

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технологій і дизайну

Кафедра хімії та хімічної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Удосконалення технології трафаретного друку текстильних виробів
з сумішевих тканин

Рівень вищої освіти другий магістерський
Галузь знань 16 Хімічна інженерія та біоінженерія
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
Освітня програма Хімічні технології та інженерія

KPMXTI. 2023155.23.10.00

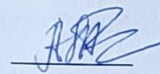
Виконав студент 2 курсу
групи ХТІм-23-1



Сергій ПАРАСКА

Підпис

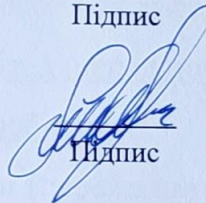
Керівник кандидат технічних наук,
доцент кафедри
хімії та хімічної інженерії



Ганна ТКАЧУК

Підпис

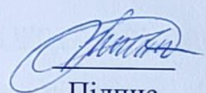
Нормоконтролер



Олександр СТРЕМЕЦЬКИЙ

Підпис

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри хімії та хімічної
інженерії



Ольга ПАРАСКА

Підпис

19.12.2024

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Технологій і дизайну
Кафедра Хімії та хімічної інженерії
Рівень вищої освіти другий магістерський
Галузь знань 16 Хімічна інженерія та біоінженерія
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
Освітня програма Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
хімії та хімічної інженерії
Ольга ПАРАСКА

26 серпня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Параски Сергія Георгійовича

1. Тема роботи Удосконалення технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин

Керівник роботи Ткачук Ганна Сергіївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії та хімічної інженерії

Затверджено наказом ректора університету від 26.08.2024 р. № 60

2. Строк подання здобувачем роботи на кафедру 19.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи звіт з переддипломної практики, методичні вказівки виконання магістерської роботи

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розвиток сучасних технологій трафаретного друку на тканинах. Особливості технологічного процесу трафаретного друку. Аналіз речовин та матеріалів, які використовують в технологіях трафаретного друку. Шляхи удосконалення технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Презентація виконана в програмі Canva

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему: Удосконалення технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин

Автор роботи: здобувач вищої освіти групи ХТІм-23-1 Сергій ПАРАСКА

Керівник роботи: кандидат технічних наук, доцент Ганна ТКАЧУК

Обсяг кваліфікаційної роботи 79 сторінок, 11 таблиць, 10 рисунків, 32 джерел посилань, графічної частини 11 слайдів виконаних у програмі презентації Canva.

Ключові слова: ТРАФАРЕТНИЙ ДРУК, ПЛАСТИЗОЛІ, ТЕХНОЛОГІЯ, СУМІШЕВІ ТКАНИНИ, ТРИКОТАЖ.

Метою кваліфікаційної роботи є оптимізація технологічних параметрів та підбір екологічно чистих фарб для трафаретного друку текстильних виробів із сумішевих тканин.

Об'єкт дослідження – технологія друку на текстильних виробах з сумішевих тканин. Предмет дослідження – трафаретний друк.

В дослідженні проаналізовано вплив технологічних параметрів трафаретного друку сумішевих тканин на якість друку, зокрема на насиченість кольорів, стійкість до стирання, прання та механічного впливу. Розроблено рекомендації щодо вибору фарб, речовин та матеріалів, технологічних параметрів трафаретного друку для досягнення максимальної якості зображення. Результати дослідження сприятимуть підвищенню ефективності технологічного процесу трафаретного друку та екологічності текстильного виробництва відповідно до принципів сталого розвитку. Результати досліджень кваліфікаційної роботи мають прикладне практичне значення для текстильних підприємств, успішно апробовані в умовах сучасного виробництва ФОП Петегерич С. В.

18.12.2024 р.

Здобувач вищої освіти групи ХТІм-23-1

Сергій ПАРАСКА

ЗМІСТ

	С.
СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	4
ВСТУП	5
1 ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТРАФАРЕТНОГО ДРУКУ НА СУЧАСНИХ ТЕСКТИЛЬНИХ ВИРОБАХ	8
1.1 Аналіз виробництва та асортименту сучасних текстильних виробів	8
1.2 Аналіз технологій опорядження текстильних виробів з сумішевих тканин	14
2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	24
2.1 Характеристика об'єктів дослідження	24
2.2 Визначення показників якості трафаретного друку на текстильних виробих з сумішевих тканин	26
2.3 Визначення стійкості зображень трафаретного друку до багаторазового прання	30
2.4 ІЧ-спектроскопія фарби для трафаретного друку	32
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ, ЕКОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТРАФАРЕТНОГО ДРУКУ ТЕКСТИЛЬНИХ ВИРОБІВ З СУМІШЕВИХ ТКАНИН	35
3.1 Аналіз технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин	35
3.2 Техніко-екологічне обґрунтування вибору фарби для трафаретного друку	38
3.3 Оцінка продуктивності та енергоефективності обладнання для трафаретного друку	47
3.4 Дослідження хімічного складу воднодисперсної фарби методами ІЧ-спектроскопії	61

3.5 Розробка рекомендацій щодо удосконалення технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин	62
3.6 Контроль якості трафаретного друку готових текстильних виробів з сумішевих тканин	67
3.7 Оцінка стійкості зображення трафаретного друку на текстильних виробах з сумішевих тканин після багаторазового прання	69
ВИСНОВКИ	73
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	76

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

Еко-сольвенти – екологічні сольвенти

ІЧ-спектроскопія – інфрачервона спектроскопія

ІЧ-сушарки – інфрачервоні сушарки

ЛОС – леткі органічні сполуки

ПВХ – полівініл хлорид

ПВХ плівка – поліфініл хлоридна плівка

УФ – ультрафіолетові промені

УФ-барвники – ультрафіолетові барвники

УФ-випромінювання – ультрафіолетове випромінювання

УФ-лампа – ультрафіолетова лампа

УФ-сушарки – ультрафіолетові сушарки

DTF – Direct to Film

FTIR-спектрометри – Fourier transform infrared spectroscopy

LTS – Laser to Screen

RIP-програми – Raster Image Processor програмне забезпечення

ВСТУП

Трафаретний друк є одним із найпоширеніших методів нанесення зображень на текстильні матеріали, завдяки його універсальності, яскравості кольорів та довговічності нанесення. Сучасні тенденції текстильного виробництва спрямовані на використання сумішевих тканин, які поєднують властивості натуральних і синтетичних волокон, забезпечуючи високу якість і функціональність текстильних виробів [1, 2].

Разом із цим, технологія трафаретного друку на сумішевих тканинах потребує постійного вдосконалення, оскільки такі матеріали мають різну здатність до адгезії фарб, а також різні фізико-механічні та хімічні властивості, що впливають на якість друкованого зображення.

Важливим аспектом є впровадження екологічно чистих фарб і зменшення негативного впливу технологічного процесу трафаретного друку на довкілля. У цьому контексті удосконалення технології трафаретного друку дозволить досягти високої якості продукції, розширити можливості для друку на сумішевих тканинах і підвищити екологічність текстильного виробництва.

Впровадження інноваційних технологій, цифрових трафаретних систем друку, які дозволяють зменшити використання матеріалів і часу, автоматизація технологічних процесів сприяють підвищенню ефективності та зменшенню суб'єктивного впливу людського фактора. Оптимізація виробництва скорочує витрати матеріалів та енергії. Відповідність екологічним стандартам, забезпечення сертифікації продукції, сприяє конкурентоспроможності. Підвищення репутації бренду, оскільки споживачі все більше віддають перевагу екологічним продуктам.

Останнім часом в світі набуває поширення інтеграція засад сталого розвитку у виробничі процеси. Сталий розвиток у сучасних технологіях трафаретного друку на текстильних матеріалах спрямований на зменшення впливу виробництва на навколишнє середовище, збереження природних ресурсів

та впровадження екологічно відповідальних практик. Урахування принципів сталого розвитку дозволяє поєднати високу якість друкованої продукції з мінімізацією екологічного навантаження.

Основними напрямками сталого розвитку в технологіях трафаретного друку є [3, 4]:

- Використання екологічно чистих фарб (воднодисперсні фарби), які не містять летких органічних сполук (ЛОС), нетоксичні та безпечні для довкілля; фарб на основі натуральних пігментів з природних компонентів, таких як рослинні чи мінеральні барвники; фарби, виготовлені з біорозкладних матеріалів, відновлювані матеріали для друку.
- Зменшення споживання ресурсів, оптимізація процесів трафаретного друку для зниження витрат фарб, води та енергії, використання обладнання з низьким рівнем енергоспоживання.
- Впровадження замкнутих циклів виробництва, де залишкові матеріали (наприклад, надлишок фарби) можуть бути перероблені або повторно використані; безвідходне виробництво, скорочення кількості відходів, пов'язаних із трафаретами та очищенням обладнання;
- Екологічно чисті матеріали для трафаретів, перехід на біорозкладні чи багаторазові трафарети, виготовлені з матеріалів, що легко піддаються утилізації.
- Використання технологій сухого друку або систем очищення фарб без води.

Удосконалення технології трафаретного друку, інтеграція принципів сталого розвитку є необхідним кроком для зменшення негативного впливу на довкілля та підвищення ефективності виробничих процесів, що актуально в умовах сьогодення.

Використання екологічних фарб, оптимізація витрат ресурсів і впровадження безпечних речовин в технологіях трафаретного друку сумішевих тканин забезпечать відповідність сучасним вимогам ринку та сприятимуть формуванню екологічно відповідального текстильного виробництва.

Таким чином, технології трафаретного друку на тканинах активно розвиваються та залишаються одним із найзатребуваніших методів друку завдяки своїй універсальності, естетичній привабливості та економічній ефективності.

В кваліфікаційній роботі розглянуто сучасний асортимент текстильних виробів, проведено аналіз технологій опорядження трикотажних виробів, зокрема трафаретного друку. Проаналізована техніко-економічні, екологічні показники трафаретного друку трикотажних виробів з сумішевих тканин. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів та висновків [5, 6]. Обсяг кваліфікаційної роботи 71 сторінка, 11 таблиць, 6 рисунків, 27 джерел посилань, графічної частини 11 слайдів виконаних у програмі презентації Canva.

Результати досліджень кваліфікаційної роботи мають прикладне практичне значення для текстильних підприємств, успішно апробовані в умовах сучасного виробництва ФОП Петегерич С. В.

1 ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТРАФАРЕТНОГО ДРУКУ НА СУЧАСНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ ВИРОБАХ

1.1 Аналіз виробництва та асортименту сучасних текстильних виробів

Сучасне виробництво одягу є багатоступеневим процесом, який охоплює різні технологічні етапи – від створення дизайну та вибору тканин до шиття та підготовки готових виробів до продажу. Ключові етапи процесу виробництва одягу [7, 8]:

- розробка дизайну та створення колекції – дизайнери розробляють концепцію одягу, визначають стиль, силуети, кольори та матеріали для колекції. Враховують тенденції моди, потреби цільової аудиторії та сезонність. Створюють ескізи моделей та підбирають матеріали, з яких будуть виготовляти вироби.
- після затвердження дизайну здійснюють вибір тканин і фурнітури (гудзиків, блискавок, ниток та інших елементів). Матеріали тестують на відповідність вимогам якості: щільність, міцність, стійкість до зношування, колір та інші властивості.
- після затвердження дизайну створюють лекала – шаблони, за якими вирізають частини виробу. На основі лекал шиють зразок одягу, який допомагає виявити можливі недоліки конструкції та посадки. Після внесення коригувань створюють фінальний зразок.
- закрій тканини здійснюють відповідно до лекал, зважаючи на економічне використання матеріалу. Закрійники готують деталі для кожного елемента одягу, використовуючи спеціальні інструменти та обладнання.
- деталі зшивають в готовий виріб, включаючи всі процеси з'єднання, обробки швів та пришивання фурнітури.
- готові вироби проходять контроль якості, щоб виявити дефекти шиття, пошкодження тканини або невідповідність стандартам. Після виявлення та усунення недоліків, якщо такі були, вироби готують до пакування.

- одяг маркують (зазначають розмір, склад матеріалу, інструкції з догляду) та упаковують для транспортування або безпосередньо для продажу.
- готовий одяг доставляють в магазини або на склади для подальшої реалізації. Вироби продають як у роздрібних мережах, так і в інтернет-магазинах.
- просування колекцій є невід'ємною частиною процесу виробництва одягу. Створюють рекламні кампанії, проводять фотосесії, влаштовують покази мод для залучення клієнтів.

Слід зазначити, що на сучасних текстильних виробництвах активно впроваджено інновації у технологічних процесах. А саме, використовують екологічні матеріали (наприклад, з бавовни, льону та віскози); застосовують роботизовані системи для розкрою тканини, автоматизовані швейні машини, тощо. Індивідуалізація та масова кастомізація дозволяє покупцям створювати капсульні колекції і змінювати деякі деталі одягу за своїм бажанням. Швидка мода (fast fashion) – зменшення циклу виробництва до кількох тижнів, щоб швидше реагувати на зміну тенденцій.

Сучасний асортимент одягу орієнтований на комфорт, функціональність, естетику та індивідуальність, надаючи споживачам можливість виразити себе в різних стилях і матеріалах [9, 10]. В даний час сучасний асортимент одягу охоплює безліч стилів, матеріалів та дизайнів, щоб задовольнити різноманітні потреби та вподобання. Він включає як класичні базові речі, так і модні трендові моделі. Розрізняють основні категорії та характеристики сучасного асортименту одягу [11, 12].

Класичний та базовий одяг. Класика включає прості, вишукані речі, які ніколи не виходять з моди, наприклад, костюми, сорочки, пальта, класичні брюки. Вони підходять для офісу, ділових зустрічей та офіційних заходів. Базовий гардероб складається з універсальних речей, які легко комбінувати між собою. Це однотонні футболки, джинси, светри, тренчі, які підходять для будь-якої ситуації. У виробництві такого одягу переважають натуральні тканини – бавовна, льон, вовна, шовк, які надають виробам класичного вигляду та комфорту.

Спортивний одяг та athleisure. Фітнес та спортивний одяг лосини, спортивні майки, шорти, толстовки, куртки для бігу. Такий одяг виготовляють з дихаючих, еластичних і зносостійких матеріалів. Athleisure це поєднання спортивного та повсякденного стилів, що дозволяє носити спортивні речі поза тренажерним залом, наприклад, толстовки та спортивні штани у повсякденних образах.

Вулична мода (streetwear) – ключові елементи: худі, широкі штани, майки оверсайз, кросівки, бомбери та футболки з принтами. Цей стиль підходить для повсякденного носіння та часто виражає молодіжну культуру. Стиль вуличної моди відрізняється комфортом, часто має яскраві елементи або принти, натхненні поп-культурою, мистецтвом та субкультурами.

Одяг у стилі casual (кежуал), щоденний одяг: джинси, футболки, светри, сорочки, кеди. Цей стиль орієнтований на комфорт та універсальність. Різновиди: smart casual (більш елегантний), business casual (неформальний, але діловий) і просто casual (повсякденний та комфортний). Матеріали, які використовують для одягу в стилі casual – бавовна, денім, трикотаж, що створює відчуття зручності та простоти.

Екологічний одяг (sustainable fashion) включає екологічно чисті матеріали: органічна бавовна, конопля, перероблені тканини, наприклад, PET-пляшки використовують для створення синтетичних волокон; етичне виробництво (акцент на прозорих виробничих ланцюгах, зменшенні кількості відходів, відповідальних умовах праці); Upcycled одяг, виготовлений із перероблених або відновлених матеріалів.

Сезонний одяг, наприклад, зимовий одяг – теплі пальта, пуховики, куртки, светри з вовни, термобілизна. При виробництві зимового одягу використовують утеплені та водонепроникні матеріали, такі як гусячий пух, поліестер, фліс. Літній одяг (легкі сукні, шорти, майки, футболки), у виробництві переважають легкі та дихаючі матеріали, такі як бавовна, льон, віскоза. Демісезонний одяг – плащі, легкі куртки, тренчі, джемperi. Такий одяг підходить для перехідних сезонів, часто має вологовідштовхувальні властивості.

Трендовий та експериментальний одяг. Трендові моделі це речі, що відповідають останнім модним тенденціям, змінюються кожен сезон, залежно від впливу показів мод, соціальних мереж, відомих брендів. Експериментальний одяг інколи включає незвичайні конструкції, яскраві принти, нестандартні тканини та аксесуари, з елементами футуризму чи ретро-стилю. Колаборації з дизайнерами для створення унікальних колекцій, що поєднують різні стилі та ідеї.

Одяг для особливих подій (вечірній та діловий). Вечірній одяг – сукні, смокінги, костюми, які підходять для особливих випадків. У виробництві таких виробів використовують дороговартісні матеріали (оксамит, атлас, шовк), розкішні деталі, мереживо. Діловий одяг це строгі костюми, спідниці, блузи, піджаки. Підходить для офіційних зустрічей та роботи в офісі, зазвичай в нейтральних, пастельних або базових кольорах – чорному, сірому, бежевому.

Матеріали для виготовлення сучасного одягу різноманітні. Їх обирають залежно від призначення, сезону та стилю виробу. Це можуть бути природні тканини бавовна, льон, вовна, шовк; синтетичні тканини – поліестер, еластан, нейлон (часто використовують для створення спортивного одягу або виробів із високою зносостійкістю); інноваційні матеріали, наприклад, еко-шкіра, біорозкладні матеріали, тканини з водовідштовхувальним просоченням. Наведемо основні категорії матеріалів, які використовують в сучасному одязі [11].

Натуральні матеріали цінують за екологічність, комфорт і приємні тактильні відчуття. Найбільш популярні серед них:

- бавовна дихаюча, м'яка, добре вбирає вологу, підходить для повсякденного та літнього одягу;
- льон легкий, натуральний матеріал, що має високу повітропроникність і швидко сохне. Ідеальний для спекотного клімату;
- вовна теплий матеріал, який добре зберігає тепло і підходить для зимового одягу. Буває різних видів овеча, мериносова, альпака, кашемір;
- шовк легкий, блискучий матеріал, що відомий своєю міцністю і приємною текстурою. Використовують для вечірнього, ошатного одягу;

- конопля та бамбук екологічні, дихаючі та міцні матеріали, що стають дедалі популярнішими завдяки своїм властивостям і низькому впливу на навколишнє середовище.

Штучні матеріали виготовляють із природної сировини, зазвичай целюлози, яку переробляють хімічним шляхом. Наприклад:

- віскоза м'який і приємний на дотик матеріал, який добре поглинає вологу. Використовують для повсякденного одягу;

- модал схожий на віскозу, але більш міцний, стійкий до зсідання і добре зберігає форму;

- ліоцел (Tencel) екологічний матеріал, що виготовляють з деревної целюлози (наприклад, евкаліпту). Дихаючий, м'який, добре вбирає вологу.

Синтетичні матеріали створюють шляхом хімічного синтезу. Вони дуже різноманітні, можуть бути легкими, міцними, еластичними, а також швидко сохнути. А саме:

- поліестер міцний, швидко сохне, стійкий до зминання. Поліестер часто використовують в спортивному одязі та повсякденному одязі;

- нейлон легкий і міцний матеріал, який добре відштовхує воду. Використовують для верхнього одягу, спортивного одягу, аксесуарів;

- еластан (спандекс, лайкра) дуже еластичний матеріал, який додають до інших тканин для покращення їхньої розтяжності. Використовують в спортивному одязі, купальниках, нижній білизні;

- акрил штучний аналог вовни, який відомий своєю м'якістю і теплом, часто використовують для светрів, шапок, шарфів.

- фліс синтетичний матеріал, що чудово зберігає тепло, легкий і швидко сохне. Підходить для спортивного одягу і зимових виробів.

Змішані матеріали це комбінації натуральних і синтетичних волокон, які об'єднують переваги різних типів матеріалів. Бавовна з поліестером підвищує міцність і стійкість до зминання, зберігаючи комфортність і м'якість бавовни. Вовна з акрилом робить тканину м'якшою, менш схильною до зминання і

дешевшою за вартістю. Льон з віскозою зберігає легкість льону, але стає менш зминальним завдяки додавання віскози.

Слід зазначити, що в сучасних технологіях виробництва одягу активно розвивають та впроваджують інноваційні матеріали, які є екологічно безпечними та мають особливі властивості [9, 11]. Еко-шкіра (штучна шкіра) виготовляють без застосування тваринної сировини, часто із поліуретану чи інших біорозкладних компонентів. Перероблені тканини матеріали, отримані шляхом переробки пластикових пляшок, старого одягу або інших відходів. Органічна бавовна – вирощують без застосування пестицидів та синтетичних добрив, що робить її більш екологічною. Біорозкладні тканини, що швидко розкладаються, наприклад, з певних видів полімерів або природних матеріалів. Тканини з водовідштовхувальним покриттям, наприклад, Gore-Tex або інші мембранні тканини, що використовують для верхнього одягу.

Особливе місце у виробництві текстильних виробів займають технічні та функціональні матеріали [13, 14]. Ці матеріали розробляють для специфічних потреб, наприклад, для спортивного або захисного одягу. Мембранні тканини забезпечують водонепроникність і паропроникність, часто використовують для туристичного та спортивного одягу. Антибактеріальні матеріали тканини, оброблені спеціальними речовинами, які запобігають росту бактерій та поглинають запахи (актуально для спортивного, медичного одягу). Тканини з УФ-захистом створені для захисту від ультрафіолетового випромінювання, що важливо для літнього та спортивного одягу.

Вибір матеріалу залежить від призначення одягу. Так для зимового одягу обирають теплі, ізоляційні матеріали, наприклад, вовна, пух, фліс, синтепон. Для літнього одягу – легкі, дихаючі матеріали (льон, бавовна, шовк), для спортивного одягу – синтетичні матеріали, що швидко сохнуть і пропускають повітря (поліестер, нейлон, еластан), для вечірнього та ошатного одягу – шовк, атлас, оксамит, мереживо, що додають вишуканості образу.

Сучасний асортимент матеріалів для одягу дуже різноманітний, що дає можливість створювати вироби, які відповідають потребам споживачів і світовим тенденціям у сфері екологічності та комфорту.

Таким чином, виробництво одягу є складним та багатокомпонентним процесом, що поєднує творчість, інженерні рішення та сучасні технології для створення якісного, стильного та функціонального продукту.

1.2 Аналіз технологій опорядження текстильних виробів з сумішевих тканин

Особливе місце в асортименті сучасних текстильних виробів займають трикотажні вироби. Це тканини та готові вироби, виготовлені з переплетених ниток, що утворюють еластичну і м'яку структуру. Завдяки особливій структурі трикотаж легко розтягується, що забезпечує комфорт при носінні та зручність у русі. Трикотажні вироби – це текстильні продукти, виготовлені із трикотажного полотна, яке відрізняється особливою структурою, утвореною за рахунок переплетення ниток у вигляді петель. Такий спосіб переплетення надає трикотажу високу еластичність, м'якість і комфортність, завдяки чому він активно використовується в різних сегментах одягу та текстилю для дому.

Трикотажні вироби охоплюють широкий асортимент одягу, від повсякденного до спеціалізованого спортивного, а також домашній текстиль [11, 12]. Трикотажні полотна поділяються на різні види, залежно від типу переплетення та матеріалу. За типом переплетення розрізняють:

- Одинарний трикотаж (одноластик) – легкий і повітропроникний, використовується для футболок, майок, суконь.
- Двосторонній трикотаж (дволастик) – щільний і еластичний, підходить для светрів, кардиганів, костюмів.
- Інтерлок – міцний, еластичний, з приємною текстурою, підходить для дитячого одягу та спортивного одягу.

- Рібана – має ребристу текстуру, добре тримає форму, часто використовується для манжет, комірив, поясів.

- Футер – трикотаж із начосом з виворітного боку, який добре зберігає тепло, використовують для спортивних костюмів, світшотів, джогерів та інших теплих виробів.

- Фліс легкий, теплий і м'який матеріал, який добре зберігає тепло і швидко сохне, популярний для спортивного і туристичного одягу.

- Велюр має ворсисту поверхню, нагадує оксамит, використовують для створення вишуканих і м'яких виробів, зокрема, домашнього та дитячого одягу.

Асортимент трикотажу дуже широкий і включає вироби для будь-якої пори року та стилю. Футболки, майки та топи – найпоширеніший повсякденний одяг із бавовняного чи змішаного трикотажу, забезпечує зручність і простоту догляду. Светри та кардигани – теплі вироби з вовняного або синтетичного трикотажу, що підходять для осінньо-зимового сезону. Сукні та спідниці – трикотажні сукні підкреслюють форми, легко розтягуються, надають комфорту і витонченості. Костюми та спортивний одяг – виготовлені з міцного, еластичного трикотажу (наприклад, з додаванням еластану), що забезпечує свободу рухів. Шкарпетки, колготи та білизна – трикотаж, який ідеально підходить для виробів, що контактують зі шкірою, завдяки м'якості та еластичності. Аксесуари – шапки, шарфи, рукавиці – м'які, теплі, забезпечують комфорт в холодну пору.

Глобальне виробництво трикотажних виробів є динамічним сектором, у якому трикотажні тканини складають більшу частину виробництва завдяки їх універсальності та широкому використанню в одязі, такому як футболки, светри та сукні [15, 16].

Крім того, ринок технічних трикотажних полотен, розроблених для спеціальних функціональних застосувань, таких як управління вологістю та стійкість до стирання, швидко зростає завдяки вдосконаленню матеріалів і підвищенню попиту в таких галузях, як автомобільна та авіакосмічна. Переваги та недоліки трикотажних виробів наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки трикотажних виробів

Переваги трикотажних виробів	Недоліки трикотажних виробів
Еластичність добре тягнеться, підлаштовується під форму тіла, не обмежує рухи.	Схильність до деформацій з часом може розтягуватися, особливо на манжетах, комірцях.
Комфортність м'якість і легкість трикотажу роблять його зручним для щоденного використання.	Утворення пілей деякі види трикотажу схильні до утворення катишків, що впливає на зовнішній вигляд.
Практичність трикотаж легко прати і доглядати, він швидко сохне і довго зберігає форму.	Чутливість до температури деякі трикотажні вироби можуть втратити форму або змінювати геометричні розміри при неправильних режимах прання чи сушіння.
Теплоізоляційні властивості трикотаж добре утримує тепло, що робить його ідеальним для зимового одягу.	

Трикотажні вироби стали невід'ємною частиною сучасної моди, поєднуючи практичність, комфорт і стиль. Сучасні технології дозволяють створювати трикотаж, який відповідає високим вимогам споживачів і довго зберігає свої властивості [1, 2]. Щоб покращити властивості трикотажу, використовують різні технології опорядження:

- антибактеріальна обробка – запобігає росту бактерій і захищає від неприємних запахів;
- антипілінгова обробка – зменшує утворення пілей, забезпечує триваліший естетичний вигляд;

- гідрофобна обробка – для надання водовідштовхувальних властивостей, корисна для спортивного та верхнього одягу.

- фарбування, друкування – дозволяють створювати трикотаж різних кольорів і принтів, зберігаючи стійкість до вицвітання.

Фарбування трикотажу – це важливий етап у виробництві трикотажних виробів, що надає тканинам кольору та забезпечує їх естетичні властивості. Оскільки трикотаж має специфічну структуру, що забезпечує еластичність, фарбування таких тканин потребує особливих технологічних підходів, щоб досягти рівномірного забарвлення без втрати їхніх властивостей [1, 14].

Розрізняють види фарбування трикотажних полотен:

Фарбування на волокні здійснюють безпосередньо перед виготовленням тканин. Така технологія дозволяє досягти рівномірного та стійкого забарвлення по всій тканині. Використовують для бавовняних, вовняних, шовкових і синтетичних волокон. Під час цього процесу волокна попередньо обробляють барвниками, що дає глибокий і насичений рівномірний колір. Однак технологічний процес має високу вартість та складність, оскільки потребує спеціалізованого обладнання.

Фарбування на пряжі здійснюють після виготовлення пряжі, але до її переплетення у тканину. Це дозволяє досягти хорошого результату для кольорових і структурних ефектів. Пряжу фарбують різними методами, наприклад, шляхом занурення в спеціальні барвники або використанням суцільного фарбування. Фарбування пряжі забезпечує високу рівномірність забарвлення, можливість створення різноманітних колірних ефектів. Але цей метод підходить тільки для тканин, що використовують у вигляді пряжі.

Фарбування готових виробів це один з найпоширеніших методів, коли вироби, наприклад, футболки або шкарпетки, фарбують після виготовлення. Цей процес включає занурення виробів у барвник або обробку фарбами на спеціальних машинах. Підходить для монокольорів або створення малюнків на трикотажних виробах. Технологія простота і швидка, однак існує можливість

появи нерівномірного забарвлення, більш висока ймовірність ушкодження матеріалу.

Фарбування готової тканини здійснюють перед виготовленням виробів. Це дозволяє отримати рівномірне забарвлення по всій тканині, що підходить для великих партій виробів. Забезпечує високу якість фарбування, велику палітру кольорів. Фарбування потребує великої кількості часу та специфічного обладнання.

Найпоширенішим методом фарбування тканин та виробів з них є окуночні технології (технології занурення), при якому тканину занурюють у ванну з барвником і обробляють під певним тиском і температурою. Цей метод використовують для фарбування як натуральних, так і синтетичних волокон. Простий і дешевий метод, але потребує контролю температури та часу для досягнення бажаного результату в процесі фарбування та рівномірності забарвлення.

Реактивні барвники використовують для фарбування бавовни та інших натуральних волокон. Ці барвники вступають в хімічну реакцію з волокнами і утворюють міцні зв'язки, що забезпечує стійкість кольору. Технології реактивного фарбування забезпечують текстильним виробам високу стійкість до прання, стійкість до світлопогоди. Технологічний процес реактивного фарбування характеризується складністю та багатофакторністю. Для одержання рівномірного і якісного забарвлення необхідність суворого контролю параметрів.

Пряме фарбування дешева і проста технологія фарбування, використовують барвники, які безпосередньо поглинаються волокнами. Цей метод менш складний, ніж реактивне фарбування, але в результаті забарвлення текстильних виробів менш стійке до прання, вигоряє на сонці.

Технології друку (дизайнерське фарбування) широко використовують для створення зображень, ілюстрацій, логотипів або орнаментів на текстильних виробках. Розрізняють методи флексодруку, сито-друку, трафаретного друку тощо. Такі технології дозволяють створювати складні, багатобарвні зображення високої

якості та точності. Можуть утворюватися нерівності на поверхні тканини, що впливає на еластичність матеріалів, тому необхідно чітко дотримуватися технологічних параметрів технологій друку.

Незважаючи на різноманітність технологічних процесів фарбування текстильних виробів розрізняють основні фактори, які впливають на якість фарбування [2, 17, 18]:

- тип волокна. Натуральні волокна (бавовна, вовна) краще вбирають барвники, ніж синтетичні (поліестер, нейлон), тому для синтетичних тканин використовують спеціалізовані барвники;
- товщина і структура тканини. Текстильні вироби мають пористу структуру, тому барвник може проникати всередину тканини, що інколи ускладнює досягнення рівномірного забарвлення, особливо при використанні дуже тонких тканин;
- температура і час обробки. Правильне налаштування температури і часу обробки фарбувальним розчином необхідне для забезпечення стійкості кольору і рівномірності забарвлення.
- вибір барвників. Використовують різні типи барвників залежно від матеріалу тканини. Наприклад, для бавовни найкраще підходять реактивні або кислотні барвники, для синтетичних матеріалів – дисперсні барвники.

Сучасні технології опорядження мають широкий вибір кольорів, дозволяють створювати найрізноманітніші відтінки. За допомогою технологій друку можна реалізувати оригінальні дизайнерські рішення, можливість створення складних малюнків. За рахунок оптимального поєднання барвників і технологій, текстильні вироби можуть зберігати яскравість кольору після багаторазового прання.

Технології опорядження текстильних виробів є важливою частиною виробничого процесу, які визначають не лише естетичні, але й функціональні властивості тканини, зокрема її зносостійкість, здатність до стійкості кольору та комфорту при носінні.

Таким чином, сучасні технології опорядження дозволяють забезпечити необхідні споживні властивості виробів, що відповідають потребам і стилю життя споживачів. Трикотажні вироби займають важливе місце в сучасному гардеробі завдяки своїм унікальним властивостям і широкому вибору дизайнів.

В даний час для перенесення зображень на тканини чи текстильні поверхні існує багато різних технологій, таких як сублимаційний, термотрансферний, прямий та трафаретний друк [1, 2, 17].

Технологія трафаретного друку це метод нанесення малюнка на різні текстильні поверхні: плоскі та об'ємні, гладкі і шорсткі. Під тиском ракеля густа фарба потрапляє на тканину через отвори сітки, на якій заздалегідь створено трафарет проєктованого зображення. Забарвлений виріб висушують за допомогою спеціальних ламп і гарячого повітря. Кожен етап технології трафаретного друку досить трудомісткий і вимагає особливого підходу. Технологія трафаретного друку на тканину, складається з наступних операцій:

- створення трафаретної форми;
- друк зображення на карусельному верстаті;
- термофіксація та висушування принту.

Трафарет складається з рамки і ситового полотна. Сітка може бути металеву або нейлонову, хоча раніше використовували шовкові нитки, (тому в літературі зустрічається назва технології шовкографія). Сітку натягують на алюмінієву рамку і закріплюють фіксаторами. Полотно не має звисати або бути надто тугим.

Після підготовки форми починають нанесення трафарет-малюнка. До ситової тканини прикладають капілярну плівку або заповнюють отвори колоїдним розчином полімеру (фотоемульсія). Якщо використовують емульсію, виріб обов'язково просушують. Можна застосувати відразу різні полімери – такий спосіб називають комбінованим трафаретним друком.

Сітку з наповнювачем засвічують таким чином, щоб вийшов контур малюнка, або окремих фрагментів. Трафарет занурюють у воду: фотоемульсія

вимивається з тих осередків сітки, які були в тіні. Саме через ці отвори на тканину буде надходити фарба. На ділянках, куди потрапили УФ промені, речовина полімеризується і закриває прохід для пігменту.

Для якісного нанесення принта на вироби, їх розміщують на столі горизонтально і фіксують за допомогою спеціальних вакуумних або механічних кріплень. Трафарет ставлять в утримувач, а зверху накладають фарбу або заливають її у спеціальний резервуар. Після включення машини ракель починає рухатися вправо і вліво. Він складається з двох скребоків. Перший розмазує пігмент за формою і вдавлює його в сітку з певною силою. Другий – повністю прибирає фарбу з ситового полотна. Густа, в'язка фарба пройшовши через отвори, ділиться на дрібні краплі, які на тканині змінюють свою в'язкість і знову з'єднуються, створюючи рівну і гладку плівку. Перед нанесенням іншого кольору забарвлені ділянки злегка підсушують. Якщо цього не зробити, то фарби можуть змішатися.

Забарвлений виріб відправляють у спеціальний осушувальний тунель або камеру. Щоб зображення повністю висохло, виставляють температурні і часові параметри, для забезпечення високої якості друку. Всі технологічні параметри трафаретного друку підбирають індивідуально, враховуючи склад фарби, товщину принта, особливості матеріалу і т. п. Так, для футболок показники будуть трафаретного друку будуть одні, для об'ємних тканин – інші.

З допомогою технології трафаретного друку створюють різноманітні зображення на будь-якому текстильних виробках. Під час трафаретного друку досягається висока якість перенесення зображень на будь-яку поверхню, навіть шорстку. Під час процесу фарба змінює свою в'язкість і надійно заповнює найменші нерівності поверхні виробу. При цьому поверхня зображення буде ідеально рівною і гладкою. Після повного висихання зображення всі кольори виходять насиченими і яскравими. Фарбу наносять на поверхню тонким або товстим шаром. На відміну від інших технологій, наприклад, метод сублимації, товщина мазка тут може змінюватись в межах від 10 до 100, і навіть до 500 мк.

Такий об'ємний друк дозволяє створити персоналізований рельєфний принт. Також забезпечується висока стійкість зображень до пошкоджень, знебарвлення та стирання. Чим товщий принт, тим довше він прослужить в процесі носіння текстильних виробів.

В технологіях трафаретного друку доступні різні методи обробки, тиснення, ооб'ємне зображення, часткове або повне лакування. Немає обмежень у використанні фарб. Застосування золотих, срібних, перламутрових і флуоресцентні пігменти дозволяє створювати оригінальні спецефекти на одязі і аксесуарах.

Використовуючи технологію трафаретного друку, можна надрукувати принт будь-якої складності. Зображення виходять чіткими, красивими, кольорова картинка – яскрава і насичена, а чорний колір передається глибоко і контрастно. Принти легко нанести на сумки, футболки та будь-які текстильні поверхні, що дозволяє розширювати асортимент мерчу та сувенірної продукції, розробляти індивідуальний стиль для корпоративних замовників.

Однак, для забезпечення нанесення якісних принтів необхідне ретельне дотримання технологічного процесу. Технологія є трудомісткою, потребує контролю на всіх етапах трафаретного друку. Для кожного зображення розробляють окрему трафаретну форму, на створення якої необхідні затрати часу. Якщо зображення кольорове, то кількість заготовок збільшується залежно від кількості кольорів. Під кожен колір повинен бути свій трафарет. Для трафаретного друку використовують виключно векторні зображення, що обмежує застосування інших технологій, наприклад растрового друку. Відсутність плавного переходу одного кольору в інший (градієнт). По фарбована поверхня тканини потовщується і не пропускає повітря.

В технологіях трафаретного друку технологічні параметри мають дотримуватися повністю, а матеріали – ретельно підібрані під кожний асортимент текстильних виробів. Об'ємність зображення залежить від кута нахилу ракеля, товщини ниток сіткового полотна. Потрібно вибрати фарбу з певним складом

смола, зволожувачів, каталізаторів і розчинників. В'язкість фарби повинна змінюватися, в залежності від швидкості перемішування та температури. Недостатньо прогрітий пігмент, некоректна швидкість друку, неправильно підібраний розріджувач фарби, ракель занадто округлої форми, погано натягнута сітка на форму та ін. можуть спричинити дефекти трафаретного друку на брак при нанесенні принтів.

Таким чином для невеликих партій замовлень доцільно використовувати різні види друку прямий, ультрафіолетовий, сублімаційний і термотрансферний. Для виготовлення великої кількості текстильних виробів, якісного виконання гуртових замовлень технології трафаретного друку незамінні. На футболках, сумках та інших текстильних виробках будуть створені насичені ексклюзивні зображення, що дозволяє вигідно ідентифікувати та вирізняти замовників серед інших.

2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Характеристика об'єктів дослідження

В кваліфікаційній роботі дослідження ефективності удосконаленої технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин проведено для зразків білої трикотажної тканини. Характеристика тканини наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика трикотажної тканини

Зразок	Волокнистий склад	Переплетення	Щільність	Товщина
Зразок № 1	95 % бавовна 5 % еластан	Кулірна гладь (Single Jersey)	180 г/м ²	1,1 мм
Зразок № 2	65 % поліестер 35 % віскоза	Кулірна гладь (Single Jersey)	180 г/м ²	0,9 мм
Зразок № 3	70% бамбук 30 % бавовна	Кулірна гладь (Single Jersey)	180 г/м ²	1,1 мм
Зразок № 4	60 % модал 40 % бавовна	Кулірна гладь (Single Jersey)	180 г/м ²	1,1 мм
Зразок № 5	85 % поліестер 15 % еластан	Кулірна гладь (Single Jersey)	180 г/м ²	1,1 мм

Зразки трикотажних тканин для проведення досліджень обрано відповідно до поширених на ринку трикотажних полотен, які використовують у виробництві футболок різного призначення. Наявність волокон різного походження у складі трикотажних полотен для футболок надає певних експлуатаційних властивостей виробам з сумішевих тканин.

Взаємозв'язок експлуатаційних властивостей, призначення та волокнистого складу сумішевих тканин наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Взаємозв'язок експлуатаційних властивостей, призначення та волокнистого складу сумішевих тканин

Зразок	Волокнистий склад	Властивості	Застосування
Зразок № 1	95 % бавовна 5 % еластан	Збереження форми, еластичність, краще прилягає до тіла, висока зносостійкість	Облягаючі футболки, спортивний одяг
Зразок № 2	65 % поліестер 35 % віскоза	Гладкість м'якість, міцність і легкість, стійкість до зминання	Повсякденні та офісні футболки
Зразок № 3	70% бамбук 30 % бавовна	Екологічність, м'якість, гіпоалергенність, природні антибактеріальні властивості	Біодяг, преміум-футболки
Зразок № 4	60 % модал 40 % бавовна	Шовковиста текстура, висока міцність навіть після багаторазового прання, гігроскопічність	Преміальний одяг, літні футболки
Зразок № 5	85 % поліестер 15 % еластан	Висока еластичність, тягнеться та зберігає форму, швидке висихання	Тренувальні футболки, активний відпочинок

Таким чином поєднання моноволокон у складі сумішевих тканин забезпечує комплекс покращених властивостей, у порівнянні з моноволокнами. Зокрема:

- бавовна – забезпечує комфорт, натуральність, підходить для чутливої шкіри;
- поліестер – надає зносостійкості та легкості, менш схильний до зминання;

- еластан – забезпечує еластичність і довговічність, особливо важливий для облягаючого одягу;
- віскоза – надає гладкості, блиску та комфорту;
- бамбук – екологічний матеріал із природними антибактеріальними властивостями.

Підбір дослідних зразків різного волокнистого складу, дозволить прогнозувати якість трафаретного друку для текстильних виробів з сумішевих тканин різного асортименту.

Для дослідження ефективності технології трафаретного друку для текстильних виробів з сумішевих тканин використано воднодисперсну фарбу та пігменти з урахуванням екологічних вимог відповідно до принципів сталого розвитку та засад зеленої хімії [3, 4]. Воднодисперсні фарби Feteks (Туреччина), відповідають стандартам якості, OEKOTEX 100, GOTS, не містять фталатів, мають сертифікати якості, безпечності для здоров'я людини.

Для трафаретного друку на текстильних виробках з сумішевих тканин використано енергоефективне обладнання закордонних та вітчизняних виробників карусельну машину для трафаретного друку Printex (Польща), сушарку для проміжного сушіння Printex (Польща), тунельну сушарку TD-3-6000-680-1520-ET (Україна), що також відповідає принципам сталого розвитку.

2.2 Визначення показників якості трафаретного друку на текстильних виробках з сумішевих тканин

Експериментальні методи дослідження якості трафаретного друку на текстильних виробках з сумішевих тканин спрямовані на оцінку таких показників, як адгезія фарби, стійкість до впливу зовнішніх факторів, зносостійкість, точність перенесення малюнка та інші характеристики.

Оцінку адгезії фарби до тканини здійснюють за допомогою липкої стрічки (скотча). До надрукованої поверхні прикладають липку стрічку, потім її різко знімають. Визначають, чи залишилася фарба на тканині.

Тест на розшарування виконують під впливом механічного тертя, щоб оцінити рівень зчеплення фарби з поверхнею. Відсутність відриву фарби свідчить про хорошу адгезію.

Для аналізу еластичності трафаретного друку тканину з нанесеним візерунком піддають розтягуванню до 50 % від початкової довжини. Вимірюють, чи з'явилися тріщини, зморшки або розшарування фарби.

Аналіз зображень трафаретного друку за допомогою цифрового мікроскопа є важливим методом для оцінки якості нанесеного зображення, адгезії фарби до поверхні виробу, а також рівномірності покриття та можливих дефектів. Цей підхід дозволяє детально вивчити поведінку фарби після експлуатації, випробувань на зносостійкість або дії зовнішніх чинників. Аналіз зображень трафаретного друку здійснюють за допомогою цифрового мікроскопу з дисплеєм Andorstar ADSM (Японія).

Цифровий мікроскоп Andorstar ADSM використовують для аналізу цифрових зображень досліджуваних об'єктів в різних галузях. До комплектування мікроскопу входять: хост мікроскопа, лінза, тримач слайдів, 32Gmicro SD карта, кабель USB, кабель перемикання, кабель HDMI, пульт дистанційного керування. Цифровий мікроскоп Andorstar ADSM дозволяє здійснювати запис відео надвисокої чіткості, підтримує вихід HDMI на великому екрані. Модернізований кронштейн Andorstar ADSM можна регулювати вперед і назад, вліво і вправо, кут кронштейна також регульований. Мультилінзи мікроскопа відповідають різним потребам дослідження. Можливе замовлення додаткових аксесуарів (лінзи, тримачі).

Простий, мобільний, зручний у використанні. Легка заміна об'єктива, викрученням і встановленням гвинта. Обертають колесо фокусування, щоб

сфокусуватися, повертають ручку кронштейна, щоб відрегулювати відстань до об'єкта.

Професійне програмне забезпечення для вимірювання дозволяє легко підключити мікроскоп до персонального комп'ютера чи ноутбуку з ОС Windows, щоб виміряти довжину об'єкта, обчислити площу, а також зробити цифрові фотографії та відео.

Регульоване світлодіодне світло, світлодіодні лампи із 8 рівнями інтенсивності відповідають різним вимогам до яскравості зображення. Бездротове дистанційне керування дозволяє зручно керувати на великій відстані та підтримує такі функції, як знебарвлення зображення та цифрове масштабування. Це особливо підходить для лабораторних досліджень та навчальних демонстрацій.

Зйомка фотографій і відео дозволяє легко знімати та зберігати зображення та відео використовуючи карту Micro SD, що входить до комплекту.

За допомогою цифрового мікроскопу оцінюють структуру шару фарби, визначають ступінь адгезії фарби до виробу, мікрodefekти, що утворюються після впливу механічних або хімічних факторів, перевіряють рівномірність і насиченість трафаретного друку на текстильних виробах з сумішевих тканин.

Для проведення аналізу обирають зразки текстильних виробів з сумішевих тканин з нанесеним трафаретним зображенням. Зразок виробу розміщують на платформі мікроскопа. Досліджують фарбовий шар у різних зонах друку – центральній частині та краях зображення. Проводять аналіз за такими параметрами: товщина шару фарби, наявність тріщин, відшарувань чи мікропухирців, рівномірність розподілу фарби, дослідження стійкості після навантажень.

Повторно аналізують зображення під мікроскопом для виявлення змін у структурі шару фарби після тестування різними навантаженнями – тертя, багаторазове прання, згинання.

Якість нанесеного зображення, адгезії фарби до поверхні виробу здійснюють за наступними параметрами:

- оцінка механічної стійкості – поява тріщин або розривів фарбового шару, відшарування фарби від поверхні текстильного виробу;
- адгезія – міцність зчеплення фарби з текстильним волокном, визначають за допомогою методів відшарування або після дії води та розчинників;
- рівномірність – оцінка щільності покриття, виявлення зон недостатнього або надмірного нанесення фарби;
- аналіз дефектів після різних впливів – зміни структури фарбового шару після багаторазового прання чи інших зовнішніх впливів.

Якісні параметри трафаретного зображення зразків текстильних виробів з сумішевих тканин оцінюють візуально. Рівномірне покриття без тріщин свідчить про високу якість друку. Наявність дефектів (мікротріщини, відшарування) може бути ознакою невідповідності технології трафаретного друку. Зміна структури фарбового шару після механічного навантаження може свідчити про недостатню адгезію або низьку стійкість фарби.

Аналіз цифрових зображень допомагає внести корективи до технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин, підбору фарбувальної композиції, параметрів сушіння або процесу нанесення, що сприяє покращенню якості трафаретного друку. Це дозволить використовувати фарби з високими адгезійними властивостями для покращення стійкості друку, оптимізувати процес сушіння для запобігання утворенню тріщин, дефектів та браку.

Рекомендовано повторювати дослідження під мікроскопом після кожного етапу тестування – механічних, хімічних впливів. Аналіз цифрових зображень дозволяє отримати точну картину якості технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин та сприяє удосконаленню технології у виробничих умовах.

2.3 Визначення стійкості зображень трафаретного друку до багаторазового прання

Дослідження стійкості зображень трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин до багаторазового прання здійснюють з метою оцінки якості збереження зображення (кольорова насиченість, цілісність, рівномірність) після багаторазового впливу механічних, температурних впливів [17, 18].

На стійкість зображень трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин впливають різні фактори. Тип фарби. Вододисперсні фарби зазвичай мають високу стійкість до прання, при дотриманні технології трафаретного друку. Пластизольні фарби мають підвищену міцність завдяки високій адгезії.

Волокнистий склад текстильного матеріалу. Натуральні тканини (бавовна, льон) зазвичай мають кращу адгезію фарби. Синтетичні тканини можуть потребувати додаткової підготовки – ґрунтовки.

Режим прання. Температура води та наявність агресивних мийних засобів можуть значно впливати на стійкість зображення.

Якість закріплення фарби. Неправильне сушіння або відсутність термічного закріплення можуть призвести до швидкого зношування.

Для підвищення стійкості рекомендовано використовувати якісні фарби з високими адгезійними властивостями. Забезпечувати оптимальні умови закріплення фарби (температура, час), дотримуватися технологічних параметрів технології трафаретного друку. Проводити додаткове покриття, наприклад, захисні лаки або фінішну обробку. Тестувати зразки за реальних умов експлуатації для визначення стійкості до зовнішніх впливів.

Основні критерії оцінки:

- збереження кольору (кольоростійкість) – визначають втрату кольорової насиченості або його зміну після кожного циклу прання;

- стійкість зображення – аналізують зміни структури друку відшарування, тріщини, розриви фарбового шару;
- стійкість до механічного впливу – зношування зображення через механічне тертя, викликане пранням;
- стійкість до хімічного впливу – розчинення фарби чи її часткова деградація під впливом мийних засобів.

Для проведення випробувань стійкості зображень трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин до багаторазового прання обирають зразки текстильних виробів із трафаретним зображенням. Розділяють зразки на групи для аналізу після різної кількості циклів прання 5, 10, 20 циклів. Обирають параметри прання тривалість, температура від 30 до 60 °С, мийний засіб. При виборі технологічних параметрів прання для проведення випробувань стійкості зображень трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин до багаторазового прання керувалися умовами експлуатації та догляду за білими футболками, сезонністю їх використання [11, 12, 17].

Технологічні параметри прання для проведення випробувань стійкості зображень трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин до багаторазового прання наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технологічні параметри прання футболок з сумішевих тканин

Технологічні параметри	Значення
Кількість циклів прання	5, 10, 20
Тривалість прання, хв	30
Температура прання, °С	30, 60
Мийний засіб	Гель для прання білих речей Galax, 2K Family GmbH

Випробування стійкості зображень трафаретного друку футболок з сумішевих тканин до багаторазового прання здійснювали у пральній машині SAMSUNG WW60A3100BE/UA.

Після прання здійснювали оцінку зображення до та після кожного циклу прання. Якість зображення трафаретного друку футболок з сумішевих тканин оцінювали за показниками адгезії (зчеплення фарби з текстильною поверхнею після механічних і хімічних впливів); аналізу зображення під мікроскопом для виявлення мікротріщин та дефектів; зміною кольору між зразками до та після прання; цілісністю зображення, зносостійкості.

Трафаретний друк вважають якісним, якщо зображення залишається цілісним, без розтріскування. Зменшення насиченості кольору не повинно перевищувати 5 % після 5 циклів прання. Проводять тестування як у сухому стані (після нанесення зображення трафаретним друком), так і після зволоження (багаторазове прання). Наявність зношування чи змазування фарби знижує оцінку якості друку.

Ці методи забезпечують всебічний контроль якості друку на футболках, що дозволяє уникнути дефектів і покращити характеристики готового виробу.

2.4 ІЧ-спектроскопія фарби для трафаретного друку

Для визначення вмісту токсичних речовин (наприклад, фталатів, важких металів) виконують хімічний аналіз фарби для трафаретного друку. Зразок аналізують за допомогою ІЧ-спектроскопії. Фарби повинні відповідати стандартам безпеки ОЕКО-ТЕХ або іншим національним і міжнародним нормам.

ІЧ-спектроскопію (інфрачервона спектроскопія) використовують для дослідження воднодисперсійних фарб, щоб аналізувати їхній склад, хімічні зв'язки та взаємодії компонентів. У спектрах ІЧ-аналізу спостерігають коливання молекул, характерні смуги поглинання, які допомагають ідентифікувати функціональні групи.

Інтенсивність та ширина смуг залежать від ступеня водневого зв'язування, наприклад, наявності води або полімерів з гідроксильними групами. Методи ІЧ-спектроскопії дозволяють перевірити чистоту компонентів фарби, їх взаємодію

після змішування, а також виявити можливу деградацію під час зберігання чи використання. Для оптимізації рецептури фарби або фарбувальних композицій ІЧ-спектроскопія допомагає підібрати співвідношення компонентів, наприклад, води, полімерів, пластифікаторів, пігментів. Аналіз одержаних спектрів дозволяє контролювати якість фарби, ідентифікувати структурні зміни під час нанесення або сушіння, перевіряти відповідність показникам екологічної безпеки складу.

Для проведення ІЧ-спектроскопії використовують спеціалізоване обладнання – FTIR-спектрометри (Fourier transform infrared spectroscopy), які забезпечують високу роздільну здатність та точність досліджень.

Хімічний аналіз воднодисперсної фарби здійснено за допомогою методів ІЧ-спектроскопії на ІЧ-Фур'є спектрометрі IRAffinity-1 (Shimadzu, Японія). Для забезпечення точності вимірювань перед початком дослідження, проводять підготовку спектрометра. Підготовка спектрометра Shimadzu до вимірювань ІЧ-спектрів включає кілька етапів. Вмикають спектрометр та комп'ютер, який з ним з'єднаний. Прогрівають спектрометр від 30 до 40 хвилин. Перевіряють оптичні компоненти – оптичні елементи (джерело випромінювання, інтерферометр, детектор) мають бути чисті та готові до роботи. Перевіряють чистоту кювети. Для очищення використовують дистильовану воду або інші розчинники. Необхідно уникати залишків речовин, які можуть спотворювати спектр. Налаштовують програмне забезпечення. Відкривають програму Shimadzu LabSolutions IR. Перевіряють калібрування, базове калібрування спектрометра (опція Initialize instrument).

Встановлюють необхідні параметри для спектроскопії:

- діапазон вимірювань від 4000 до 400 cm^{-1} ;
- роздільна здатність 4 cm^{-1} , може бути змінена залежно від вимог;
- кількість сканувань, рекомендовано від 16 до 64 для підвищення точності.

Здійснюють фонову корекцію. Перед вимірюванням спектра зразка знімають фон. Проводять сканування для запису фонового спектра, зберігають спектр як фоновий.

Підготовку та встановлення зразка здійснюють декількома способами, залежно від досліджуваних речовин. Для твердих речовин використовують пресовані таблетки з KBr. Суху наважку досліджуваної речовини змішують з KBr і спресовують за допомогою пресу у таблетку. Для ІЧ-спектроскопії рідин використовують спеціальні кювети, куди вносять досліджувані речовини, уникаючи бульбашок повітря.

Закріплюють зразок у штативі вимірювальної зони приладу. Проводять сканування зразка. В процесі сканування зразка, необхідно переконатися, що зразок повністю перекриває оптичний шлях. Після сканування, переглядають отриманий спектр на екрані. У разі відсутності сторонніх відхилень, незрозумілих коливань, викликаних чутливістю приладу, зберігають отриманий спектр та здійснюють аналіз коливань функціональних груп і смуг поглинання.

Після завершення сканування очищують кювету, перевіряють чи всі дані збережені. Вимикають спектрометр, дотримуючись інструкцій, щоб уникнути пошкодження оптичних компонентів.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ, ЕКОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТРАФАРЕТНОГО ДРУКУ ТЕКСТИЛЬНИХ ВИРОБІВ З СУМІШЕВИХ ТКАНИН

3.1 Аналіз технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин

За даними літературного огляду, розвиток технологій трафаретного друку в характеризується значними інноваціями, спрямованими на поліпшення якості текстильних виробів, підвищення ефективності та зменшення впливу на навколишнє середовище. Останнім часом спостерігають зростання застосування цифрових технологій у трафаретному друці. Такі інновації, як лазерне створення зображень, дозволяють значно зменшити час на налаштування та підвищити точність їх нанесення. За допомогою систем Laser to Screen (LTS) процес створення екранів і їх експонування здійснюють в один етап, що збільшує продуктивність і зменшує кількість дефектів. Поширення технології Direct-to-Film (DTF) сприяє значному зростанню попиту на технології друку за допомогою перенесення зображень на плівку. Цей метод дозволяє виготовляти індивідуальні замовлення за принципом Print On Demand, що стало популярним завдяки онлайн-платформам, наприклад, Shopify, Etsy і CustomInk. Все більше компаній розглядають можливість використання гібридних систем (поєднання традиційного трафаретного друку з цифровим), що дає можливість поєднувати переваги обох технологій: високої точності та швидкості цифрового друку з багатством текстур і ефектів, які пропонує трафаретний друк. Завдяки цим технологічним досягненням, трафаретний друк стає все більш універсальним і доступним, зберігаючи при цьому свою популярність в текстильній промисловості, рекламі та багатьох інших галузях [19].

Типова технологія трафаретного друку включає ряд послідовних операцій, наведених на рисунку 3.1.

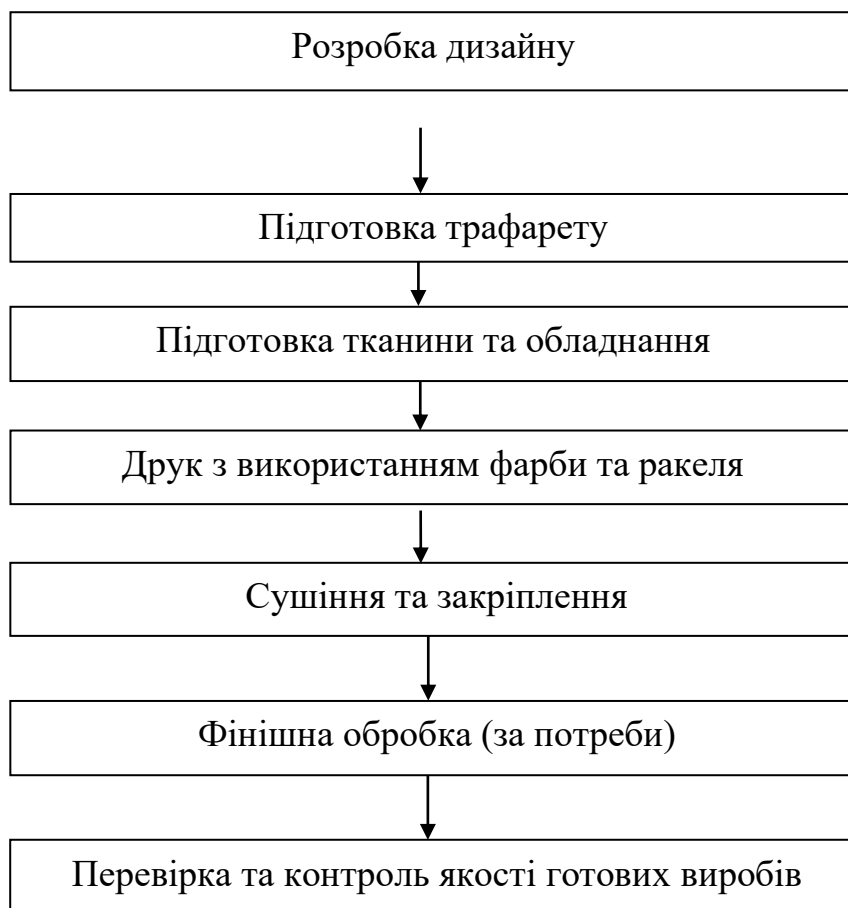


Рисунок 3.1 – Технологічна схема типової технології трафаретного друку

Слід зазначити, що типову технологію трафаретного друку адаптують залежно від типу тканини, фарби (воднодисперсна, пластизольна) та обладнання (ручний чи автоматичний друк).

Розглянемо детально особливості та технологічні параметри трафаретного друку текстильних виробів.

На початку здійснюють підготовку матеріалів. Обирають тканину для друку (бавовна, поліестер, сумішева та ін.). Обирають дизайн, який переносять на трафарет. В технологіях трафаретного друку з використанням УФ-фарб для створення трафарету наносять світлочутливий шар на сітку. Експонують трафарет за допомогою ультрафіолету. Промивають сітку для формування зображення. Після цього обрану тканину натягують на друкарський стіл. Трафарет

встановлюють у друкарську раму. Фарбувальну композицію наносять на сітку трафарету. Скрізь отвори в трафареті фарбу переносять на тканину за допомогою ракеля. Необхідно дотримуватися рівномірного тиску при розподіленні фарби на поверхні тканини. Потім тканину переміщують до сушильної установки для висихання фарби. Залежно від типу фарби використовують термозакріплення або парову обробку для фіксації фарби.

Наприкінці технології трафаретного друку здійснюють контроль якості – перевіряють чіткість зображення, рівномірність нанесення фарби та відсутність дефектів. За потреби можливе додаткове нанесення захисних або декоративних покриттів – фінішна обробка [2, 14, 17].

Важливе значення в технологіях трафаретного друку має дотримання температурних режимів в процесі нанесення якісних та стійких зображень.

Для видалення вологи або розчинника з фарби в процесі сушіння рекомендована температура від 60 до 100 °С при використанні воднодисперсних фарб. Тривалість сушіння від 1 до 3 хв залежно від типу фарби і вологості середовища. Для пластизольних фарб, якщо використовують термозакріплення, попереднє сушіння не потрібне.

Для закріплення фарби здійснюють термічну обробку при температурі від 150 до 180 °С для воднодисперсних фарб від 2 до 5 хв. Закріплення пластизольних фарб проводять при мінімальній температурі для полімеризації від 150 до 160 °С. Максимальна температура до 180 °С для повного затвердіння фарби. Тривалість термічної обробки для пластизольних фарб від 1 до 2 хв. Важливо дотримуватися точного температурного режиму термічної обробки, оскільки надмірно висока температура може викликати вигоряння фарби або пошкодження тканини.

Після закріплення фарби текстильні вироби залишають охолоджуватися до кімнатної температури від 15 до 25 °С. Необхідно уникати різких перепадів температури, щоб запобігти розтріскуванню фарби або втрати еластичності.

Залежно від волокнистого складу текстильних виробів [11, 12] використовують спеціальні температурні режими для тканин. Температурні

режими трафаретного друку для текстильних виробів різного волокнистого складу наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Температурні режими трафаретного друку для текстильних виробів різного волокнистого складу

Волокнистий склад	Температурний режим
Натуральні тканини (бавовна, льон)	До 200 °С
Синтетичні тканини (поліестер, нейлон)	Від 150 до 170 °С
Сумішеві тканини	Від 150 до 170 °С

За даними таблиці 3.1 температурний режим трафаретного друку для текстильних виробів різного волокнистого складу знаходиться в межах від 150 до 200 °С. Рівномірне нагрівання забезпечує стійкість нанесеного зображення. Для синтетичних тканин температура трафаретного друку повинна бути не більше 170 °С, щоб уникнути плавлення. Температурний режим залежить від найбільш чутливого компонента, зазвичай синтетичних та штучних волокон.

Для уникнення перегріву слід використовувати інфрачервоні або конвекційні сушарки з регуляторами температури. Регулярно перевіряти температуру за допомогою термодатчиків. Перед масовим виробництвом виробів з трафаретним друком необхідне тестування окремих зразків текстильних виробів.

Дотримання правильних температурних режимів в технологіях трафаретного друку забезпечує довговічність і якість друкованого зображення.

3.2 Техніко-екологічне обґрунтування вибору фарби для трафаретного друку

У трафаретному друці використовують різні типи фарб. Це залежить від матеріалу, на який наносять зображення, а також від бажаних характеристик готового виробу. Основними видами фарб, які застосовують в трафаретному

друці є пластизолі, воднодисперсні, сольвентні та еко-сольвентні фарби (на основі розчинників), фарби на основі ультрафіолетового (УФ) відбивання [19].

Пластизолі є одними з найбільш популярних фарб у трафаретному друці. Вони складаються з пластмасових гранул, які розчиняють в рідкому розчиннику. Пластизолі забезпечують яскраві, насичені кольори та відмінну стійкість до зношування. Їх використовують для друку на тканинах широкого асортименту, особливо ефективні на бавовняних та поліестерних текстильних виробках. Пластизолі це спеціальні друкарські фарби, створені на основі полівінілхлоридної (ПВХ) смоли та пластифікаторів. Їх широко використовують у трафаретному друці, зокрема для нанесення зображень на текстильні вироби, завдяки своїй універсальності, яскравості кольорів і стійкості до зносу. Для гнучкості та еластичності фарби застосовують пластифікатори та додаткові компоненти (пігменти, стабілізатори, модифікатори) для досягнення необхідних властивостей.

В'язкість текстури фарби дозволяє легко наносити фарбу на текстильні поверхні через трафарет. Пластизолі не висихають на повітрі, а полімеризуються під дією високих температур від 150 до 180 °С. Утворюють щільний, насичений шар фарби на поверхні тканини. Висока гнучкість дозволяє застосовувати пластизолі для друку на матеріалах, які піддаються деформації (трикотаж, еластичні тканини). Використання пластизолів надає яскраві, насичені кольори з можливістю створення ефектів (матовий, глянцевиий, флуоресцентний) на зображеннях. Стійкі до багаторазового прання та зносу. Широко застосовують в технологіях трафаретного друку на різних типах тканин (бавовна, поліестер, сумішеві тканини). Підходять для створення складних дизайнів і спеціальних ефектів (високий рельєф, глітер, об'ємний друк). В процесі трафаретного друку фарба не засихає на сітці, що дозволяє працювати без перерв.

Головним недоліком пластизолів є негативний вплив на довкілля. Пластизолі містять ПВХ і пластифікатори, які можуть бути токсичними. Потребують спеціальних умов утилізації, оскільки не є біорозкладними. Необхідність спеціального обладнання термофіксації (сушильні тунелі,

термопреси). Утворюють щільний шар, що може знижувати повітропроникність тканини. Сферами застосування пластизолів в текстильній промисловості – виробу різного асортименту (футболки, спортивний одяг, сумки, шапки); рекламна продукція, друк на промо-матеріалах, виготовлення мерчу; декоративний, авторський друк, створення складних графічних зображень, логотипів, написів.

В технологіях трафаретного друку застосовують нанесення пластизолів через сітки з різною кількістю ниток, залежно від товщини шару фарби. Використовують різноманітне обладнання від ручних станків до автоматичних друкарських машин. Полімеризація пластизолів відбувається при температурі від 150 до 180 °С. Час термофіксації залежить від типу фарби, товщини шару та швидкості конвеєра. За допомогою пластизолів можливе створення текстур, об'ємних елементів, металевих або флуоресцентних відтінків.

Через екологічні виклики виробництва ПВХ і використання пластифікаторів активно розробляють альтернативні фарби для трафаретного друку текстильних виробів [3, 4, 19].

Вододисперсні фарби набирають популярності через екологічність. Вони містять воду як основний розчинник, що зменшує кількість токсичних випарів і покращує умови праці. Водні фарби добре підходять для друку на бавовняних та сумішевих тканинах, оскільки дають м'який, приємний на дотик результат.

Вододисперсні фарби це фарби на основі води, де основним розчинником є вода, а активними компонентами є дисперговані полімери, пігменти та допоміжні речовини. Вони стають дедалі популярнішими у трафаретному друці завдяки їх екологічності та універсальності. Відсутність легких органічних сполук (ЛОС) у складі таких фарб мінімізує негативний вплив на довкілля та здоров'я працівників. Безпечні для споживачів – ефективні для друку на текстильних виробках, які контактують зі шкірою (дитячий одяг, постільна білизна, натільний одяг). Зниження витрат на розчинники, оскільки вода як розчинник, є найдоступнішим і

найдешевшим ресурсом. Відсутність потреби в додаткових засобах, легко змиваються водою без необхідності використання дорогих хімічних засобів.

Вододисперсні фарби забезпечують високу якість друку, стійкість до багаторазового прання, довговічність зображення на тканині після закріплення, дозволяють отримати деталізовані зображення з високою якістю кольору.

Вододисперсні фарби в технологіях трафаретного друку добре поєднуються із різними матеріалами. Підходять для друку на бавовні, поліестері, льоні та сумішевих тканинах. Забезпечують хорошу адгезію на текстильних виробках.

Зручність у використанні, повільно засихають на сітці під час трафаретного друку, що спрощує роботу. Не мають різкого запаху, що покращує умови праці. Відповідають принципам сталого розвитку. Допомагають знизити екологічний слід у текстильній індустрії. Підходять для підприємств, які сертифіковані за екологічними стандартами, наприклад, OEKO-TEX, GOTS [20, 21].

В технологіях трафаретного друку вододисперсні фарби потребують закріплення при високих температурах від 150 до 170 °C, щоб забезпечити стійкість до багаторазового прання. Чутливі до температурних умов, не можна допускати замерзання, оскільки це може пошкодити структуру фарби. Для синтетичних тканин іноді потрібні спеціальні добавки для покращення адгезії.

Для друку вододисперсними фарбами використовують сітки з відповідною кількістю ниток (від 40 до 80 ТРІ залежно від товщини фарби).

Сфери застосування вододисперсних фарб в текстильній промисловості – дитячий одяг та текстиль, безпечні для шкіри, підходять для ековиробів, виробництво промоційної продукції (футболки, шопери, кепки), друк на виробках з натуральних тканин (постільна білизна, рушники, скатертини).

Вододисперсійні фарби є оптимальним вибором для підприємств, що прагнуть відповідати сучасним вимогам екологічності, безпеки та сталого розвитку. Їх використання забезпечує високу якість друку та зменшує шкідливий вплив на довкілля, що є ключовою перевагою у сучасній текстильній індустрії.

Сольвентні фарби містять органічні розчинники і застосовують для друку на матеріалах, які важко обробляти водними фарбами, наприклад, на поліуретанових тканинах або жорстких поверхнях. Вони забезпечують високу стійкість до зовнішніх впливів, таких як волога та ультрафіолетове випромінювання.

Сольвентні фарби на основі органічних розчинників, які використовують для друку на текстильних поверхнях, що складно обробляти іншими типами фарб. Вони характеризуються високою стійкістю до зовнішніх впливів і універсальністю, стійкістю до умов навколишнього середовища. Також сольвентні фарби забезпечують високий рівень стійкості до вологи, хімічних впливів і ультрафіолетового випромінювання, що робить їх ідеальними для зовнішнього застосування. Ці фарби використовують для трафаретного друку широкого асортименту текстильних виробів, включаючи елементи з ПВХ, поліуретан, вініл, скло, метал, тканини зі спеціальними покриттями.

Сольвентні фарби дозволяють отримувати насичені, яскраві кольори, які довго не втрачають своєї інтенсивності. Забезпечують високу адгезію, сильне прилипання до матеріалів із гладкою або складною поверхнею.

Головним недоліком сольвентних фарб є їх токсичність. Сольвентні фарби містять ЛОС, які можуть бути шкідливими для здоров'я і потребують належної вентиляції у виробничих приміщеннях. Мають негативний вплив на екологію. Через випаровування органічних розчинників ці фарби є менш екологічними, ніж водні або еко-сольвентні аналоги. У порівнянні з УФ-фарбами або пластизолями, процес висихання сольвентних фарб займає більше часу. Відходи сольвентних фарб потребують спеціальних умов утилізації, щоб уникнути забруднення довкілля.

Сфери застосування зовнішня реклама (банери, вивіски), друк на упаковках, текстиль зі спеціальними покриттями, декорування виробів зі скла, металу та пластику.

Попри свої недоліки, сольвентні фарби залишаються популярними завдяки своїй універсальності, яскравості та стійкості до несприятливих умов.

Еко-сольвентні фарби є різновидом сольвентних фарб, але з меншою кількістю токсичних розчинників. Їх також використовують для друку на складних матеріалах і забезпечують чудову стійкість та яскравість зображень. Еко-сольвентні фарби – це вдосконалена альтернатива традиційним сольвентним фарбам. Вони містять меншу кількість ЛОС, що робить їх екологічнішими і безпечнішими для здоров'я. Завдяки мінімальному вмісту ЛОС, еко-сольвентні фарби мають знижену токсичність, менший вплив на довкілля та створюють безпечніші умови для працівників. Мають високу стійкість до зовнішніх впливів, забезпечують відмінну стійкість до ультрафіолету, вологи, і температурних змін, що ідеально підходить для зовнішнього використання.

Використання еко-сольвентних фарб відповідає сучасним стандартам сталого розвитку, оскільки їх виробництво та утилізація є менш шкідливими для довкілля. Як і сольвентні фарби, еко-сольвентні підходять для друку на різних комбінованих поверхнях, вінілових, пластикових, металевих та текстильних. Еко-сольвентні фарби дозволяють досягти високої якості друку, насичених кольорів, чіткого друку та довговічності зображення.

Використання еко-сольвентних фарб має вищі початкові витрати. Ці фарби, як правило, дорожчі, ніж традиційні сольвентні аналоги, і потребують адаптації обладнання. Мають триваліший час висихання. Еко-сольвентні фарби можуть висихати трохи повільніше, ніж УФ-фарби. Обмежена стійкість до екстремальних умов. У порівнянні з сольвентними фарбами, вони можуть бути менш ефективними за дуже екстремальних умов, наприклад, на високотемпературних поверхнях.

Еко-сольвентні фарби широко застосовують для друку банерів, плакатів і вивісок; зовнішньої реклами, особливо в умовах, де необхідна екологічна сертифікація), інтер'єрного друку, декорування текстильних виробів.

Еко-сольвентні фарби стають все популярнішими завдяки поєднанню екологічності та високої якості друку, що відповідає сучасним вимогам сталого розвитку.

Фарби на основі ультрафіолетового відбивання закріплюють під впливом ультрафіолетових променів, стають все популярнішими в трафаретному друці, особливо для друку на пластикових та металевих поверхнях. Ці фарби швидко висихають, не потребують додаткової обробки, енергозберігаючі. УФ-фарби мають свої недоліки, які можуть обмежувати їх використання. Для використання УФ-фарб необхідне дороговартісне спеціальне обладнання, таке як УФ-лампи або лазери для затвердіння та матеріали. Це збільшує початкові витрати. УФ-промені можуть бути шкідливими для здоров'я працівників, тому потрібні додаткові заходи безпеки, зокрема захисні екрани або окуляри. УФ-фарби можуть погано взаємодіяти з певними типами тканин або матеріалів, що обмежує їх універсальність. До затвердіння УФ-фарби можуть виділяти ЛОС, які впливають на навколишнє середовище та здоров'я персоналу. Відходи УФ-фарб можуть потребувати спеціальної утилізації, оскільки є потенційно токсичними. Процес затвердіння вимагає дуже точного налаштування, щоб уникнути нерівномірного нанесення або поганої фіксації забарвлення.

УФ-фарби фіксують під впливом ультрафіолетового випромінювання. Вони набули популярності в текстильній промисловості, пакуванні та інших галузях завдяки високій швидкості затвердіння і чудовим експлуатаційним властивостям. УФ-фарби миттєво висихають під дією ультрафіолетових ламп, що значно скорочує час виробничого циклу. Отримане покриття має високу стійкість до стирання, вологи, хімічних речовин і ультрафіолетового випромінювання. УФ-фарби забезпечують високий рівень яскравості, насиченості кольорів, чіткості друку. Економічні, завдяки миттєвому затвердінню УФ-фарб, мінімізується їх витрата та знижується кількість браку. Екологічність, УФ-фарби містять мало ЛОС, що знижує їх негативний вплив на довкілля порівняно з сольвентними фарбами.

Для роботи з цими фарбами потрібне спеціальне обладнання – УФ-лампи або лазерне обладнання, яке коштує дорого. Необхідність чіткого контролю

процесу. Неправильне налаштування УФ-випромінювання може призвести до недозатвердіння або перегріву.

Відходи УФ-фарб можуть бути токсичними до затвердіння, що створює складність при утилізації, потребує спеціальних умов утилізації.

Обмеження у виборі матеріалів, оскільки деякі матеріали можуть деформуватися або втрачати свої властивості під впливом УФ-випромінювання.

УФ-фарби розповсюджені в текстильній промисловості для нанесення яскравих зображень на тканини, для друку на комбінованій упаковці – на пластиковій, металевій і паперовій тарі, для виготовлення візиток, етикеток, листівок, для створення декоративних елементів на скляних, металевих, дерев'яних поверхнях.

УФ-фарби високоефективні для друку та декорування, поєднують екологічність, швидкість виробництва та стійкість результату. Проте їх використання вимагає спеціального обладнання і дотримання суворих технологічних умов.

Порівняння різних типів фарб для трафаретного друку наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняння різних типів фарб для трафаретного друку

Тип фарби	Переваги	Недоліки	Сфери застосування
1	2	3	4
Пластизолі	Насичені кольори. Висока стійкість до зношування. Простота у використанні.	Неекологічні, високий вміст ПВХ. Потребують нагрівання для затвердіння	Одяг (футболки, сумки), технічний текстиль

Кінець табл. 3.2

1	2	3	4
Вододисперсні	Висока екологічність. М'який на дотик результат. Простота очищення раклі	Обмежена яскравість кольорів. Вимогливість до типу матеріалу	Натуральні тканини (бавовна, льон)
Сольвентні	Стійкість до води та УФ. Підходять для складних поверхонь	Токсичність. Тривалий час висихання	Тканини зі складними покриттями, поліуретани
Еко-сольвентні	Стійкість до води та УФ. Підходять для складних поверхонь	Менш токсичні порівняно з сольвентними. Висока стійкість зображень.	Тканини зі складними покриттями, поліуретани
УФ-фарби	Висока вартість обладнання, небезпека для персоналу, токсичність, складність утилізації	Швидко висихають, не потребують додаткової обробки, енергозберігаючі	Тканини з комбінованими компонентами (пластик, метали)

Тип фарби в технологіях трафаретного друку обирають залежно від конкретних вимог до кінцевого продукту, таких як стійкість до зношування, екологічність, час висихання та тип поверхні для друку.

У відповідь на зростаючі вимоги щодо екологічності виробництва, виробники все більше переходять на використання воднодисперсних фарб. Це дозволяє зменшити вплив на навколишнє середовище, зокрема завдяки зниженню використання шкідливих розчинників і токсичних матеріалів [3, 4]. Тому для удосконалення технології трафаретного друку використовують воднодисперсні фарби.

3.3 Оцінка продуктивності та енергоефективності обладнання для трафаретного друку

Для забезпечення високої якості нанесення зображень, трафаретний друк виконують на професійному обладнанні. Використовують тільки сертифіковані фарби і якісні основи, тому текстильні вироби будуть зберігати первинний вигляд і не заподіють шкоди здоров'ю та навколишньому середовищу.

Обладнання для трафаретного друку включає низку спеціалізованих пристроїв і машин, які використовують для створення друкованих зображень на текстилі. Популярні виробники обладнання в світі – M&R, Anatol, ROQ, Epson (для гібридних систем), Vastex та ін. [22-26]. Сучасне професійне обладнання дозволяє досягти високої якості трафаретного друку, є важливим інструментом для текстильного та рекламного виробництва.

Розглянемо основні категорії професійного обладнання для трафаретного друку:

- Ручне обладнання. Рамки для трафарету використовують для натягування сітки (шовку або синтетичного матеріалу), через яку наносять фарбу. Шпателі (ракелі) служать для рівномірного нанесення фарби через трафарет. Сушильні пристрої для закріплення фарби на поверхні після нанесення. Ручні методи підходять для малих обсягів виробництва та індивідуального дизайну.

- Напівавтоматичне обладнання. Напівавтоматичні друкарські столи обладнані механізмами для автоматичного підйому/опускання трафаретної рами,

що полегшує процес друку. Установки для підсушування використовують між етапами нанесення багатошарових малюнків. Застосовують на підприємствах з малими та середніми обсягами виробництва.

- Автоматичне обладнання. Автоматичні трафаретні машини – повністю автоматизовані системи для нанесення зображень. Забезпечують високу точність, швидкість і повторюваність результату. Карусельні машини використовують для багатобарвного друку. Установки дозволяють друкувати кілька кольорів одночасно, обертаючи виріб між станціями. Ефективні для великих тиражів друку на текстилі.

- Сушильні системи. Конвеєрні сушарки застосовують для масового виробництва. Забезпечують швидке та рівномірне висихання фарби. Інфрачервоні та ультрафіолетові сушарки використовують для закріплення фарб, таких як УФ або пластизолі.

- Додаткове обладнання. Мийки для очищення трафаретів використовують для зняття залишків фарби після друку. Експонувальні установки призначені для створення трафаретів за допомогою світлочутливих емульсій. Преси для термофіксації закріплюють нанесене зображення при високих температурах.

З метою удосконалення технологій трафаретного друку необхідно враховувати сучасні тренди розвитку професійного обладнання. А саме, енергоефективне обладнання, орієнтоване на зменшення споживання енергії; цифрові компоненти, інтеграція з комп'ютерними системами для автоматизації та оптимізації технологічних процесів трафаретного друку.

Сучасні вимоги до обладнання для трафаретного друку визначають зростаючі стандарти якості продукції, екологічні норми та потреби у гнучкості виробництва. Критерії вибору обладнання охоплюють технічні, економічні та екологічні аспекти. В даний час існують ключові вимоги та критерії вибору обладнання для трафаретного друку. Ключові вимоги та критерії вибору обладнання для трафаретного друку узагальнені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Ключові вимоги та критерії вибору обладнання для трафаретного друку

Вимоги до обладнання	Критерії відповідності
1	2
Якість зображень	Висока якість друку, забезпечення точної передачі деталей зображення. Мінімізація дефектів, таких як розмиття або нерівномірне нанесення фарби.
Екологічність	Використання енергоефективних технологій. Можливість роботи з фарбами, що відповідають екологічним стандартам (вододисперсні, УФ-фарби тощо). Низький рівень викидів ЛОС.
Швидкість та продуктивність	Висока швидкість друку для великих тиражів. Автоматизація процесів для зменшення впливу людського фактора. Гнучкість та універсальність. Можливість роботи з різними матеріалами (текстиль, папір, пластик). Налаштування для багатобарвного друку та складних дизайнів.
Економічність	Початкова вартість обладнання. Енергоспоживання. Витрати на обслуговування та заміну компонентів. Сумісність із матеріалами, обладнання повинно підтримувати всі необхідні матеріали для конкретного виробництва (бавовна, поліестер, сумішеві).
Технічні характеристики	Максимальний формат друку (розмір друкованої поверхні). Типи підтримуваних фарб (вододисперсні, пластизолі, УФ-фарби). Спосіб затвердіння фарби (сушарки, УФ-лампи).

Кінець таблиці 3.3

1	2
Інноваційні можливості	Цифрові функції, наприклад, попередній перегляд дизайну. Підтримка Industry 4.0 для інтеграції в автоматизовані системи.
Ергономіка та зручність використання	Інтуїтивний інтерфейс для налаштувань. Швидка заміна трафаретів і фарб
Виробник та сервіс	Рівень підтримки постачальника – навчання персоналу, гарантія, післяпродажне обслуговування. Репутація виробника на ринку.

Світовими лідерами у виробництві сучасного обладнання для трафаретного є відомі виробники ROQ, M&R, Anatol [22-24] для професійного текстильного друку та Vastex, Workhorse Products [26, 27] для малого та середнього виробництва.

Серед українських виробників лідером виробництва обладнання для трафаретного друку є компанія Li-Tech [28]. Компанія виробляє широкий асортимент станків, рам та сушарок, оптимальних для трафаретного друку на текстильних виробках.

При виборі обладнання для трафаретного друку на сумішевих матеріалах, важливо враховувати специфіку текстильного виробництва, можливі обсяги друку та екологічні вимоги.

Лінія обладнання для трафаретного друку на текстильних виробках з сумішевих тканин включає: друкарські верстати, сушильне обладнання, копіювальні рами та установки, допоміжне обладнання, програмне забезпечення. Така лінія професійного обладнання для трафаретного друку дозволяє реалізувати повний цикл виробництва – від підготовки дизайну до якісного друку на текстильних виробках з сумішевих тканин [22-28].

Дослідження кваліфікаційної роботи проведено в умовах сучасного текстильного виробництва ФОП Петегерич С. В. Надамо характеристику обладнання для трафаретного друку.

Карусельні друкарські машини найпоширеніші для якісного багатокольорового трафаретного друку на текстильних виробах з сумішевих тканин. Використання карусельних друкарських машин дозволяє наносити багатобарвні зображення, забезпечуючи високу якість і продуктивність виробництва текстильних виробів з друкованими принтами. Конструкція карусельної машини складається з обертової рами, на якій закріплено кілька друкарських столів і секцій для нанесення фарби. Принцип роботи базується на обертанні секцій, що дозволяє наносити кілька шарів фарби без необхідності знімати виріб.

Розрізняють ручні карусельні машини, які використовують для невеликих обсягів виробництва. Автоматичні та напівавтоматичні – для середнього та великого виробництва, що підвищує швидкість і точність друку.

Перевагами використання карусельних машин для трафаретного друку є висока продуктивність, можливість нанесення багатобарвних зображень, універсальність, підходять для друку на футболках, сумках, спецодязі тощо, зручність використання завдяки простоті конструкції та налаштувань.

Поряд з цим, карусельні машини займають значний простір, потребують кваліфікованого обслуговування.

Карусельні машини для трафаретного друку є ефективним рішенням для компаній, що прагнуть поєднати високу якість друку з відносно низькими витратами на обладнання. Високоєфективні при виробництві рекламної продукції, промо матеріалів, друку на текстильних виробах для масового та індивідуального замовлення, створення креативного одягу з принтами.

Для удосконалення технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин використовуємо автоматичну карусельну машину Printex (Польща). Автоматична карусельна машина для трафаретного друку Printex 6x6 з

пневмоприводом повороту столів і моторами приводу ракельних кареток забезпечує високу продуктивність друку [29]. Карусельні машини Printex запроєктовані і виготовлені для багатозмінної тривалої роботи з продуктивністю до 1100 виробів на годину. Для монтажу обладнання використовують в основному Європейські та Американські комплектуючі. Верстати відповідають виробничим вимогам за якістю і швидкістю друку. Це швидкі, економічні та прості у використанні машини, мають швидку самоокупність (від 2 до 4 місяців при повному завантаженні), є простими, надійними в експлуатації. Стандартний формат друку може досягати 41x41 см, опційно максимальний формат друку може становити 70x41 см. Максимальна швидкість друку автомата становить 900 циклів/год. Зовнішній вигляд карусельної машини для трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин Printex 6x6, представлено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд карусельної машини для трафаретного друку Printex 6x6 (Польща)

Машина для трафаретного друку Printex складається з робочого столу на якій розміщують матеріал для друку, трафарету, затискного механізму для утримання трафаретної форми, ракелі та контрракелі. Трафаретний друк проводять швидко та якісно, забезпечуючи рівномірний розподіл фарби та чіткість зображення.

Сушильне обладнання для трафаретного друку є важливим елементом виробничого процесу, оскільки забезпечує швидке та ефективне затвердіння фарб

на друкованих текстильних виробках. Тип сушильного обладнання залежить від матеріалів, що використовують, типу фарби та обсягів виробництва.

Розрізняють інфрачервоні сушарки (ІЧ-сушарки), які використовують інфрачервоне випромінювання для швидкого нагріву та висушування фарб. Енергоефективні, забезпечують швидке сушіння, компактні. Мають обмежену площу сушіння, тому краще підходять для невеликих обсягів трафаретного друку на текстильних виробках з сумішевих матеріалів.

Конвеєрні тунельні сушарки використовують для великих обсягів виробництва. Оснащені конвеєрною стрічкою, яка переносить вироби через зону нагріву. Забезпечують рівномірне сушіння, високу продуктивність, але потребують значного простору та енерговитрат.

Ультрафіолетові сушарки (УФ-сушарки) застосовують для УФ-фарб. Випромінювання ультрафіолетового світла прискорює процес полімеризації фарби, що забезпечує миттєве затвердіння фарби, економія часу. Мають високу вартість, необхідність використання спеціальних фарб.

Теплові сушарки використовують гаряче повітря для випаровування вологи та затвердіння фарб. Універсальні, підходять для різних типів фарб. Триваліший процес сушіння у порівнянні з УФ- або ІЧ-сушарками.

Флеш-сушарки компактні пристрої для часткового підсушування фарби перед нанесенням наступного шару. Зручні для багат шарового друку, підходять лише для невеликих серій трафаретного друку на текстильних виробках з сумішевих матеріалів.

При виборі сушарок необхідно враховувати: тип фарби (воднодисперсні, пластизолі, УФ-фарби тощо), волокнистий склад текстильних виробів, продуктивність та масштаби виробництва, енергоефективність, розміри виробничого приміщення для встановлення обладнання.

Важливо враховувати технічні характеристики обладнання та специфіку конкретного текстильного виробництва при виборі сушарки. Інфрачервоні тунельні сушарки – для швидкого сушіння фарб на текстилі, особливо ефективні

для великого обсягу продукції. Конвеєрні сушарки – для роботи з різними типами фарб, такими як пластизольні, воднодисперсійні або УФ.

Проміжні сушарки використовують для проміжного сушіння шару фарби при багатокольоровому прямому друку, а також при виготовленні термотрансферів. При невеликих тиражах та малій продуктивності можуть бути використані для остаточного сушіння. Мають зручний дизайн, ретельне тестування, а також використання нових контролерів, керованих мікропроцесором. Працюють у поєднанні з ручними каруселями та з напівавтоматами M&R, Printex, Anatol [22, 23, 29]. В сушарках інтегровані кварцові лампи зі швидким розігрівом, регулювання температури, примусове обдування, три зони нагрівання, що відключаються, інтерфейс підключення до сучасних машин трафаретного друку M&R, Printex, Anatol, а також до будь-яких моделей, що мають тачскрін дисплей. Також можливість роботи з трафаретними верстатами МНМ, M&R, Printex, Anatol, які не мають інтерфейсу підключення, трафаретними верстатами інших виробників, використовуючи зовнішній сенсор.

Проміжні сушарки монтують на порожню друкарську станцію. Основні технічні характеристики сушарок для проміжного сушіння в технологіях трафаретного друку наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Основні технічні характеристики сушарок для проміжного сушіння

Характеристика	Значення
Вимоги до живлення	3-фазний, 400 В, від 50 до 60 Гц
Максимальна споживана потужність	15, 22, 27 кВт
Кількість нагрівальних ламп	Від 10 до 15
Площа обігріву	Від 50х50 см до 65х90 см

У виробничих умовах ФОП Петегерич С. В. застосовують сушарку для проміжного сушіння Printex (Польща). Зовнішній вигляд сушарки для проміжного сушіння Printex представлено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд сушарки для проміжного сушіння Printex

Сушарка Printex має автоматичне регулювання температури, ПЧ-моніторинг, що забезпечує точне контролювання технологічних параметрів. Комбіновану систему сушіння – використовують інфрачервоне випромінювання разом із гарячим повітрям для досягнення оптимального результату. Економічна, завдяки комп'ютерному керуванню система автоматично вимикає лампи, коли досягнута встановлена температура. Використання сушарки Printex для трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих матеріалів забезпечує високу продуктивність текстильного виробництва.

Фінішна сушарка для трафаретного друку являє собою механотронний агрегат, який призначений для кінцевого або поточного швидкого просушування фарби нанесеної на одяг і шкіру при операціях трафаретного друку, а також фарби нанесеної на метали, пластик тощо. На текстильному виробництві ФОП Петегерич С. В. для трафаретного друку встановлено тунельну сушарку

TD-3-6000-680-1520-ET ТМ ІнтехІДЕА (Україна, м. Хмельницький). Зовнішній вигляд тунельної сушарки TD-3-6000-680-1520-ET представлено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд тунельної сушарки TD-3-6000-680-1520-ET

При виборі сушарки важливо звертати увагу на її енергоефективність, розмір тунелю, максимальну температуру та сумісність з типами фарб, які використовують у виробництві. Технічні характеристики тунельної сушарки TD-3-6000-680-1520-ET для трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих матеріалів наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики тунельної сушарки TD-3-6000-680-1520-ET

Технічні характеристики	Значення показника
Довжина камери нагрівання	1520 мм
Напруга живлення	380 VAC
Габарити	4010x790x1200мм (ДхШхВ)
Ширина конвеєра	600 мм
Максимальна потужність	6,1 кВт
Гарантійний термін обслуговування	1 рік
Діапазон завдання швидкості руху стрічки	Від 15 до 50 мм/с
Довжина конвеєра на вході і виході	1200 мм
Діапазон встановлення температури сушіння	Від 80 до 180 °С

Таким чином, враховуючи технічні характеристики, наведені в таблиці 3.5, тунельна сушарка TD-3-6000-680-1520-ET забезпечує ефективне сушіння текстильних виробів після нанесення фарби, підходить для екологічних воднодисперсних фарб та УФ-покриттів.

Копіювальні рами та установки використовують у трафаретному друці для перенесення зображення на друкарську сітку за допомогою фотополімерних емульсій. Це критичний етап у підготовці до друку, оскільки якість перенесеного зображення впливає на точність друку.

Розрізняють ручні копіювальні рами, які використовують для невеликих тиражів, потребують ручного керування експозицією. Автоматизовані копіювальні установки забезпечують рівномірну експозицію завдяки контролю світлового потоку. Використовують на середніх та великих текстильних виробництвах. Часто оснащені вакуумними системами для притискання плівки до сітки, що забезпечує високу точність.

Оснащені потужними УФ-лампами для полімеризації світлочутливої емульсії. Мають вакуумні столи для щільного прилягання плівки до сітки. Автоматизовані моделі можуть мати налаштування для різних типів сіток і товщин емульсії. Забезпечують високої точності перенесення зображення. Скорочують час на підготовку друкарської сітки. Підвищують якість друку завдяки мінімізації похибок.

Для роботи з копіювальними рамами важливо вибрати відповідний тип емульсії та правильно налаштувати час експозиції залежно від джерела світла та товщини нанесення. Це гарантує чіткість ліній і відсутність дефектів на готовому друкованому матеріалі.

У трафаретному друці текстильних виробів допоміжне обладнання забезпечує точність, ефективність і якість друку на різних етапах виробництва. До допоміжного обладнання належать преси для закріплення зображення, системи подачі фарби та очищення, обладнання для підготовки сіток та ін. Наприклад, за допомогою мийних та регенераційних станцій очищають сітки від залишків

емульсій після друку. Натяжні рамки забезпечують відповідний натяг друкарської сітки для рівномірного нанесення фарби. Автоматичні або ручні аплікатори – для нанесення фотополімерних шарів на друкарську сітку. Столи для монтажу дозволяють точно вирівняти трафарети для нанесення фарб на текстильні вироби з сумішевих тканин. Системи кольорового налаштування допомагають змішувати фарби відповідно до стандартів кольору, наприклад, Pantone. Вимірювальні прилади для контролю товщини шару фарби, рівномірності друку та зчеплення фарби з поверхнею текстильних виробів. Вакуумні столи забезпечують рівномірне нанесення фарби під час роботи з делікатними матеріалами.

Перевагами використання допоміжного обладнання є підвищення продуктивності, мінімізація браку, зменшення ручної праці, забезпечення стандартів якості. Допоміжне обладнання сприяє ефективному виробництву текстильних виробів із застосуванням сучасних методів трафаретного друку.

Вентиляційне обладнання для трафаретного друку є важливим елементом забезпечення безпеки праці, оскільки під час трафаретного друку використовують фарби, розчинники та інші хімічні речовини, які можуть виділяти пари та забруднювати повітря. Вентиляційне обладнання необхідне для видалення парів розчинників або інших хімічних речовин. Це обладнання також сприяє збереженню якості продукції та стабільності технологічного процесу.

Основні типи вентиляційного обладнання:

- Витяжні системи – видаляють шкідливі пари фарб і розчинників безпосередньо з робочих зон. Використовують для запобігання накопичення ЛОС.
- Приточно-витяжні системи – забезпечують свіжий потік повітря та видалення відпрацьованого. Регулюють температуру та вологість, що є важливим для стабільності друкованих матеріалів.
- Локальні витяжки встановлюють над друкарськими столами або сушильним обладнанням. Застосовують для видалення парів у конкретних зонах.

- Системи очищення повітря включають фільтри з активованим вугіллям або каталізатори для нейтралізації шкідливих речовин. Особливо актуальні при використанні сольвентних фарб.

- системи рециркуляції – повертають очищене повітря в приміщення, зменшуючи енергоспоживання.

Встановлення вентиляційного обладнання є обов'язковою умовою для безпеки виробничого процесу. Захищає працівників від вдихання шкідливих парів. Підтримує стабільну температуру та вологість, що важливо для якості друку. Зменшує викиди шкідливих речовин у довкілля. Підвищує продуктивність, забезпечує комфортні умови для працівників.

Під час вибору вентиляційного обладнання потрібно враховувати розміри виробничого приміщення, тип фарб і розчинників, що використовують, інтенсивність виробництва, норми безпеки та екологічні вимоги.

Програмне забезпечення для трафаретного друку відіграє ключову роль на етапах розробки дизайну, підготовки трафаретів, а також оптимізації друкарських процесів. Воно забезпечує високу точність і продуктивність, спрощує управління кольорами і налаштуваннями друку. Розрізняють основні категорії програмного забезпечення:

- Дизайнерські програми використовують для створення або редагування дизайнів, які будуть друкуватися. Наприклад, Adobe Illustrator популярний інструмент для створення векторних графічних зображень; CorelDRAW потужна платформа для роботи з графікою, яку часто використовують у друкарських процесах. Affinity Designer сучасна альтернатива для професійного дизайну.

- Растрові редактори необхідні для обробки зображень високої якості. Наприклад, Adobe Photoshop ідеальний для роботи з фотографіями та графікою, яка потребує ретельної обробки.

- Програми для підготовки трафаретів оптимізують зображення для нанесення на друкарську сітку. Зокрема, Separation Studio спрощує процес

кольороподілу для створення трафаретів; AccuRIP програма для роботи з принтерами, яка дозволяє друкувати плівки для трафаретного друку.

- Програмне забезпечення для управління друком координує роботу обладнання, забезпечує точне нанесення кольорів. Наприклад, Raster Image Processor (RIP-програми): Onyx RIP забезпечує якісний друк і точний контроль кольорів; Wasatch SoftRIP дозволяє легко керувати процесом трафаретного друку.

- Програми для 3D-друку та моделювання (якщо необхідно), Fusion 360, Blender для створення моделей або друкарських принтів.

Використання сучасного програмного забезпечення сприяє високій точності та деталізації, забезпечує безпомилковий кольороподіл і відповідність дизайну. А також автоматизації процесу, скороченню ручної праці та економії часу, оптимізації витрат, раціональному використанню матеріалів і ресурсів, управлінню кольорами, відповідності друкованих кольорів до дизайну.

Сучасне програмне забезпечення дозволяє інтегрувати процеси дизайну, підготовки трафаретів і друку в єдиний робочий процес, забезпечуючи високу продуктивність і якість результату.

Отже, сучасне обладнання для трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин, дозволяє створювати високоякісне зображення на поверхні виробів, з різними візуальними та тактильними ефектами. Використання енергоефективного обладнання, з професійними вентиляційними системами забезпечує безпеку трафаретного друку для навколишнього середовища, здоров'я персоналу, відповідає принципам сталого розвитку. Сучасне програмне забезпечення покращує якість та точність трафаретного друку на текстильних виробках з сумішевих тканин, продуктивність виробництва.

3.4 Дослідження хімічного складу воднодисперсної фарби методами ІЧ-спектроскопії

Хімічний аналіз складу воднодисперсної фарби Feteks для підтвердження відповідності екологічним стандартам здійснювали за допомогою ІЧ-Фур'є спектрометру IRAffinity-1 (Shimadzu, Японія). На рисунку 3.6 наведено спектр воднодисперсної фарби Feteks.

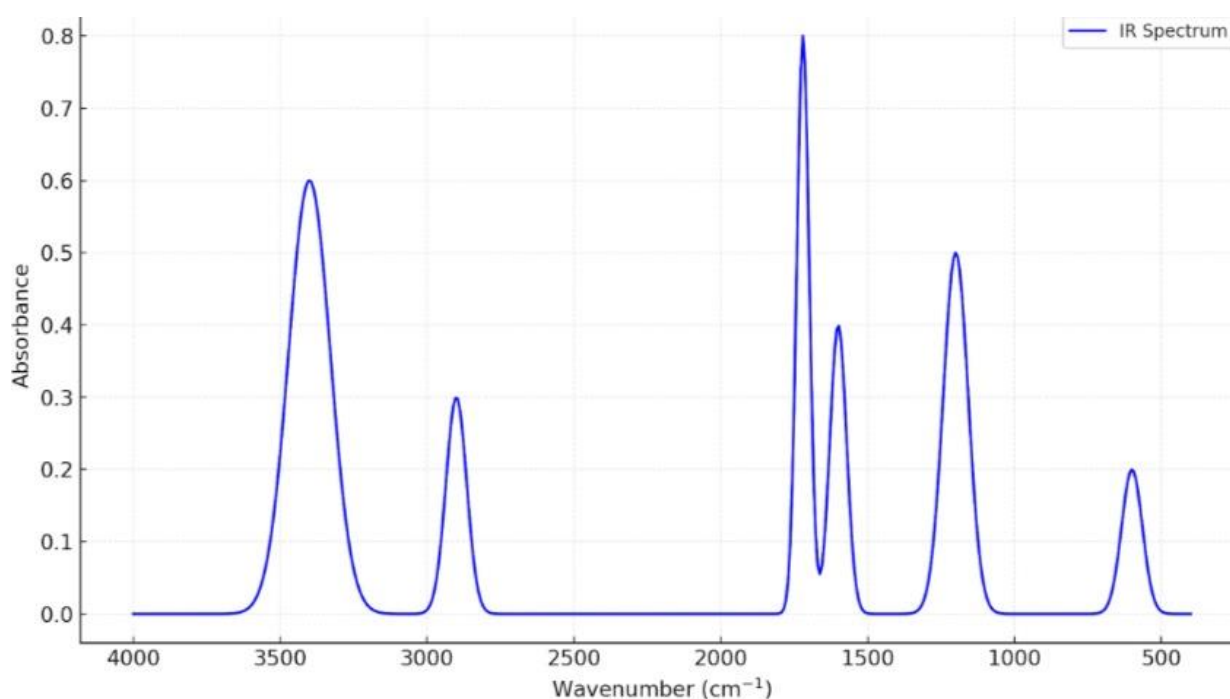


Рисунок 3.6 – Спектр воднодисперсної фарби Feteks

ІЧ-спектроскопія воднодисперсної фарби Feteks показала, що у спектрах спостерігаються наявні смуги поглинання, які допомагають ідентифікувати функціональні групи. Валентні коливання О–Н (гідроксильні групи) – поглинання у діапазоні 3200–3600 см⁻¹; С=О (карбонільні групи) – поглинання у діапазоні 1650–1750 см⁻¹. Деформаційні коливання Н–О–Н близько 1600 см⁻¹, характерні для зв'язаної води.

Характерними смугами для досліджуваної воднодисперсної фарби Feteks смуги поглинання у діапазоні нижче 1000 см^{-1} характерні для вібраційних зв'язків у органічних пігментах (наповнювачі – пігменти).

У спектрі можна виділити широкі смуги O–H, які свідчать про наявність води. Інтенсивні піки у діапазоні 1700 см^{-1} характерні для карбонільних груп полімерів. Ділянка $2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ вказує на можливі вуглеводневі компоненти зв'язуючої речовини (парафіни).

Таким чином, дослідження ІЧ-спектрів воднодисперсної фарби Feteks підтвердили чистоту компонентів фарби для трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин. Що забезпечує безпеку технології трафаретного друку, відповідає принципам сталого розвитку [3, 4].

3.5 Розробка рекомендацій щодо удосконалення технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин

Удосконалення технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин полягає у впровадженні інноваційних рішень, спрямованих на підвищення якості друку, зменшення екологічного впливу та оптимізацію витрат. На основі досліджень підрозділів 3.1 – 3.3 основними напрямками удосконалення є модернізація обладнання, застосування сучасних речовин і матеріалів, використання новітніх програмних технологій [2, 4, 19, 30].

Одним із основних аспектів удосконалення технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин є використання інноваційних та безпечних фарб. Тому рекомендовано використання воднодисперсних фарб для зменшення шкідливого впливу на довкілля.

Для удосконалення трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин рекомендовано використання автоматичних друкарських машин з точним контролем за процесом друку. Інтеграцію цифрових карусельних машин, які забезпечують високу швидкість друку і стабільну якість. Застосування сучасних

сушильних тунелів для оптимального закріплення фарби. Тому лінійка основного обладнання для трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин складається з карусельної машини для трафаретного друку Printex (Польща) сушарки для проміжного сушіння Printex (Польща), тунельної сушарки TD-3-6000-680-1520-ET (Україна) [28, 29].

Енергоефективність даного обладнання забезпечено використанням енергоефективних сушильних систем з регульованою температурою. Інтеграцією рекупераційних систем, які знижують споживання енергії.

Використання RIP-програм для оптимізації процесу підготовки до друку, інтеграція систем комп'ютерного управління, забезпечують точне дозування фарби та контроль за нанесенням.

З метою зниження відходів, підвищення екологічної відповідальності, рекомендовано замкнений цикл виробництва для повторного використання залишків фарби. Впровадження ефективних систем очищення для зменшення забруднення води і повітря. Перехід на біорозкладні або безпечні матеріали для друку (трафарети, фарби). Використання безвідходних технологій на всіх етапах процесу [3, 4].

Повторне використання воднодисперсних фарб для трафаретного друку є важливим аспектом екологічної та економічної оптимізації виробничого процесу. Відновлення залишків воднодисперсних фарби дозволяє скоротити витрати на придбання нових матеріалів. Зменшення обсягів відходів та впливу на навколишнє середовище. Ефективне використання ресурсів сприяє підвищенню рентабельності виробництва.

Методи повторного використання воднодисперсних фарб для трафаретного друку текстильних виробів сумішевих матеріалів:

- збір залишків фарби – після завершення друку фарбу, що залишилася на екрані чи у резервуарах, збирають та фільтрують;
- фільтрація та очищення - видаляють тверді частинки, щоб забезпечити якість фарби для наступного використання;

- змішування з новою фарбою – для відновлення в'язкості та якості фарбу, що відновлюють, можуть змішувати з новою.

При повторному використанні воднодисперсних фарб для трафаретного друку слід враховувати, що багаторазове використання може змінювати фізико-хімічні властивості фарби (в'язкість, насиченість кольору). Очищення та відновлення фарби потребує спеціального обладнання та робочої сили. Для друку точних кольорів можуть бути обмеження щодо використання відновлених фарб. Тому, відновлені вододисперсні фарби використовують для менш критичних завдань, наприклад, друку внутрішніх етикеток.

Для повторного використання воднодисперсних фарб, для забезпечення сталості технологічного процесу трафаретного друку, застосовують різні технологічні рішення. А саме, автоматичні системи очищення екранів дозволяють ефективно збирати залишки фарб і підготувати їх до повторного використання. Рекупераційні системи для воднодисперсних фарб забезпечують замкнений цикл роботи з мінімальними втратами.

Для полегшення процесу відновлення воднодисперсних фарб рекомендовано використовувати воднодисперсні фарби з високою стабільністю, регулярно контролювати якість фарб, що відновлюють, інвестувати в сучасні системи збору та фільтрації для підвищення ефективності виробництва.

Таким чином, повторне використання воднодисперсних фарб, це шлях до сталого виробництва, що поєднує економічну вигоду та екологічну відповідальність, забезпечує удосконалення технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин.

Для апробації удосконаленої технології трафаретного друку використано воднодисперсні фарби Feteks (Туреччина). Воднодисперсні фарби Feteks відповідають стандартам якості, OEKOTEX 100, GOTS та ін [20, 21]. Фарби не містять фталатів, мають сертифікати якості, безпечності для здоров'я людини.

Воднодисперсні фарби Feteks мають високу стійкість та витривалість, володіють високою стабільністю, а також стійкістю до багаторазового прання.

Зображення вийде чітким, точним і тримає форму. Воднодисперсні фарби Feteks мають високу покривну здатність та яскравість, зручні в роботі, не розтікаються, стійкі до дії світлопогоди. Для отримання яскравих кольорів необхідно додавати у фарбу відповідні кольорові пігменти [31].

З метою апробації удосконаленої технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин виготовлено дослідну партію білих футболок в умовах текстильного виробництва ФОП Петегерич С. В. в якості дизайну трафаретного друку обрано багатокольорове зображення логотипу кафедри хімії та хімічної інженерії Хмельницького національного університету [32]. Адаптоване зображення логотипу кафедри хімії та хімічної інженерії для трафаретного друку на білих футболках представлено на рисунку 3.6.



Рисунок 3.7 – Зображення логотипу кафедри хімії та хімічної інженерії

Зображення наносили трафаретним друком за удосконаленою технологією наведеною на рисунку 3.8.

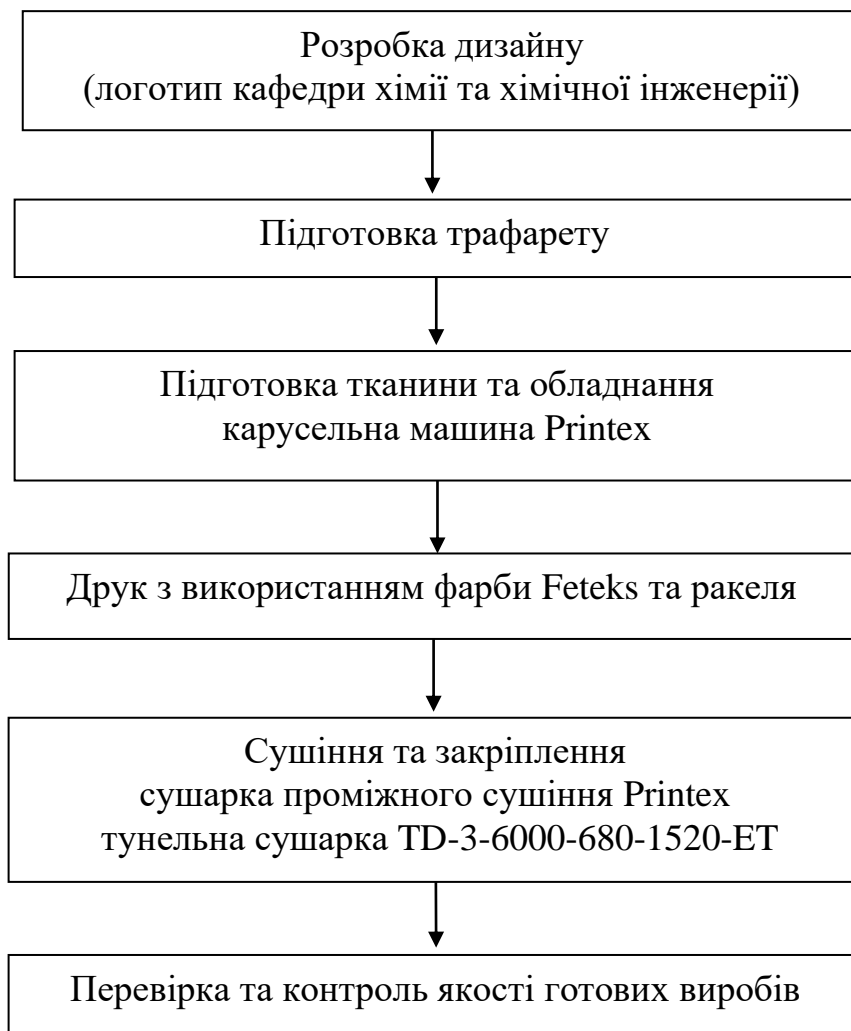


Рисунок 3.8 – Удосконалена технологія трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин

Удосконалення технологій трафаретного друку є важливим кроком для підвищення конкурентоспроможності текстильного виробництва, особливо в умовах зростання вимог до екологічності та енергоефективності.

Удосконалена технологія трафаретного друку забезпечує підвищення якості друку, чіткість зображення, насиченість кольорів, зниження собівартості продукції, скорочення часу на виготовлення замовлень, відповідність екологічним стандартам і вимогам сталого розвитку.

3.6 Контроль якості трафаретного друку готових текстильних виробів з сумішевих тканин

Контроль якості трафаретного друку готових текстильних виробів з сумішевих тканин є важливим етапом для забезпечення відповідності продукції стандартам та вимогам замовників. Він включає кілька ключових аспектів:

- Візуальна перевірка. Перевірка чіткості друку, аналіз рівності ліній, відсутності розмиття чи пропусків у зображенні. Контроль кольорів, відповідність відбитка затвердженим кольоровим стандартам (за допомогою пантонів чи інших еталонів). Оцінка рівномірності друку на поверхні тканини.

- Фізико-механічні випробування. Зчеплення фарби з матеріалом, тестування стійкості друку до тертя, прасування або механічних впливів. Міцність фарби після багаторазового прання, оцінка стабільності кольору та відсутності вицвітання чи розтріскування після стандартних циклів прання. Гнучкість друкованого шару, перевірка еластичності зображення, особливо для текстилю, який піддається розтягуванню.

- Вимірювання товщини шару фарби, перевірка рівномірності нанесення фарби на тканину.

- Хімічний аналіз складу фарби для підтвердження відповідності екологічним стандартам, наприклад, відсутність шкідливих компонентів (формальдегідів, важких металів тощо).

- Експлуатаційні випробування. Тестування текстильних виробів з сумішевих тканин у реальних умовах використання: прання, прасування, носіння. Оцінка довговічності друку після кількох циклів експлуатації.

Контроль здійснюють відповідно до міжнародних стандартів ISO 9001 (системи менеджменту якості), Oeko-Tex (екологічна безпека текстилю), GOTS (стандарти органічного виробництва) [20, 21, 33].

Оцінку адгезії фарби до тканини здійснювали за допомогою липкої стрічки (скотча). До надрукованої поверхні (зображення) прикладали липку стрічку, потім

її різко знімали. Визначали, чи залишилася фарба на тканині, чи залишилася на липкій стрічці. Дослідження показали, що для всіх видів зразків сумішевих тканин, фарба залишалася на поверхні виробу. Це свідчить про хорошу адгезію фарби до поверхні текстильного матеріалу, а відповідно високу якість трафаретного друку на футболках з сумішевих тканин.

Тест на розшарування виконували під впливом механічного тертя (в сухому стані), щоб оцінити рівень зчеплення фарби з поверхнею. Результати досліджень показали, відсутність відриву фарби на всіх зразках сумішевих тканин, що свідчить про хорошу адгезію.

Для аналізу еластичності трафаретного друку тканину з нанесеним зображенням піддавали розтягуванню до 50 % від початкової довжини. Визначали, чи з'явилися тріщини, зморшки або розшарування фарби.

Результати візуального аналізу показників якості трафаретного друку футболок з сумішевих тканин наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Аналіз показників якості трафаретного друку футболок з сумішевих тканин

Зразок	Волокнистий склад	Адгезія	Розшарування зображення	Еластичність
Зразок № 1	95 % бавовна 5 % еластан	Стійке зображення	Не відбувається	Зображення еластичне
Зразок № 2	65 % поліестер 35 % віскоза	Стійке зображення	Не відбувається	Зображення еластичне
Зразок № 3	70% бамбук 30 % бавовна	Стійке зображення	Не відбувається	Зображення еластичне
Зразок № 4	60 % модал 40 % бавовна	Стійке зображення	Не відбувається	Зображення еластичне
Зразок № 5	85 % поліестер 15 % еластан	Стійке зображення	Не відбувається	Зображення еластичне

В результаті дослідження, при розтягуванні спостерігалось розтягування зображення в бік розтягу, та деяка деформація малюнку. При повернені тканини до початкового стану – стан зображення відновлювався. Фарба на зображенні залишалася цілісною без розтріскування.

Аналіз адгезії, стійкості та еластичності зображення на текстильних виробих з сумішевих тканин, дозволяє оцінити якість трафаретного друку та прогнозувати термін експлуатації виробу. Що особливо, важливо для виробів, які інтенсивно використовують – спортивний одяг, корпоративна форма, робочий одяг.

Для детального аналізу стійкості зображення трафаретного друку на текстильних виробих з сумішевих тканин спостерігали зміни зображення під цифровим мікроскопом з дисплеєм Andorstar ADSM (Японія). Результати досліджень мікроскопії стійкості зображення трафаретного друку на футболках з сумішевих тканин наведено на рисунку 3.9.

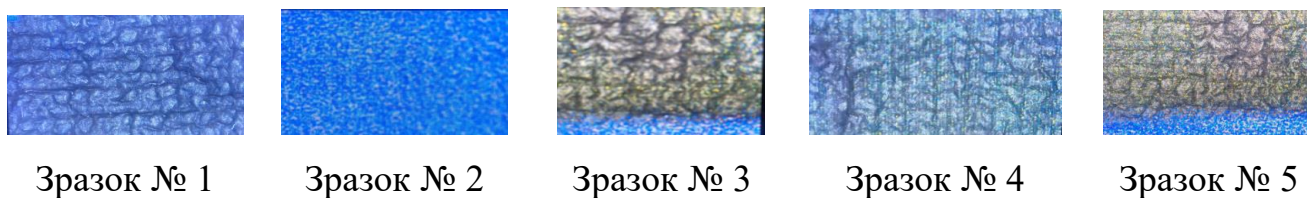


Рисунок 3.9 – Зображення трафаретного друку під мікроскопом

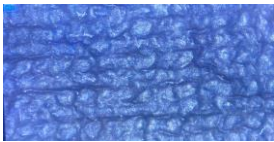
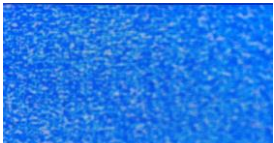


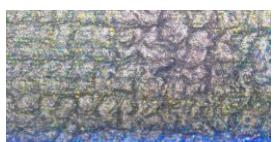
Аналіз цифрових зображень трафаретного друку на футболках з сумішевих тканин показав рівномірне покриття без тріщин, що свідчить про високу якість друку. Покриття щільне, однорідне, не спостерігається мікротріщини, відшарування зображення, що свідчить про високу адгезію та високу стійкість фарби.

3.7 Оцінка стійкості зображення трафаретного друку на текстильних виробих з сумішевих тканин після багаторазового прання

Дослідження стійкості зображень трафаретного друку до багаторазового прання є важливим етапом у контролі якості текстильних виробів з сумішевих

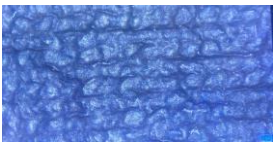
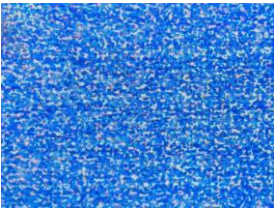
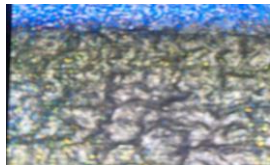

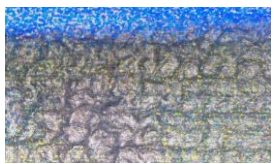
тканин. Результати дослідження допомагають оптимізувати технологію трафаретного друку, обирати найкращі матеріали та забезпечувати тривале збереження зображення. Для дослідження стійкості зображень трафаретного друку до багаторазового прання зразки білих футболок з сумішевих тканин прали за стандартною програмою у пральній машині SAMSUNG WW60A3100BE/UA при температурі 30 та 60 °С, (5, 10, 20 циклів прання) з використанням гелю для прання білих речей Galax, 2K Family GmbH. Після кожного циклу оцінювали збереження кольору, яскравості та цілісності малюнка. Результати дослідження стійкості зображень трафаретного друку до багаторазового прання білих футболок з сумішевих тканин наведено в таблицях 3.7, 3.8.

Таблиця 3.7 – Дослідження стійкості зображень трафаретного друку до багаторазового прання при температурі 30 °С, 20 циклів прання

Зразок	Цифрове зображення	Адгезія	Розшарування зображення	Еластичність
Зразок № 1 95 % бавовна 5 % еластан		Стійке зображення	Не відбувається	Зображення еластичне
Зразок № 2 65 % поліестер 35 % віскоза		Стійке зображення	Не відбувається	Зображення еластичне
Зразок № 3 70% бамбук 30 % бавовна		Стійке зображення	Не відбувається	Зображення еластичне
Зразок № 4 60 % модал 40 % бавовна		Стійке зображення	Не відбувається	Зображення еластичне
Зразок № 5 85 % поліестер 15 % еластан		Стійке зображення	Не відбувається	Зображення еластичне

Дослідження стійкості зображень трафаретного друку футболок з сумішевих тканин до багаторазового прання показали, що для всіх зразків при температурі прання 30 °С зображення не мають тріщин, втрата покриття не спостерігається протягом 5, 10, 20 циклів прання.

Таблиця 3.8 – Дослідження стійкості зображень трафаретного друку до багаторазового прання при температурі 60 °С, 20 циклів прання

Зразок	Цифрове зображення	Адгезія	Розшарування зображення	Еластичність
Зразок № 1 95 % бавовна 5 % еластан		Стійке зображення	Не відбувається	Зображення еластичне
Зразок № 2 65 % поліестер 35 % віскоза		Не значна втрата стійкості зображення	Не відбувається	Зображення менш еластичне
Зразок № 3 70% бамбук 30 % бавовна		Стійке зображення	Не відбувається	Зображення еластичне
Зразок № 4 60 % модал 40 % бавовна		Стійке зображення	Не відбувається	Зображення еластичне
Зразок № 5 85 % поліестер 15 % еластан		Стійке зображення	Не відбувається	Зображення еластичне

При температурі прання 60 °С зображення всіх зразків залишаються без змін, після 5 та 10 циклів прання. Після 20 циклів прання при температурі 60 °С для зразка № 3 (65 % поліестер, 35 % віскоза) спостерігається незначна втрата

кольору, що пов'язано з особливістю волокнистого складу зразка та змінами властивостей віскозних волокон у мокрому стані. Для зразків № 1, № 2, № 4, № 5 зміни якості забарвлення не відбуваються після 20 циклів прання при температурі 60 °С.

Проведені дослідження показників якості зображень на текстильних виробках з сумішевих тканин підтвердили ефективність розроблених рекомендацій для удосконалення технології трафаретного друку.

Отже, забезпечення високої якості трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин за удосконаленою технологією, сприяє задоволенню вимог кінцевого споживача та дозволяє виробникам підвищити конкурентоспроможність продукції.

ВИСНОВКИ

Трафаретний друк залишається одним із найпоширеніших методів декорування текстильних виробів завдяки універсальності, яскравості кольорів і тривалому збереженню зображень. Використання сумішевих тканин в у виробництві текстильних виробів створює додаткові виклики для забезпечення високої якості друку. Зокрема, потрібно враховувати різні фізико-хімічні властивості волокон, які впливають на адгезію фарби, чіткість зображення, стійкість до прання та зношування.

В кваліфікаційній роботі удосконалено технологію трафаретного друку для текстильних виробів із сумішевих тканин, що забезпечує підвищення якості друку, зменшення витрат ресурсів та екологічного впливу. В роботі детально розглянуто асортимент сучасних текстильних виробів, проведено аналіз факторів, що впливають на технологічний процес та якість трафаретного друку.

Досліджено взаємодію різних типів фарб із волокнами сумішевих тканин. Оптимізовано технологічні параметри підготовки тканини до друку, режими сушки та закріплення фарби з урахуванням енергоефективності та продуктивності обладнання.

Проведено оцінку стійкості зображень до багаторазового прання, хімічний аналіз воднодисперсної фарби, дослідження для аналізу якості зображень методами мікроскопії, надано рекомендації щодо зменшення екологічного впливу технології трафаретного друку текстильних виробів на довкілля та здоров'я людей.

З метою апробації удосконаленої технології трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин виготовлено дослідну партію білих футболок в умовах текстильного виробництва ФОП Петегерич С. В. В якості дизайну трафаретного друку обрано багатокольорове зображення логотипу кафедри хімії та хімічної інженерії Хмельницького національного університету.

Для апробації удосконаленої технології трафаретного друку запропоновано лінійку основного обладнання для трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин, яка складається з карусельної машини для трафаретного друку Printex (Польща) сушарки для проміжного сушіння Printex (Польща), тунельної сушарки TD-3-6000-680-1520-ET (Україна).

Для апробації удосконаленої технології трафаретного друку використано воднодисперсні фарби Feteks (Туреччина). Дослідження ІЧ-спектрів воднодисперсної фарби Feteks підтвердили чистоту компонентів фарби для трафаретного друку текстильних виробів з сумішевих тканин. Що забезпечує безпеку технології трафаретного друку, відповідає принципам сталого розвитку.

Аналіз цифрових зображень трафаретного друку на футболках з сумішевих тканин показав рівномірне покриття без тріщин, що свідчить про високу якість друку. Покриття щільне, однорідне, не спостерігається мікротріщини, відшарування зображення, що свідчить про високу адгезію та високу стійкість фарби.

Для дослідження стійкості зображень трафаретного друку до багаторазового прання зразки білих футболок з сумішевих тканин прали за стандартною програмою у пральній машині SAMSUNG WW60A3100BE/UA при температурі 30 та 60 °C, (5, 10, 20 циклів прання) з використанням гелю для прання білих речей Galax, 2K Family GmbH. Після кожного циклу оцінювали збереження кольору, яскравості та цілісності малюнка.

Дослідження стійкості зображень трафаретного друку футболок з сумішевих тканин до багаторазового прання показали, що для всіх зразків при температурі прання 30 °C зображення не мають тріщин, втрата покриття не спостерігається протягом 5, 10, 20 циклів прання. Після 20 циклів прання при температурі 60 °C для зразка № 3 (65 % поліестер, 35 % віскоза) спостерігається незначна втрата кольору, що пов'язано з особливістю волокнистого складу зразка та змінами властивостей віскозних волокон у мокрому стані. Для зразків № 1,

№ 2, № 4, № 5 зміни якості забарвлення не відбуваються після 20 циклів прання при температурі 60 °С.

Дослідження показників якості нанесених зображень показали, високу ефективність удосконалення технології трафаретного друку на сумішевих тканинах за рахунок:

- зменшення витрат фарб і енергії за рахунок оптимізації процесів сушки та закріплення;
- зниження екологічного навантаження через використання екологічних воднодисперсних фарб;
- розробки універсальної технологічної схеми для друку на різних типах сумішевих тканин.

Таким чином, результати дослідження кваліфікаційної роботи сприятимуть покращенню якості текстильних виробів, розширенню асортименту продукції та забезпеченню конкурентоспроможності виробників.

Удосконалена технологія трафаретного друку для сумішевих тканин дозволить не лише підвищити якість зображень, а й відповідатиме сучасним вимогам екологічності, що є ключовим у контексті сталого розвитку текстильної промисловості.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 Пушкар О. І. Технології поліграфічного виробництва : навчальний посібник / О. І. Пушкар, Є. М. Грабовський, М. М. Оленич. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2019. – 195 с.
- 2 Shang S. M. Process control in printing of textiles // Process Control in Textile Manufacturing. Elsevier. – 2013 – vol. 3. – P. 339-362. DOI: 10.1533/9780857095633.3.339.
- 3 Desore A. An overview on corporate response towards sustainability issues in textile industry / A. Desore, S. A. Narula // Environment, development and sustainability. – 2018. – Vol. 20. – № 4. – P. 1439–1459.
- 4 Бойченко К. С. Розвиток підприємств легкої промисловості через призму інтегрованості // Науковий вісник Ужгородського національного університету, 2020 – С.7-11. DOI: <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2020-31-1>.
- 5 Кваліфікаційна робота магістра : методичні рекомендації щодо її підготовки та виконання здобувачами вищої освіти спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / уклад.: О. А. Параска, Т. В. Іванішена. Хмельницький: ХНУ, 2024. – 44 с.
- 6 Текстові документи. Загальні вимоги. СОУ 207.01:2017 / Ю. М. Бойко, Г. В. Красильникова, Л. І. Першина, Т. Ф. Косянчук. – Хмельницький : ХНУ, 2017. – 45 с.
- 7 Колосніченко М. В. Moda і одяг. Основи проектування та виробництва одягу : Навчальний посібник / М. В. Колосніченко, К. Л. Процик – К.: КНУТД, 2011. – 238 с.
- 8 Пашкевич К. Л. Дизайн одягу на засадах тектонічного підходу: методи, засоби, проектні практики: Ч.1. Конструктивне моделювання одягу: моногр. Київ: КНУТД, 2023. – 130 с.

9 Krebs F. C. Fabrication and processing of polymer solar cells: A review of printing and coating techniques // Sol. Energy Mater. Sol. Cells. – 2009. – Vol. 93. – №. 4. – P. 394-412. DOI: 10.1016/j.solmat.2008.10.004.

10 Кулешова С. Г. Інноваційні технології декорування виробів легкої промисловості / С. Г. Кулешова, Ю. В. Кошевка, Д. П. Найчук, О. П. Лебединська / Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2022. – № 4. – 125-132 С. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-311-4-125-132>.

11 Кущевський М. О. Матеріалознавство швейного виробництва: навчальний посібник / М. О. Кущевський, Г. С. Швець. – К.: Видавничий дім Кондор, 2021. – 412 с.

12 Дрегуляс Е. П. Текстильне матеріалознавство: навчальний посібник / Дрегуляс Е. П., Рибальченко В. В., Супрун Н. П. – К.: КНУТД, 2011. – 430 с.

13 Супрун Н. П. Матеріалознавство швейного виробництва. Матеріали для одягу: підручник. К.: КНУТД, 2009 – 156 с.

14 Березненко С. М. Волокнисті матеріали та вироби легкої промисловості з прогнозованими бар'єрними медико-біологічними властивостями: монографія: в 2 ч. Ч. 2 / Матеріали та вироби легкої промисловості з прогнозованими бар'єрними медико-біологічними властивостями / С. М. Березненко, В. І. Власенко, І. А. Ігнат'єва та ін – К.: КНУТД, 2014 – 220 с.

15 Knitted fabric market size, share and trends analysis report by product (weft-knit, warp-knit), by application (technical, household), by region, and segment forecasts, 2019 – 2025. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/knitted-fabric-market> (дата звернення 21.09.2024).

16 Global production of knitted textiles [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.usdanalytics.com/industry-reports/knitted-fabric-market> (дата звернення 21.09.2024).

17 Тебляшкіна Л. І. Технологія опоряджувального виробництва: навчальний посібник. – К.: Кондор, 2015. – 276 с.

18 Слізков А. М. Механічна технологія текстильних матеріалів. Частина II. (Ткацьке, трикотажне та неткане виробництво): підручник / А. М. Слізков, В. Ю. Щербань, О. П. – К.: КНУТД, 2018. – 276 с.

19 The latest innovations in screen printing technologies. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.fespa.com/en/news-media/the-latest-innovations> (дата звернення 15.10.2024).

20 OEKO-TEX-standard-100 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.oeko-tex.com/en/our-standards/> (дата звернення 15.10.2024).

21 Global Organic Textile Standard [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://global-standard.org/> (дата звернення 15.10.2024).

22 Обладнання M&R [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.digitSmith.com/mr-house-32028?page=2> (дата звернення 15.10.2024).

23 Машини для трафаретного друку Anatol [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.t-shirtforums.com/threads/anatol> (дата звернення 15.10.2024).

24 Лінії для трафаретного друку ROQ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.roqinternational.com> (дата звернення 15.10.2024).

25 Обладнання EPSON [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://corporate.epson/> (дата звернення 15.10.2024).

26 Обладнання Vastex [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.vastex.com> (дата звернення 15.10.2024).

27 Обладнання трафаретного друку [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.sinocolortx.com/> (дата звернення 15.10.2024).

28 Українські виробники обладнання для трафаретного друку [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://li-tech.com.ua/ua/about_us (дата звернення 15.10.2024).

29 Обладнання Printex [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.printexue.pl/> (дата звернення 15.10.2024).

30 Textile printing techniques [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://tiskafabrics.com/digital-textile-printing/> (дата звернення 15.10.2024).

31 Feteks фарби для трафаретного друку [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://procstore.com.ua/ua/g17103177-feteks> (дата звернення 15.10.2024).

32 Сайт кафедри хімії та хімічної інженерії [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://xti.khmnu.edu.ua/> (дата звернення 15.10.2024).