

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРАФАРЕТНИХ ДРУКАРСЬКИХ ФОРМ

Криховець О.В.

к.х.н., доцент, кафедра мультимедійних технологій,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-2603-0991

Сельменська З.М.

к.т.н., доцент, кафедра мультимедійних технологій,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-9514-7923

***Анотація.** У статті розглянуто екологічні аспекти процесу виготовлення трафаретних друкарських форм. Обґрунтовано доцільність використання менш токсичних матеріалів, локального очищення стоків, повторного застосування форм і впровадження ресурсозберігальних технологій. Запропоновані підходи спрямовані на зменшення негативного впливу трафаретного формного процесу на довкілля.*

***Ключові слова:** трафаретний друк, екологічна оцінка, копіювальний шар, фотополімерна емульсія, екологізація поліграфічного виробництва, ресурсозбереження.*

Вступ

У сучасних умовах розвитку поліграфічного виробництва дедалі більшого значення набуває не лише забезпечення високої якості друкованої продукції, а й зниження негативного впливу технологічних процесів на довкілля. Одним із поширених способів друку є трафаретний друк, який застосовується для відтворення зображень на папері, картоні, полімерних матеріалах, текстилі, склі, металі та інших поверхнях. Його універсальність, відносна технологічна простота та можливість нанесення необхідного шару фарби зумовлюють широке використання цього способу у промисловому, рекламному, пакувальному та текстильному виробництві.

Процес виготовлення трафаретних друкарських форм пов'язаний із використанням різних хімічних матеріалів, зокрема фотополімерних емульсій, знежирювальних засобів, проявників, розчинників, засобів для видалення емульсії та очищення сітки. Під час підготовки, експонування, проявлення та регенерації друкарських форм утворюються виробничі відходи, забруднені стічні води, залишки хімічних речовин, а також можливі викиди летких органічних сполук [1]. Це створює потребу в системному аналізі екологічної безпечності зазначеного процесу та визначенні основних чинників його впливу на навколишнє середовище.

Сучасні підходи поєднують двох важливих напрямів розвитку поліграфічної галузі: підвищення якості поліграфічної продукції і зменшення екологічного

впливу процесу її виготовлення. Методи зменшення шкідливого впливу на довкілля під час виготовлення друкарських форм розглянуто у роботі [2]. Автори пропонують впровадження екологічно безпечніших технологій, що дозволить суттєво зменшити токсичні викиди та знизити техногенне навантаження на навколишнє середовище. Серед основних шляхів підвищення екологічності технологічного процесу виготовлення флексографічних фотополімерних форм автори виокремлюють застосування менш токсичних розчинників або водних систем, вилучення операції вимивання а також розроблення й упровадження нових, екологічно безпечніших технологій формного виробництва. Впровадження інформаційних і лазерних технологій у процес виготовлення друкарських форм дає змогу істотно підвищити рівень екологічної безпеки виробництва завдяки скороченню використання шкідливих хімічних речовин, зменшенню кількості відходів і мінімізації негативного впливу виробничих операцій на навколишнє середовище. Водночас слід зазначити, що впровадження таких технологічних рішень потребує значних капіталовкладень, що може бути суттєвим обмежувальним чинником для поліграфічних підприємств. Окремою невирішеною проблемою залишається утилізація відпрацьованих фотополімерних форм, оскільки на сьогодні не існує універсального та повністю екологічно безпечного підходу до поводження з такими відходами.

Екологічним вибором у поліграфії є ефективне використання матеріалів, ресурсощадність [3] і впровадження біорозкладних полімерів. У роботі [4] представлені результати дослідження технологічних параметрів трафаретного друку для отримання високоякісних зображень на оксо-біорозкладній пакувальній плівці. На основі аналізу експериментальних даних встановлено параметри друку, які найбільш суттєво впливають на стійкість шару фарби до стирання та роздільну здатність зображення при т трафаретному друці на сучасних пакувальних полімерних матеріалах.

Автори [5] розглядають фактори впливу поліграфічного виробництва на стан довкілля і систематизують основні джерела забруднення навколишнього середовища, що виникають під час додрукарських, друкарських та післядрукарських процесів. Зокрема в роботі проаналізовано утворення стічних вод із вмістом важких металів від процесів виготовлення друкарських форм та промивання обладнання, досліджено вплив летких органічних сполук (ЛОС), що виділяються при висиханні фарб, використанні змивальних засобів та розчинників, розглянуто проблему утилізації паперових відходів, використаної тари з-під фарб та хімікатів.

Дослідження впливу друкарських фарб та процесу друку на навколишнє середовище показує, що чорнила на основі розчинників, що використовуються для флексо-, глибокого та трафаретного друку, зволожувальні розчини для офсетного друку та мийні розчинники містять високу концентрацію летких органічних сполук. Кількість розчинника, що утримується флексо-, глибоким та трафаретним друком, становить 3-4% від загальної кількості використаного розчинника для чорнил [1]. Основними видами екологічного навантаження під час виготовлення

трафаретних друкарських форм є також утворення забруднених стічних вод, використання хімічних реагентів, споживання електроенергії, утворення відходів емульсій, тари, ганчір'я, фільтрів та залишків мийних засобів. Крім того, у разі застосування розчинникових систем можуть утворюватися леткі органічні сполуки, які негативно впливають на якість повітря робочої зони та довкілля.

Оцінка життєвого циклу поліграфічної продукції передбачає кількісну оцінку впливу поліграфічних матеріалів на навколишнє середовище на всіх етапах: від заготівлі сировини до утилізації. За допомогою методології оцінки життєвого циклу у роботі [6] оцінювали вплив друку пробних відбитків на навколишнє середовище та екологічну ефективність. Інноваційний процес друку пробних відбитків на цільовій підкладці демонструє менший вплив на навколишнє середовище, що підтверджується зменшенням викидів парникових газів, споживанням пластику та води в середньому в 40 разів. Токсичний вплив методу, що базується на системі пробного друку на цільовій підкладці, на живі організми більш ніж у шість разів нижчий, ніж у звичайного методу. Процес друку пробних відбитків на цільовій підкладці пропонує екологічно чисту альтернативу традиційному процесу твердої пробної друку, з меншими викидами парникових газів та меншим впливом на навколишнє середовище.

Актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю впровадження екологічно орієнтованих підходів у поліграфічній галузі, зокрема шляхом раціонального використання матеріалів, зменшення обсягів водоспоживання, скорочення кількості хімічних відходів та застосування менш токсичних технологічних засобів. Особливої уваги потребує оцінювання екологічних аспектів саме на етапі виготовлення друкарських форм, оскільки цей процес часто залишається менш помітним порівняно з власне друкуванням, проте може бути джерелом істотного екологічного навантаження.

Мета та задачі дослідження

Метою роботи є проведення екологічної оцінки процесу виготовлення трафаретних друкарських форм, визначення основних джерел екологічного навантаження на різних етапах формного процесу та обґрунтування шляхів зменшення негативного впливу на довкілля.

Для досягнення поставленої мети передбачено проаналізувати технологічні особливості виготовлення трафаретних друкарських форм, визначити основні матеріали та хімічні речовини, що використовуються у процесі виготовлення трафаретних форм, охарактеризувати потенційні джерела негативного впливу на довкілля, які виникають під час виготовлення трафаретних друкарських форм, оцінити екологічні ризики окремих стадій технологічного процесу, визначити напрями екологізації процесу виготовлення трафаретних форм, і обґрунтувати практичні рекомендації щодо зниження екологічного навантаження у процесі виготовлення трафаретних друкарських форм для підвищення екологічної безпечності поліграфічного виробництва.

Основна частина

Процес виготовлення трафаретних друкарських форм є важливим етапом трафаретного друку, оскільки саме від якості формної основи залежить точність відтворення зображення, стабільність фарбоперенесення та загальна якість друкованої продукції. Водночас цей процес супроводжується використанням ряду хімічних сполук, водних ресурсів, електроенергії та допоміжних матеріалів, що зумовлює необхідність його екологічної оцінки. Адже сучасний розвиток технологій виготовлення трафаретних друкарських форм спрямований не лише на підвищення продуктивності й точності формного процесу, а й на зменшення його негативного впливу на навколишнє середовище.

Трафаретна друкарська форма зазвичай складається з сітчастої основи, натягнутої на раму, та копіювального шару, який формує друкуючі й пробільні елементи. Основними етапами її виготовлення є підготовка сітки, знежирення, нанесення світлочутливої емульсії, сушіння, експонування, проявлення, висушування та, за потреби, регенерація форми після завершення друку. Кожен із цих етапів має певний вплив на навколишнє середовище, що проявляється у споживанні ресурсів, утворенні відходів або використанні потенційно небезпечних речовин. У зв'язку з цим дедалі більшого значення набувають інноваційні рішення та екологічно безпечні альтернативи, які дають змогу скоротити використання шкідливих матеріалів, зменшити кількість виробничих відходів і підвищити стабільність якості друкарських форм.

Правильний добір сітки-основи для трафаретного друку, зокрема пакування та етикеток, є одним із ключових чинників, що визначає якість готових відбитків, стабільність друкарського процесу, продуктивність виробництва та економічну доцільність виконання замовлення. Саме характеристики сітки впливають на кількість фарби, яка проходить крізь комірки, чіткість відтворення графічних елементів, рівномірність фарбового шару, адгезію фарби до пакувального матеріалу та довговічність надрукованого зображення. Для більшості завдань у сфері пакувального друку оптимальним варіантом є використання високоякісних поліестерових сіток. Вони характеризуються достатньою міцністю, стабільністю натягу, стійкістю до деформацій і хорошою розмірною стабільністю. Завдяки цьому поліестерові сітки забезпечують збалансоване поєднання двох важливих параметрів: високої чіткості друку та достатньої насиченості фарбового шару. Такі властивості роблять їх універсальними для нанесення зображень на різні види пакувальних матеріалів, зокрема папір, картон, полімерні плівки та комбіновані матеріали.

Нейлонові сітки доцільно застосовувати більш вибірково, оскільки їхні властивості не завжди відповідають вимогам високоточного друку. Основною перевагою нейлонових сіток є підвищена еластичність і гнучкість, що може бути корисним під час друку на нерівних, об'ємних або складних за формою поверхнях. Також вони можуть бути ефективними у випадках використання абразивних фарбових систем. Водночас через більшу схильність до розтягування

та нижчу розмірну стабільність нейлонові сітки не є найкращим вибором для прецизійного друку, де важливими є точність суміщення, чіткість дрібних елементів і стабільність параметрів упродовж усього тиражу. Металеві сітки, зокрема з нержавіючої сталі, використовуються переважно у спеціалізованих випадках, коли необхідно досягти максимальної роздільної здатності, високої точності відтворення дрібних деталей і стабільної якості протягом великих тиражів. Вони мають високу міцність, мінімальну деформацію та добру стабільність геометричних параметрів. Проте через високу вартість такі сітки доцільно застосовувати лише тоді, коли їхні технічні переваги економічно виправдані, наприклад для високоточних або масових замовлень.

Важливе значення має також вибір виробника сітки. Використання матеріалів від відомих і перевірених компаній, таких як Sefar, NBC, Saati, дає змогу забезпечити стабільність основних характеристик: товщини нитки, рівномірності плетіння, відкритої площі сітки, міцності та здатності зберігати натяг. Це безпосередньо впливає на якість друку, зменшує ризик технологічних відхилень, скорочує кількість браку та виробничих відходів.

Виготовлення трафаретних друкарських форм пов'язане із застосуванням хімічно активних матеріалів, зокрема проявників, закріплювачів, розчинників і світлочутливих емульсій. У процесі їх використання можуть утворюватися речовини та відходи, які створюють додаткове екологічне навантаження на виробниче середовище і довкілля.

До основних джерел такого навантаження належать:

- леткі органічні сполуки (VOC), що можуть виділятися під час сушіння або використання матеріалів- розчинників;
- залишки копіювальних шарів, які утворюються після проявлення трафаретної форми;
- відпрацьована промивна вода, що містить домішки емульсії, мийних засобів та інших хімічних компонентів.

Поводження з такими відходами потребує дотримання встановлених вимог щодо збирання, зберігання, транспортування та утилізації небезпечних виробничих відходів, зокрема відходів II класу небезпеки. Крім того, стічні води, які утворюються під час промивання та проявлення форм, мають проходити попереднє очищення за допомогою фільтраційного обладнання, нейтралізаторів та інших систем локальної очистки.

У сфері поліграфічного виробництва важливу роль відіграють міжнародні та національні стандарти, які регламентують екологічно безпечну організацію виробничих процесів. До них належать:

- ISO 14001 – стандарт, що встановлює вимоги до систем екологічного менеджменту [7];
- ISO 12647-5:2014 – стандарт, який стосується трафаретного друку та містить положення щодо контролю якості й екологічних аспектів процесу [8];
- ДСТУ ISO 14024 – стандарт, пов'язаний з екологічним маркуванням продукції [9].

Дотримання зазначених стандартів дає змогу знизити ризики забруднення повітря, води та ґрунту, упорядкувати процедури поводження з виробничими відходами, забезпечити контроль використання хімічних речовин і оцінити екологічний вплив підприємства. Таким чином, стандартизація екологічних процедур є важливою умовою підвищення безпечності та сталості процесу виготовлення трафаретних друкарських форм.

Виготовлення трафаретних друкарських форм можна розглядати як процес, у якому необхідно забезпечити рівновагу між досягненням високих технічних характеристик друку та зниженням негативного впливу на навколишнє середовище і здоров'я працівників. З технологічної точки зору сучасні фототрафаретні форми здатні забезпечувати високу роздільну здатність, точність передавання зображення, стабільність друкарського процесу, значну тиражостійкість і сумісність із різними видами фарб. Цьому сприяє розвиток фотополімерних емульсій, удосконалення експонувального обладнання та підвищення точності формних процесів.

Для зменшення екологічного навантаження провідні виробники копіювальних шарів, зокрема KIWO, Murakami, MacDermid та Ulano, поступово орієнтуються на впровадження більш екологічно безпечних технологічних рішень.

До основних напрямів такої екологізації належать:

- застосування полімерних матеріалів, що не містять летких органічних сполук, тобто належать до категорії VOC-free;
- скорочення обсягів використання води та зменшення потреби у проявниках на основі органічних розчинників;
- впровадження безпроцесних або маловідходних технологій, які дають змогу знизити кількість виробничих відходів;
- використання УФ-отверджуваних копіювальних шарів, що потребують меншого енергоспоживання під час експонування.

Важливу роль у зменшенні негативного впливу на довкілля відіграють також замкнуті цикли обробки, зокрема повторне використання промивних розчинів, очищення повітря в робочій зоні та відведення потенційно шкідливих викидів через спеціальні фільтраційні системи. Такі заходи дозволяють мінімізувати потрапляння забруднювальних речовин у воду, повітря та ґрунт. У цьому контексті виробничі підприємства мають дотримуватися вимог Директиви ЄС 2010/75/EU [10] про промислові викиди, яка спрямована на обмеження забруднення довкілля внаслідок промислової діяльності.

Вибір копіювального шару для виготовлення трафаретних друкарських форм має здійснюватися з урахуванням не лише технологічних параметрів друку, а й екологічних характеристик матеріалів. Важливими критеріями є тип фарбової системи, вимоги до тиражостійкості, спосіб проявлення та регенерації форми, токсичність компонентів, обсяг утворених відходів і можливість зменшення використання хімічних речовин. Виробники KIWO, Murakami, MacDermid та Ulano пропонують високоякісні копіювальні матеріали, які

застосовуються у сучасному трафаретному друці, доступні на ринку України та відповідають актуальним технологічним і екологічним вимогам (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняльна характеристик копіювальних шарів

Виробник	Тип полімеру	Роздільна здатність (lpi)	Зносостійкість (тис. відбитків)	VOC (г/м ²)	Температура експонування (°C)	Екологічність (1-5)
Kiwo	Поліуретан	120	50	8.2	30	4
Murakami	Діазо+пф	100	40	10.5	25	3
MacDermid	Фотополімер	135	60	5.3	28	5
Ulano	Хромдіазо	110	45	9.1	26	3

Порівнюючи основні характеристики копіювальних шарів було здійснено оцінювання їхніх технологічних, експлуатаційних та екологічних показників. До ключових параметрів дослідження належали тип полімерної основи, роздільна здатність, зносостійкість, рівень вмісту летких органічних сполук, температурні умови експонування та загальна екологічність матеріалів. Діаграми на рис. 1 і рис. 2 відображають максимальні та мінімальні значення роздільної здатності досліджуваних копіювальних шарів.

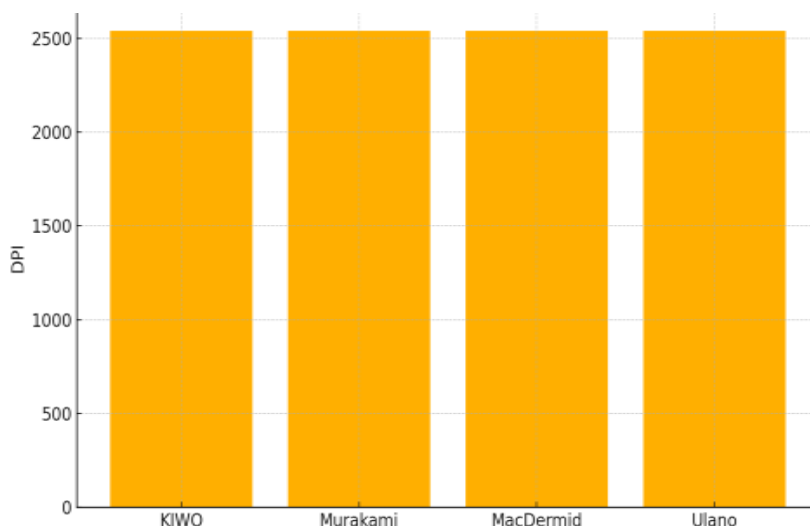


Рисунок 1 – Максимальна роздільна здатність досліджуваних копіювальних шарів

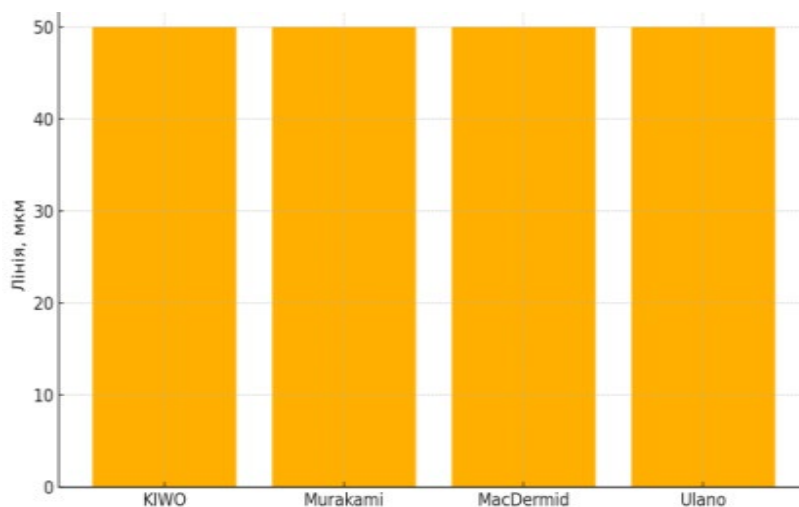


Рисунок 2 – Мінімальна роздільна здатність досліджуваних копіювальних шарів

Як видно з рисунків, найвищі показники роздільної здатності демонструють копіювальні шари виробників MacDermid та Kiwo. Зокрема, матеріал MacDermid забезпечує роздільну здатність на рівні 135 lpi, а Kiwo – 120 lpi, що свідчить про їхню здатність якісно відтворювати дрібні графічні елементи, тонкі лінії та складні растрові структури. Використання копіювальних шарів MacDermid і Kiwo забезпечує отримання друкованої продукції з високими показниками відтворення зображення.

Порівняно з ними, копіювальні шари Murakami та Ulano мають дещо нижчі показники роздільної здатності - відповідно 100 lpi та 110 lpi. Однак ці матеріали також можуть бути ефективно використані у трафаретному друці, особливо для продукції, де не вимагається відтворення надзвичайно дрібних деталей або високої растрової точності.

Інфографічне порівняння екологічних характеристик досліджуваних копіювальних шарів наведено на рис. 3-5. Згідно рис. 3, найнижчим рівнем енергоспоживання характеризуються копіювальні шари фірми-виробника MacDermid. Це свідчить про їхню вищу енергоефективність у процесі виготовлення трафаретних друкарських форм.

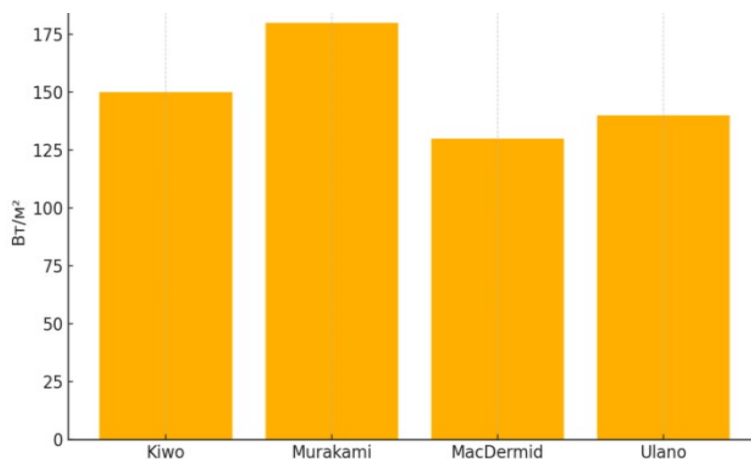


Рисунок 3 – Енергоспоживання копіювальних шарів

Натомість копіювальні шари Murakami мають найвищий показник енергоспоживання серед досліджуваних матеріалів, що може зумовлювати збільшення загальних енергетичних витрат формного процесу.

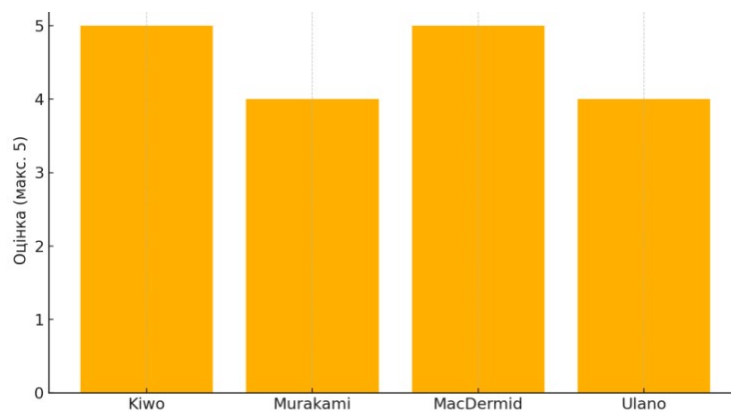


Рисунок 4 – Стійкість до розчинників

Аналіз показників стійкості до розчинників та утилізаційної безпечності, представлених на рис. 4 і рис. 5, свідчить, що найкращі результати за цими характеристиками демонструють копіювальні шари виробників MacDermid та Kiwo.

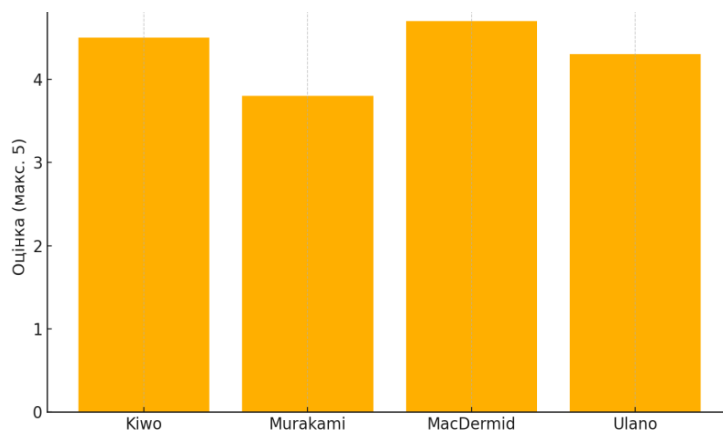


Рисунок 5 – Утилізаційна безпечність

Висока стійкість до розчинників забезпечує кращу експлуатаційну надійність трафаретної форми, зменшує потребу в частому очищенні або повторному виготовленні форм, а отже, сприяє скороченню використання хімічних реагентів. Підвищені показники утилізаційної безпечності копіювальних шарів MacDermid і Kiwo свідчать про їхню більшу відповідність сучасним екологічним вимогам. Такі матеріали є доцільнішими для використання у технологіях, орієнтованих на зменшення негативного впливу поліграфічного виробництва на довкілля.

Отримані результати узгоджуються з попередньо проаналізованими показниками роздільної здатності. Зокрема, копіювальні шари MacDermid та Kiwo демонструють не лише високі репродукційно-графічні властивості, а й кращі екологічні та експлуатаційні характеристики. Це дає підстави вважати їх найбільш ефективними серед досліджуваних матеріалів для виготовлення якісних і екологічно безпечніших трафаретних друкарських форм.

На рис. 6 наведено порівняння вмісту летких органічних сполук (VOC) у копіювальних шарах виробників KIWO, Murakami, MacDermid та Ulano.

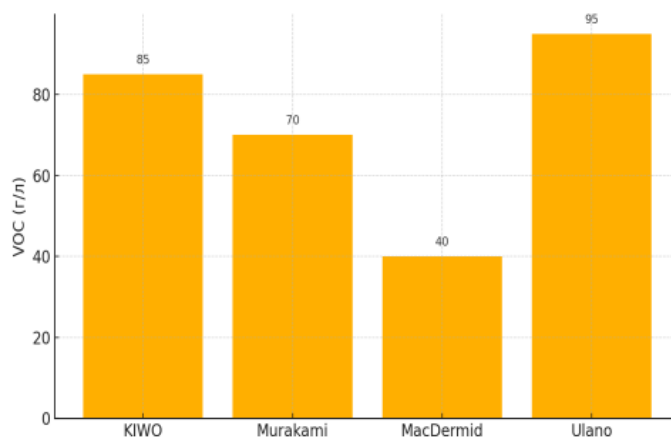


Рисунок 6 – Порівняльний рівень летких органічних сполук серед виробників

Згідно з представленими даними, найнижчий показник VOC має продукція MacDermid – 40 г/л, що свідчить про її кращі екологічні характеристики. Найвищий рівень летких органічних сполук зафіксовано у матеріалів Ulano – 95 г/л, що вказує на більший потенційний вплив на довкілля та якість повітря робочої зони.

Варто зазначити, що виробники KIWO, Murakami, MacDermid та Ulano пропонують копіювальні матеріали та допоміжні засоби, які додатково орієнтовані на підвищення екологічної безпечності процесу виготовлення трафаретних друкарських форм. Це проявляється у зменшенні використання токсичних компонентів, скороченні кількості хімічних реагентів, підвищенні стійкості емульсій до дії фарб і розчинників, а також у розробленні спеціальних засобів для безпечнішого очищення та регенерації трафаретних сіток. Зокрема, KIWO пропонує лінію засобів CLEANLINE, призначену для екологічно безпечнішого очищення трафаретних форм і сіток. Використання таких матеріалів дозволяє зменшити негативний вплив процесів очищення на довкілля, знизити кількість шкідливих залишків у стічних водах і підвищити безпечність роботи з хімічними речовинами. Murakami розробляє емульсії, які не потребують додавання діазокомпонентів. Це є важливою екологічною перевагою, оскільки зменшується кількість допоміжних хімічних речовин, спрощується підготовка матеріалу до використання та знижується потенційне хімічне навантаження під час виготовлення друкарської форми. MacDermid пропонує копіювальні матеріали, що характеризуються високою стійкістю до агресивних фарбових систем і розчинників. Завдяки цьому форми можуть довше зберігати свої експлуатаційні властивості, що зменшує потребу в частому очищенні, регенерації або повторному виготовленні форм. Відповідно, скорочується використання хімічних реагентів, води та енергоресурсів. Ulano виробляє емульсії, які не містять фталатів і відповідають сучасним вимогам до безпечності матеріалів. Такі властивості є особливо важливими для поліграфічної продукції, що контактує з людиною або використовується у сферах із підвищеними вимогами до екологічності, зокрема для пакування та дитячих видань.

Зменшення негативного впливу процесу виготовлення трафаретних друкарських форм на довкілля можливе завдяки впровадженню комплексу технологічних та організаційних рішень. До найбільш ефективних заходів належать:

- перехід на безрозчинникові копіювальні емульсії, що не містять або містять мінімальну кількість летких органічних сполук;
- використання закритих систем проявлення, у яких промивна вода проходить багатоступеневу фільтрацію та може частково використовуватися повторно;
- автоматизація процесу нанесення емульсій, що зменшує контакт оператора з хімічними речовинами та підвищує рівномірність формування копіювального шару;

– встановлення вентиляційних систем з адсорбційними фільтрами, які затримують шкідливі випари та знижують концентрацію забруднювачів у повітрі робочої зони;

– застосування енергоощадних систем сушіння та експонування, зокрема LED-UV-технологій;

– використання багаторазових рам і сіток, а також технологічних рішень, що полегшують заміну або регенерацію копіювального шару.

Застосування таких заходів дозволяє скоротити обсяги водоспоживання, зменшити кількість хімічних відходів, знизити викиди летких органічних сполук і підвищити безпеку праці персоналу [11].

Одним із перспективних напрямів є впровадження комп'ютеризованих технологій виготовлення трафаретних форм, зокрема технології Computer-to-Screen (CTS). На відміну від традиційного способу, який передбачає використання прозорої фотоплівки із зображенням для подальшого експонування, CTS-технологія дає змогу переносити зображення на форму без застосування плівкових матеріалів. Це істотно зменшує кількість відходів, пов'язаних із виготовленням, обробкою та утилізацією фотоплівок, а також дозволяє відмовитися від використання хімічних речовин, необхідних для їх проявлення та фіксації. У сучасній практиці застосовують два основні різновиди CTS-технологій. Перший передбачає лазерне експонування, за якого лазерний промінь безпосередньо засвічує світлочутливий емульсійний шар відповідно до цифрового зображення. Другий ґрунтується на струменевому нанесенні маски, коли спеціальний принтер наносить на поверхню сітки блокувальне чорнило або віск, після чого форма проходить УФ-експонування. Обидва підходи забезпечують високу точність перенесення зображення, скорочують тривалість підготовчих операцій і підвищують повторюваність результатів. Екологічна перевага CTS-технології полягає насамперед у зменшенні використання фотоматеріалів і супровідної хімії. Відмова від фотоплівок дозволяє скоротити обсяг пластикових відходів, а також зменшити потребу в проявниках, закріплювачах та інших хімічних реагентах, які застосовуються у традиційному процесі підготовки фотоформ. Це позитивно впливає на загальну екологічність виробництва та зменшує навантаження на системи поводження з відходами.

Крім екологічних переваг, цифрові технології виготовлення форм мають і важливі технологічні переваги [12]. Зокрема, вони забезпечують вищу точність суміщення та реєстрації зображення, оскільки усувають можливі оптичні спотворення, які можуть виникати під час використання фотоплівки. Це сприяє покращенню репродукційно-графічних характеристик трафаретної форми, зменшенню кількості браку та підвищенню стабільності друкарського процесу.

Водночас слід враховувати, що окремі CTS-системи, зокрема лазерні установки, можуть споживати більше електроенергії порівняно з традиційними експонувальними пристроями. Проте загальний екологічний ефект від їх використання залишається позитивним, оскільки скорочення матеріальних відходів, зменшення використання хімічних речовин і підвищення точності

формного процесу компенсують можливе збільшення енергоспоживання. Отже, впровадження CTS-технологій є одним із ефективних шляхів екологізації процесу виготовлення трафаретних друкарських форм.

Одним із важливих напрямів екологізації процесу виготовлення трафаретних друкарських форм є використання вдосконалених копіювальних емульсій, розроблених з урахуванням не лише технологічних, а й природоохоронних вимог. Провідні виробники матеріалів для трафаретного друку поступово впроваджують нові рецептури емульсій, які забезпечують високу якість формування зображення, стабільність друку та водночас мають знижений негативний вплив на довкілля. Зокрема, поширення набувають емульсії, призначені для LED-експонування. Такі матеріали мають підвищену світлочутливість у вузькому спектральному діапазоні, що дозволяє скоротити час експонування форми та зменшити споживання електроенергії. Це є важливою перевагою, оскільки етап експонування безпосередньо пов'язаний з енергетичними витратами формного процесу.

Окрему групу становлять продукти з маркуванням “eco-friendly”, які позиціонуються як більш безпечні для довкілля та працівників виробництва. Зазвичай такі емульсії не містять летких органічних розчинників, а їхня полімерна основа виготовляється із застосуванням смол без небезпечних мономерів. Крім того, на ринку представлені емульсії, у складі яких відсутні речовини, віднесені до категорії SVHC – речовин, що викликають особливе занепокоєння в Європейському Союзі. Такі матеріали відповідають вимогам регламенту REACH, що свідчить про їхню більшу хімічну безпечність.

Деякі виробники також заявляють про біорозкладність окремих емульсійних шарів. У цьому випадку мається на увазі, що після видалення зі сітки залишки емульсії можуть поступово розкладатися під дією мікроорганізмів до менш шкідливих або безпечних компонентів. Водночас слід зазначити, що повністю біорозкладні фотополімерні матеріали поки що не є масово поширеними. Тому більшість сучасних “екологічних” емульсій радше спрямовані на мінімізацію токсичних домішок, зниження хімічної небезпеки та зменшення побічного впливу на довкілля.

Ще одним перспективним рішенням є використання водорозчинних копіювальних емульсій, зокрема у сфері друку на текстильних матеріалах. Їхньою перевагою є те, що після завершення друкування такі шари можна видалити зі сітки за допомогою звичайної води без застосування агресивних хімічних ремOVERів. Це значно спрощує процес регенерації трафаретної форми: форму достатньо замочити, після чого копіювальний шар поступово відокремлюється від сітчастої основи. З екологічної точки зору водорозчинні емульсії є привабливими, оскільки дають змогу зменшити або повністю усунути використання сильних окисників, лужних засобів та інших хімічно активних речовин для видалення емульсії. Це знижує небезпеку утворення токсичних стічних вод і полегшує поводження з відходами формного процесу. Разом із тим такі емульсії мають певні обмеження. Вони сумісні не з усіма видами фарб і не

завжди забезпечують достатню тиражостійкість для великих накладів або складних виробничих умов. Тому їх застосування доцільне переважно для окремих видів продукції, де вимоги до хімічної стійкості форми є помірними, а екологічна безпечність процесу має пріоритетне значення.

Одним із важливих напрямів екологізації процесу виготовлення та відновлення трафаретних друкарських форм є застосування безпечніших систем очищення і регенерації. Поряд із біорозчинниками на основі цитрусових або соєвих компонентів дедалі ширше впроваджуються сучасні очищувальні рідини, які мають низьку токсичність і можуть використовуватися повторно. Прикладом такого підходу є технологія Intelligent Fluids®, розроблена німецькими фахівцями у сфері хімії. Її суть полягає у використанні спеціальних рецептур, які діють на мікрорівні: вони ефективно руйнують і видаляють залишки фарб та копіювальних емульсій, але після завершення процесу очищення можуть бути відновлені та повторно застосовані. Завдяки цьому зменшується кількість відпрацьованих хімічних розчинів і майже усувається проблема утворення рідких хімічних відходів під час очищення форм. Хоча такі системи поки що є дорожчими порівняно з традиційними засобами очищення, їх використання дає змогу істотно знизити екологічне навантаження виробництва. Вони сприяють економії хімічних матеріалів, скороченню обсягів небезпечних відходів і підвищенню безпеки праці на поліграфічному підприємстві.

Перспективним рішенням також є використання автоматизованих мийних установок закритого типу. У таких системах оператор розміщує трафаретну форму в спеціальній камері, де очищення здійснюється за допомогою струменів безпечного мийного розчину, а в окремих випадках – із використанням ультразвукового впливу. Це дозволяє ефективно видаляти залишки фарби, емульсії та інших забруднень із поверхні сітки. Перевагою таких установок є те, що мийний розчин циркулює всередині системи, багаторазово фільтрується та повторно використовується. Утворений осад або шлам збирається окремо і передається на утилізацію відповідно до вимог поводження з виробничими відходами. Такий підхід мінімізує контакт працівників із хімічними речовинами, знижує ризик потрапляння забруднювачів у каналізацію та підвищує загальну екологічну безпечність процесу регенерації трафаретних форм. Технологічний процес водо підготовки і водовідведення для поліграфічних підприємств повинен максимально враховувати потреби виробництва та мати ресурс ощадну технологію [13].

У межах концепції сталого розвитку також розглядаються альтернативні способи створення трафаретних форм, які дозволяють частково або повністю відмовитися від традиційних фотохімічних процесів. Одним із таких напрямів є лазерне формування трафарету. У цьому випадку замість нанесення і подальшого проявлення фотоемульсії лазерний промінь формує зображення шляхом видалення окремих ділянок спеціального лакового шару або полімерної основи. Такий метод поки що не набув широкого поширення у звичайному поліграфічному трафаретному друці, однак він уже успішно застосовується в

електронній промисловості, зокрема для виготовлення трафаретів нанесення паяльної пасти. У цій сфері лазером вирізають отвори в металевих трафаретах, що забезпечує високу точність формування елементів.

Для традиційного друку лазерне гравіювання або лазерна різка поки що поступаються фотохімічним методам за швидкістю, роздільною здатністю та економічною ефективністю. Проте головною перевагою цього підходу є відсутність потреби у фотохімічних матеріалах, проявниках, ремOVERах та інших хімічних реагентах. Саме тому подальше вдосконалення лазерних методів формоутворення може стати перспективним напрямом екологізації трафаретного друку.

Ще одним альтернативним підходом є пряме трафаретування без використання копіювальних емульсій. Для простих друкарських завдань можуть застосовуватися вирізані шаблони з вінілової плівки, паперу або інших тонких матеріалів, які накладаються на сітку й виконують функцію трафарету. Такий метод практично повністю усуває потребу в хімічній обробці форми, тому може бути корисним у художній, навчальній або дрібносерійній практиці. Водночас такі способи мають обмежене застосування у промисловому виробництві. Вони не забезпечують такої точності, довговічності та тиражостійкості, як класичні фототрафаретні форми. Тому їх доцільно використовувати лише для нескладних зображень, малих накладів або творчих завдань, де екологічність і простота процесу є важливішими за високу деталізацію та тривалий строк експлуатації форми.

З екологічної позиції трафаретне формне виробництво поступово переходить до використання безпечніших хімічних складів [11], енергоощадного обладнання, зокрема LED-систем, багаторазового використання матеріалів через регенерацію сіток, а також очищення форм без утворення значної кількості токсичних відходів. Інноваційні рішення, такі як CTS-технології, біорозкладні або малотоксичні розчинники, водорозчинні емульсії та замкнуті системи очищення, демонструють перспективний напрям розвитку сталого трафаретного друку. Таким чином, упровадження сучасних технологій у процес виготовлення трафаретних друкарських форм дає змогу поєднати високу якість друку з принципами екологічної безпеки, ресурсоефективності та відповідального природокористування. Це дозволяє не лише покращити репродукційно-графічні характеристики форм, а й зменшити кількість відходів, скоротити споживання води й енергії та підвищити загальну сталість поліграфічного виробництва.

Одним із перспективних напрямів екологізації формного процесу є впровадження безпроцесних технологій, які дають змогу частково або повністю усунути стадію проявлення. Такі рішення передбачають формування зображення без використання традиційних проявників, промивних рідин або значних обсягів води.

До прикладів таких технологічних підходів можна віднести:

– MacDermid LUX In-The-Plate (ITP) – фотополімерні системи з можливістю прямого лазерного експонування;

– Kodak Sonora – безпроцесні термопластини, що не потребують хімічного проявлення;

– KIWO DirectPro – безпроцесні поліуретанові шари, орієнтовані на зменшення кількості технологічних операцій.

Основними перевагами безпроцесних технологій є:

- зменшення витрат води та електроенергії;
- відмова від використання агресивних хімічних проявників;
- скорочення кількості промивних рідин і забруднених стічних вод;
- зниження викидів летких органічних сполук;
- підвищення безпеки для працівників виробництва;
- зменшення кількості виробничих відходів.

Впровадження таких технологій є особливо доцільним у виробництві пакування для харчової, дитячої, фармацевтичної та косметичної продукції, де вимоги до чистоти виробничого процесу, безпечності матеріалів і мінімізації забруднень є особливо високими. Перехід до безпроцесних або маловідходних технологій у виготовленні друкарських форм є важливим кроком до підвищення екологічної безпеки поліграфічного виробництва. Він дає змогу поєднати високу якість формування зображення з принципами ресурсозбереження, зменшенням хімічного навантаження та покращенням умов праці.

Висновки

Процес виготовлення трафаретних друкарських форм є багатofакторним і потребує одночасного контролю технологічних та екологічних параметрів. Якість форм залежить від стану сітки, рівномірності її натягу, властивостей копіювального шару, точності експонування, якості проявлення та правильності подальшого використання форми. Порушення будь-якого з цих параметрів може призвести до дефектів друку та збільшення кількості виробничих відходів. Найбільш екологічно значущими етапами виготовлення трафаретних форм є знежирення сітки, проявлення та регенерація. Саме на цих стадіях утворюються забруднені стічні води та використовуються хімічні речовини. Сушіння й експонування мають переважно енергетичний вплив, тому їх екологічність залежить від енергоефективності обладнання та правильності вибору режимів роботи. Особливу увагу слід приділяти взаємозв'язку між якістю форм і екологічністю процесу їх виготовлення. Висока якість форми зменшує кількість браку, повторних операцій і витрат матеріалів, тоді як низька якість спричиняє додаткове використання емульсій, води, електроенергії та хімічних засобів. Тому контроль якості є не лише технологічним, а й екологічним інструментом.

Екологічні підходи до процесу виготовлення трафаретних друкарських форм повинні базуватися на принципах ресурсозбереження, зменшення токсичності використовуваних матеріалів, повторного використання формних основ, очищення стічних вод і підвищення стабільності технологічного процесу.

Це дасть змогу забезпечити високу якість друкарських форм, знизити виробничі витрати та мінімізувати негативний вплив поліграфічного виробництва на довкілля. Комплексна екологічна оцінка трафаретного формного процесу є необхідною умовою підвищення сталості поліграфічного виробництва та його відповідності сучасним вимогам екологічної безпеки.

Список літератури.

1. Aydemir, C., & Ayhan Özsoy, S. (2020). Environmental impact of printing inks and printing process. *Journal of Graphic Engineering and Design*, 11(2), 11-18. <https://doi.org/10.24867/JGED-2020-2-011>.
2. Репета, В.Б., Кукура, Ю.А., & Дидів, А. І. (2023). Екологізація формних процесів у поліграфії. *Техногенно-екологічна безпека*, 13(1), 45-49.
3. Репета, В.Б., Гаврилишин, О.Б., Криховець, О.В., & Жидецький, В.Ц. (2023). Встановлення оптимального параметра картону як фактора мінімізації відходів пакувального виробництва. *Наукові записки Української академії друкарства*, 2(67), 229-238.
4. Korotka, V., Havenko, S., & Bazylyuk, K. (2017). Optimization of image screen printing process on film biodegradable packaging. *Journal of Graphic Engineering and Design*, 8(2), 11-17. <https://doi.org/10.24867/JGED-2017-2-011>.
5. Гроза, В.А., Гай, А.Є., Вовк, О.О., Копиленко, А.В., & Тимонін, О.М. (2008). Фактори впливу поліграфічного виробництва на стан довкілля. *Вісник НТУУ «КПІ»*, 1(1), 56-61.
6. Nogacki, J., Buschmann, U., Krystosiak, K., & Żołek-Tryznowska, Z. (2025). Life cycle assessment of proofing test production on printing surfaces with use of carbon footprint methodology. *Applied Sciences*, 15(3), Article 1136. <https://doi.org/10.3390/app15031136>.
7. Держстандарт України. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 14001:2015, IDT). (ДСТУ ISO 14001:2015). https://quality.nuph.edu.ua/wp-content/uploads/2018/10/ДСТУ-ISO_14001-2015-.pdf.
8. International Organization for Standardization. *Graphic technology – Process control for the manufacture of halftone colour separations, proof and production prints – Part 5: Screen printing. (ISO 12647-5:2014)*. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/60479/299cfa7a1a3646b98957aae62eb50a47/SIST-ISO-12647-5-2015.pdf>.
9. Держстандарт України. Екологічні маркування та декларації. Екологічне маркування типу І. Принципи та процедури (ISO 14024:2018, IDT). (ДСТУ ISO 14024:2018). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=80757.
10. Директива Європейського парламенту і Ради 2010/75/ЄС від 24 листопада 2010 року про промислові викиди (інтегрований підхід до запобігання забрудненню та його контролю) https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_004-10#Text.
11. Robert, T. (2015). “Green ink in all colors” – Printing ink from renewable resources. *Progress in Organic Coatings*, 78, 287-292. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.08.007>.
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. https://doi.org/10.35784/acs_7953.
13. Krykhovets, O., Repeta, V., Rubay, O., & Holodovska, O. (2026). Technological features of water treatment for printing companies. *Advances in Science and Technology*, 174, 15-22. <https://doi.org/10.4028/p-CcPnG1>.