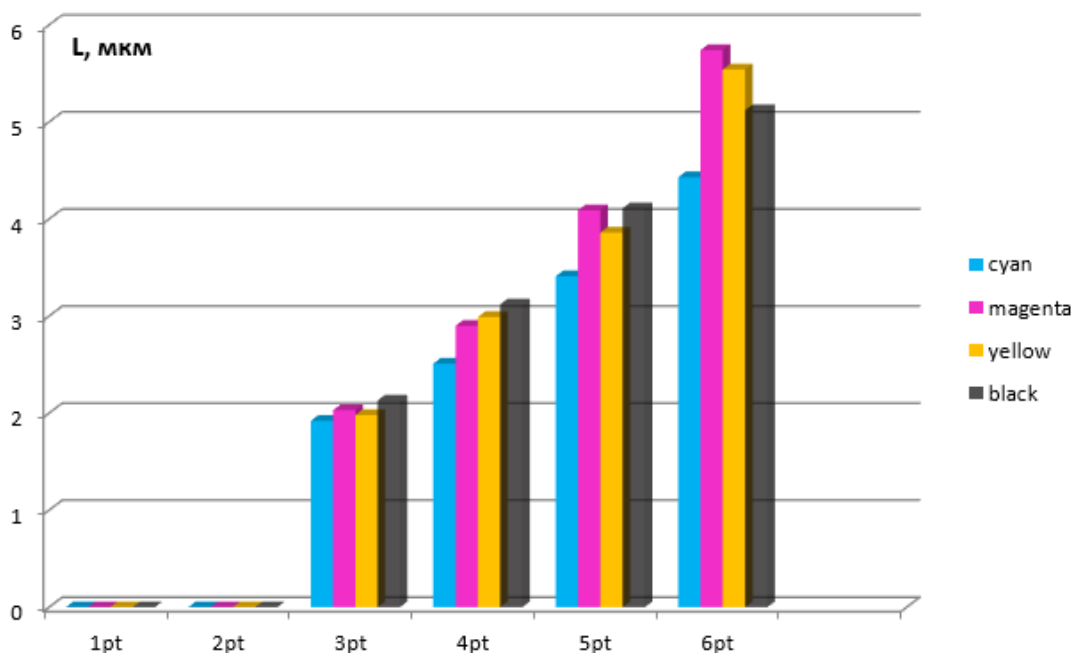


Рисунок 10 – Діаграма розподілу розмірів відтворюваних дрібних штрихових елементів

З представлених даних можна зробити висновки, що сублімаційний спосіб друку не забезпечує високої точності відтворення дрібних деталей зображення. Зокрема найдрібніші штрихи 1 та 2 pt не відтворилися зовсім, а більш крупні елементи відтворені з суттєвим спотворенням товщини – зменшеними у розмірах. Ще одна характерна особливість – різними фарбами дрібні елементи відтворені з різним розміром.

Ще один показник, що характеризує повноту відтворення інформаційного змісту – це точність відтворення шрифтових елементів, зокрема дрібним кеглем. Представлені на рис. 11. макрофотографії демонструють ділянки тестового відбитка, отриманого сублімаційним способом друку, що містять текстові поля, віддруковані окремо чотирма фарбами субтрактивного синтезу: літерні знаки кеглем від 1 до 6 пунктів кольорові на білому фоні та білі на кольоровому.

Оцінювання точності відтворення шрифту здійснюємо бальним методом по шкалі від 1 до 5 балів, де відповідно максимальним балом оцінюється

найвища точність відтворення елементів літерного знаку: чітко відтворено основний та з'єднувальний штрихи, засічка чітко візуалізується, знак читабельний при заданому масштабі відтворення.

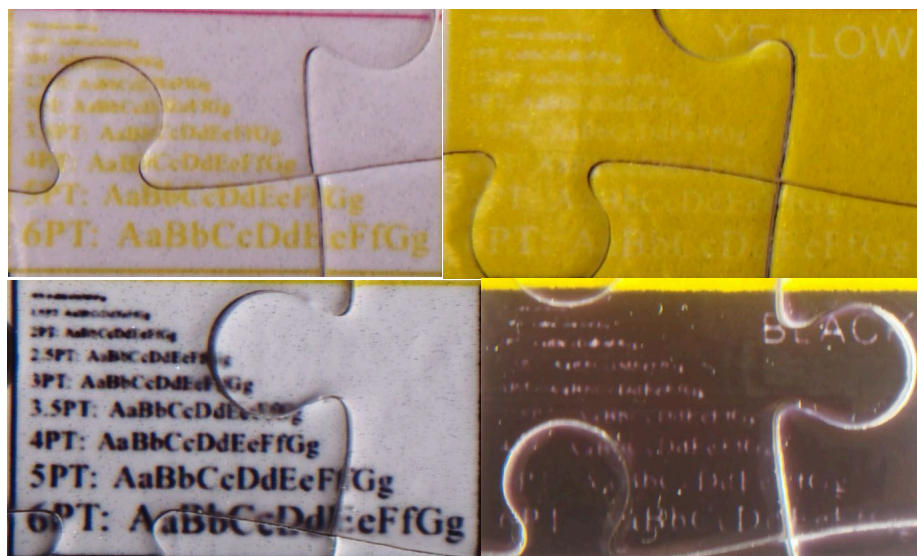


Рисунок 11 – Приклад текстових полів

Як видно з макрофотографій відбитка, кольорові літери на білому фоні відтворені з вищою чіткістю, натомість білі літери на кольоровому фоні усіма фарбами відтворені значно гірше, на жовтому та чорному фоні літери практично не візуалізовані. На усіх тестових полях шрифт візуалізується лише від розміру 2,5-3pt, дрібніші літери надто складно розрізнити чітко.

Узагальнюючи отримані результати, можна зробити висновок, що відтворення текстових елементів сублімаційним способом друку можна оцінити у 4 бали. Оскільки цим способом друку переважно декорують сувенірну продукцію, тому на практиці не виникатиме необхідність читання великих об'ємів тексту, оформленого малим кеглем.

Висновки

Результатом проведеного дослідження є систематизація показників точності відтворення інформаційного змісту зображення на відбитках сублімаційним способом друку. Запропоновані методики визначення цих показників.

Узагальнююче усі отримані дані, можна однозначно стверджувати, що сублімаційним способом друку вдається досягнути високої точності кольоровідтворення, балансу кольорів, а градаційне передавання є дещо гіршим, оскільки втрачається інформаційний зміст зображення у глибоких тінях. Щодо відтворення дрібних деталей (штрихових елементів та шрифтових знаків дрібним кеглем) та плавності градієнту, то сублімаційний друк має певні технологічні обмеження.

Список літератури.

1. Dye Sublimation Printing Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2025-2030). <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/dye-sublimation-printing-market>.
2. International Organization for Standardization. (2013). Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 1: Parameters and measurement methods. (ISO 12647-1:2013). <https://www.iso.org/standard/57816.html>.
3. 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 12647-2:2013). <https://www.iso.org/standard/57833.html>.
4. International Organization for Standardization. (2016). Graphic technology – Process control for the production of halftone colour separations, proof and production prints – Part 7: Proofing processes working directly from digital data. (ISO 12647-7:2016). <https://www.iso.org/standard/66426.html>.
5. International Organization for Standardization. (2012). Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 8: Validation print processes working directly from digital data. (ISO 12647-8:2012). <https://www.iso.org/standard/53436.html>.
6. Toshikj, E., & Prangoski, B. (2023). Textile Sublimation Printing: GLCM Print Mottle Assessment of Black Printed Fabric. *Materials Science (Medžiagotyra)*, 29(3), 375-381.
7. Бондар, І.О., & Хорошевський, О.І. (2012). Виробнича інформаційна система поліграфічного виробництва: навчальний посібник. Х.: Вид. ХНЕУ.
8. Репета, В.Б., Гаврилишин, О.Б., Дуфанець, М.Є., & Вархоляк, В.І. (2025). Встановлення оптимального режиму термоперенесення у процесі сублімаційного друку на тканинах. *Поліграфія і видавнича справа*, 1(89), 11-20.
9. Гавриш, Є.В., Григор'єв, О.В., & Чеботарьова, І.Б. (2020). Оцінка якості широкоформатного друку. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології*. Т. 2. (с. 87-89).
10. Кульбич, І.К., & Лотоцька, О.І. (2013). Оцінка якості відбитків при цифровому друці. *Технологія і техніка друкарства*, (4), 25-39.