

Державний вищий навчальний заклад  
«Український державний хіміко-технологічний університет»

Факультет харчових та хімічних технологій

(повна назва факультету)

Кафедра технологій палив, полімерних та поліграфічних матеріалів

(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломної роботи

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

Проект ділянки виготовлення пакувальної продукції методом флексодруку  
потужністю 0.9 млн м<sup>2</sup>/рік

Виконав: студент 4 курсу, групи 4-ВП-9  
напряму підготовки (спеціальності)

186 – Видавництво та поліграфія  
(шифр і назва напряму підготовки (професійна спрямованість), спеціальності)

ВАСИЛЮК Альона Андріївна  
(прізвище та ініціали)

Керівник ТРЕТЬЯКОВ Артем Олегович  
(прізвище та ініціали)

Рецензент ТОМІЛЮ Віталій Ігоревич  
(прізвище та ініціали)

Дніпро - 2026 року

Державний вищий навчальний заклад  
 “Український державний хіміко-технологічний університет”

Факультет харчових та хімічних технологій  
 Кафедра технологій палив, полімерних та поліграфічних матеріалів  
 Освітній рівень \_\_\_\_\_  
 Спеціальність 186 – Видавництво та поліграфія  
 (шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри СУХИЙ Константин Михайлович  
 “\_\_\_” червня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ**

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

ВАСИЛЮК Альона Андріївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Проект ділянки виготовлення пакувальної продукції методом флексодруку потужністю 0.9 млн м<sup>2</sup>/рік

керівник проекту (роботи) ТРЕТЬЯКОВ Артем Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом по університету від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом проекту (роботи) \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Річна потужність ділянки — 0,9 млн м<sup>2</sup>/рік, двозмінний режим роботи при п'ятиденному тижні. Основне обладнання — планетарна флексографічна машина з 8 секціями, шириною друку 1000 мм та робочою швидкістю 150 м/хв. Норма витрат фарби — 3,5 г/м<sup>2</sup>, коефіцієнт використання обладнання — 0,75, коефіцієнт відходів субстрату — 1,05.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз галузі флексографічного друку та обґрунтування теми. Технологічна частина: характеристика продукції, субстратів, фарб, анілоксових валів, фотополімерних форм, допечатної підготовки, процесу друку та післядрукарської обробки. Розрахункова частина: річний фонд робочого часу, потужність і завантаження обладнання, витрати фарб і субстратів. Охорона праці, екологія та пожежна безпека на ділянці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Схема процесу флексографічного друку. Приклади гравіювання анілоксового валу. Профіль растрової точки цифрової форми.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка

Студент \_\_\_\_\_ ВАСИЛЮК А.А.  
(підпис) (прізвище та ініціали)Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_ ТРЕТЬЯКОВ А. О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота викладена на 70 сторінках і містить 12 таблиць, 9 рисунків, наведено 28 джерел.

Мета роботи: розробка проєкту дільниці виготовлення пакувальної продукції методом флексографічного друку потужністю 0,9 млн м<sup>2</sup>/рік.

У розділі «Аналіз галузі та обґрунтування теми» розглянуто історію виникнення та розвитку флексографічного друку, принцип роботи флексографічної машини та її основні типи — секційний, планетарний та ярусний. Проведено порівняльний аналіз флексографічного, офсетного, глибокого та цифрового методів друку, визначено переваги флексографії у пакувальному виробництві та наведено дані щодо стану світового ринку флексографічного друку.

У розділі «Технологічна частина» наведено характеристику продукції дільниці та вимоги до якості відбитку, описано властивості субстратів, класифікацію флексографічних фарб та принципи підбору анілоксових валів. Детально розглянуто технологію виготовлення фотополімерних друкарських форм, допечатну підготовку — кольороподіл, трепінг та кольоропроби, — параметри процесу друку та операції післядрукарської обробки: ламінування, лакування, різання та намотування.

У розділі «Розрахункова частина» виконано розрахунок річного фонду робочого часу, визначено потужність дільниці та коефіцієнт завантаження обладнання 0,10, розраховано річні витрати флексографічних фарб — 3402 кг, а також річну потребу в субстратах — 945 000 м<sup>2</sup>.

У розділі «Охорона праці, екологія та безпека» проаналізовано шкідливі та небезпечні виробничі фактори на дільниці, визначено вимоги до параметрів мікроклімату, освітленості та акустичного режиму, розроблено заходи пожежної безпеки при роботі з легкозаймистими матеріалами, визначено засоби індивідуального захисту персоналу та надано екологічну характеристику дільниці.

**ФЛЕКСОГРАФІЯ, ФЛЕКСОГРАФСЬКИЙ ДРУК, ПАКУВАЛЬНА ПРОДУКЦІЯ, ФОТОПОЛІМЕРНІ ДРУКАРСЬКІ ФОРМИ, АНІЛОКСОВИЙ ВАЛ, СУБСТРАТИ, ФЛЕКСОГРАФІЧНІ ФАРБИ.**

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	<b>6</b>
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ГАЛУЗІ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ</b>	<b>8</b>
1.1. Поняття та визначення флексографічного друку	8
1.2. Принцип роботи флексографічної машини	10
1.3. Переваги флексодруку над іншими методами друку	13
1.4. Область застосування в пакувальній галузі	18
1.5. Висновок до розділу 1	20
<b>РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	<b>22</b>
2.1. Характеристика продукції дільниці та вимоги до якості	22
2.2. Характеристика субстратів	23
2.3. Флексографічні фарби: класифікація та властивості	25
2.4. Анілоксові вали: лініатура, об'єм комірок, підбір під задачу	27
2.5. Фотополімерні друкарські форми	29
2.6. Допечатна підготовка: кольороподіл, трепінг, кольоропроби	33
2.7. Процес друку: режими, параметри налаштування машини	37
2.8. Післядрукарська обробка: ламінування, лакування, різання, намотування	40
2.9. Висновок до розділу 2	42
<b>РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА</b>	<b>45</b>
3.1. Вихідні дані для розрахунків	45
3.2. Розрахунок річного фонду робочого часу	47
3.3. Розрахунок потужності дільниці та завантаження обладнання	49
3.4. Розрахунок витрат флексографічних фарб на річну програму	51
3.5. Розрахунок витрат субстратів	54
3.6. Висновок до розділу 3	56
<b>РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЯ ТА БЕЗПЕКА</b>	<b>58</b>
4.1. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів на дільниці	58
4.2. Вимоги до приміщення дільниці (температура, освітленість, шум)	60
4.3. Пожежна безпека при роботі з легкозаймистими матеріалами	61
4.4. Засоби індивідуального захисту персоналу дільниці	62
4.5. Екологічна характеристика дільниці: відходи та їх утилізація	63
4.6. Висновок до розділу 4	63
<b>ВИСНОВОК</b>	<b>66</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ</b>	<b>68</b>

## ВСТУП

Сучасна пакувальна галузь є одним із найбільш динамічно зростаючих сегментів світової економіки. Зростаючий попит на більшу кількість варіацій упаковки та менші довжини замовлень є рушійною силою розвитку технологій друку. В умовах жорсткої конкуренції виробників товарів перевагу отримує той продукт, що має яскраве, кольорове пакування, виконане на високому професійному рівні. Це стосується як м'якого пакування з поліетилену та інших полімерних матеріалів, так і картонного чи паперового пакування, і самоклеїних етикеток. Для виготовлення всіх цих видів пакування найбільш придатною є флексографія.

Флексографічний друк є сьогодні домінуючим способом друку на пакувальних матеріалах різної природи і призначення. Історія технології бере початок з 1907 року, коли Карл Хольвего — власник німецької машинобудівної фірми — отримав перший патент на друкування еластичними гумовими формами з використанням анілінових барвників. Через схожість із цими барвниками метод тривалий час мав назву «аніліновий друк». З 1929 року його застосовували для виготовлення конвертів для грамплатівок, а у 1932 році з'явилися перші автоматичні пакувальні машини з флексографічними секціями. Загальноприйнятий сьогодні термін «флексографія» був вперше офіційно закріплений 21 жовтня 1952 року в США на 14-й Національній конференції з пакувальних матеріалів, що ознаменувало визнання технології як самостійного та повноцінного способу друку.

Від початкового «анілінового друку» з примітивними гумовими кліше галузь пройшла шлях до сучасних цифрових фотополімерних форм технології CtP — Computer-to-Plate, що забезпечують роздільну здатність до 4000 ppi та стабільність геометрії відбитку протягом усього тиражу. Технології HD Flexo та Full HD Flexo дозволили практично вирішити проблему нестабільності растрових точок та нерівномірності плашок, наближаючи якість флексодруку до рівня офсету та ротогравюри. Сучасний галузевий стандарт — цифрові форми з масковим шаром за технологією LAMS — забезпечує можливість відтворення понад 70% пантонних кольорів засобами тріадного друку СМҮК.

Флексографічна машина здатна інтегрувати в одному агрегаті повний технологічний цикл — друк, лакування, ламінування, висікання та намотування, що суттєво скорочує виробничий цикл і знижує операційні витрати. Планетарна конструкція машини забезпечує точність приводки до  $\pm 0,05$  мм, що є незамінним при роботі з гнучкими плівковими матеріалами, схильними до розтягування. Застосування водорозчинних та УФ-фарб замість сольвентних систем значно знижує викиди летких органічних сполук, що відповідає сучасним вимогам екологічного законодавства.

Актуальність даної роботи обумовлена необхідністю технологічного обґрунтування та проектування сучасних дільниць флексографічного друку, здатних ефективно задовольняти зростаючий попит на якісну пакувальну продукцію. Проектування дільниці з урахуванням сучасних технологічних рішень, оптимального підбору обладнання та матеріалів дозволяє забезпечити конкурентоспроможність підприємства на ринку пакувальної поліграфії.

Метою даної дипломної роботи є розробка проекту дільниці виготовлення пакувальної продукції методом флексографічного друку потужністю 0,9 млн м<sup>2</sup>/рік. Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання: проведено аналіз стану галузі флексографічного друку та обґрунтовано вибір технології виробництва; розроблено технологічний процес виготовлення пакувальної продукції з детальним описом кожного етапу — від допечатної підготовки до післядрукарської обробки; обґрунтовано вибір основного технологічного обладнання, субстратів та флексографічних фарб; виконано розрахунок річного фонду робочого часу, потужності дільниці та завантаження обладнання, а також витрат фарб і субстратів на річну виробничу програму; розроблено заходи з охорони праці, пожежної безпеки та екологічного захисту дільниці.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ГАЛУЗІ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ

### 1.1. Поняття та визначення флексографічного друку

Історія флексографічного друку бере початок наприкінці ХІХ століття. Винахідником методу вважається Карл Хольвего — власник німецької машинобудівної фірми «К. унд А. Хольвег ГмбХ». Спосіб друкування еластичними гумовими формами з використанням анілінових фарбників був описаний ним у німецькому патенті № 200697 «Спосіб друкування на паперових мішках», отриманому 17 серпня 1907 року. Через схожість із аніліновими барвниками, що використовувалися на початку, метод тривалий час мав назву «аніліновий друк». З 1929 року його застосовували для виготовлення конвертів для грамплатівок, а у 1932 році з'явилися перші автоматичні пакувальні машини з флексографічними секціями для упаковки сигарет і кондитерських виробів. Загальноприйнятий сьогодні термін «флексографія» був вперше офіційно закріплений 21 жовтня 1952 року в США на 14-й Національній конференції з пакувальних матеріалів.

Якщо на початку розвитку флексографії використовувалися виключно гумові форми, то сучасним галузевим стандартом є фотополімерні друкарські форми — аналогові та цифрові (технологія CtP — Computer-to-Plate). Фотополімерні форми забезпечують значно вищу роздільну здатність, точність відтворення дрібних деталей і растрових елементів, а також стабільність геометрії відбитку протягом усього тиражу. Гумові форми сьогодні застосовуються переважно для простого однофарбового друку на гофрокартоні, де висока деталізація не є пріоритетом. Детальніше технологія виготовлення фотополімерних форм розглядається у підрозділі 2.5 даної роботи [1].

Флексографічний друк — це спосіб друку, який є прямим високим ротаційним друком швидко висихаючими рідкими фарбами, що закріплюються на різних матеріалах, з використанням еластичних друкарських форм (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Форма флексографічного друку

Флексографія або флексографічний друк - один із найпростіших і найшвидших способів нанесення зображення на поверхню. "Флексодрок" походить від латинського слова "flexibilis", тобто "гнучкий". Сама назва допомагає зрозуміти принцип роботи.

Зображення наноситься за допомогою покритих фарбою гнучких друкарських форм – кліше. Як правило, їх роблять із пресованої гуми. Вони кріпляться на спеціальні циліндри. Потім під тиском забарвлене зображення друкується на поверхні предмета.

Простота маніпуляцій дозволяє швидко налаштовувати обладнання. Це, у свою чергу, забезпечує низьку вартість друку. Поліпропіленові кліше дають можливість робити відбитки на будь-якій текстурі: папері, поліетилені, текстилі, фользі та, звичайно ж, гофрокартоні.

Крім універсальності у виборі поверхонь, величезною перевагою флексографії є висока тиражостійкість. Простіше кажучи, одна друкарська форма гарантує до півтора мільйона якісних відбитків [2].

У поліграфії розрізняють три основні групи способів друку: високий, глибокий і плоский. Флексографія належить до групи високого друку, де фарбу переносять друкувальні елементи форми, що виступають над пробільними. На відміну від офсету (плоский друк) та ротогравюри (глибокий друк), флексографія поєднує просту конструкцію машини з можливістю роботи на широкому спектрі задрукованих матеріалів, зокрема нерівних і не щільних поверхонь [3].

## 1.2. Принцип роботи флексографічної машини

Флексографічна друкарська машина є рулонною (ротаційною) машиною, призначеною для безперервного задруковування гнучких матеріалів у рулонах. У загальному вигляді вона складається з таких основних вузлів: розмотувального пристрою, однієї або кількох друкарських секцій, міжсекційних і фінальних сушильних пристроїв, пристроїв для післядрукарської обробки (при їх наявності) та намотувального пристрою. Матеріал, що роздруковується, безперервно подається з рулону, проходить крізь усі секції та знову намотується в рулон або нарізається на окремі аркуші чи етикетки.

Фарбова система та передача фарби. На рисунку 1.2 показаний принцип флексографічного друку. Фарбовий апарат друкарської машини для флексографії складається з трьох валиків. Гумовий валик, що обертається в резервуарі фарби, передає фарбу на сталевий або керамічний передавальний валик. На поверхні цього валика, він називається растровим або анілоксовим, є дрібні осередки. Надлишок фарби з поверхні вала видаляється за допомогою ракельного ножа. Після цього шар фарби з анілоксового вала переходить на друкарські елементи форми, встановленої на формному циліндрі, який обертається в процесі друкування. Потім зображення з формної пластини передається під тиском, створюваним друкарським циліндром на матеріал [4].

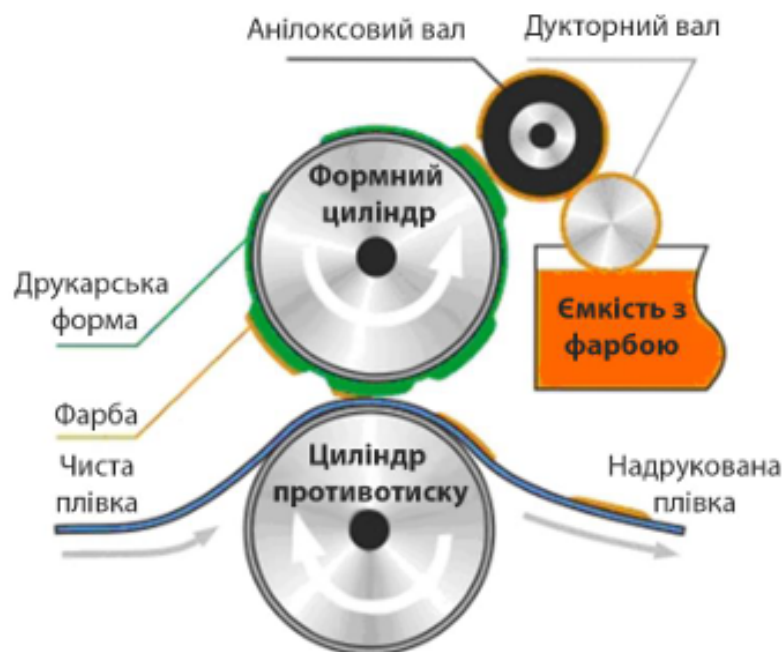


Рисунок 1.2 - Процес флексографічного друку [4]

Анілоксовий вал є ключовим елементом точного дозування фарби. Кількість фарби, що передається на форму, залежить від геометрії осередків — їх лініатури (кількість ліній на сантиметр) та об'єму. Чим дрібніші осередки, тим менший шар фарби і вища деталізація зображення. Ракельний ніж при цьому забезпечує стабільне і рівномірне наповнення осередків, що є запорукою стабільного кольору протягом усього тиражу.

Друкарська секція та кольоровий друк. Кожна друкарська секція відтворює один колір. Для отримання повнокольорового зображення в машині передбачено кілька друкарських секцій — як правило, чотири (для стандартної кольорової моделі СМУК: блакитний, пурпурний, жовтий, чорний) або більше — для нанесення додаткових плашкових кольорів, лаків чи металізованих фарб. Матеріал послідовно проходить через кожну секцію, і зображення формується пошарово [4].

Залежно від компоновки друкарських секцій розрізняють три основні типи флексографічних машин:

Секційні (in-line) машини — друкарські секції розташовані послідовно в один горизонтальний або вертикальний ряд. Кожна секція має власний друкарський циліндр. Такі машини відрізняються гнучкістю налаштування та легкістю доступу

до кожної секції, однак точність суміщення кольорів (приводки) дещо нижча порівняно з планетарними. Застосовуються переважно для задруковування матеріалів, що не розтягуються — паперу, картону, ламінатів.

Планетарні (центрально-друкарські) машини — усі формні циліндри розташовані навколо одного великого центрального друкарського циліндра. Матеріал огинає центральний циліндр і контактує з кожною секцією по черзі без відриву від опорної поверхні. Це забезпечує надзвичайно високу точність приводки — до  $\pm 0,05$  мм — і є незамінним при роботі з матеріалами, що розтягуються, зокрема поліетиленовими плівками. Перша планетарна машина з'явилася у 1953–1954 роках і з того часу стала найпоширенішим типом у пакувальному друці.

Ярусні (стекові) машини — секції розташовані одна над одною вертикально. Такі машини компактні за горизонтальним габаритом та дозволяють роздруковувати обидві сторони матеріалу за один прогін, що є їх суттєвою перевагою. Застосовуються для щільних матеріалів, стійких до розтягування. Точність поздовжньої приводки при цьому становить близько  $\pm 0,1$  мм [5]. Порівняльна характеристика типів машин наведена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Порівняння типів флексографічних машин [6]

<u>Характеристика</u>	<u>Секційна</u>	<u>Планетарна</u>	<u>Ярусна</u>
Точність приводки	$\pm 0,1-0,2$ мм	$\pm 0,05$ мм	$\pm 0,1$ мм
Матеріали	Жорсткі	Гнучкі та жорсткі	Жорсткі
Друк з обох сторін	Так	Ні	Так
Доступність секцій	Висока	Середня	Середня
Типове застосування	Картон, папір	Плівки, пакування	Самоклейка, папір

Оскільки флексографічні фарби є рідкими та низков'язкими, вони потребують швидкого закріплення між секціями та після останньої друкарської секції. Залежно від типу фарби застосовують різні методи сушіння.

При використанні сольвентних фарб (на основі органічних розчинників) застосовується гаряча-повітряне сушіння: між секціями та на виході з машини встановлені тунельні сушарки, крізь які продувається підігріте повітря. Пари розчинників при цьому видаляються витяжною вентиляцією і, як правило, спалюються у дожигачах або рекуперуються.

При використанні водорозчинних фарб принцип той самий — гаряче-повітряне сушіння, однак температура та час сушіння вищі через більш повільне випаровування води порівняно з органічними розчинниками.

При використанні УФ-фарб закріплення відбувається шляхом фотополімеризації під дією ультрафіолетового випромінювання. Між секціями та на виході з машини встановлені УФ-лампи. Для закріплення таких фарб у процесі друку використовують ультрафіолетові лампи — висихання відбувається швидше, ніж для інших видів фарб, що дозволяє краще контролювати процес та наносити фарбу товстим шаром. Крім того, УФ-фарби не містять летких органічних сполук, що робить їх значно екологічними порівняно із сольвентними системами [5].

Розмотувальний та намотувальний пристрої. Робота дільниці флексодруку організована в рулонному режимі. Матеріал подається з рулону через розмотувальний пристрій із системою натягу та стабілізації полотна. Після друку та сушіння готовий матеріал намотується назад у рулон або передається на лінію різання. Сучасні машини мають автоматичні системами стикування рулонів без зупинки машини (*flying splice*), що суттєво підвищує продуктивність дільниці [6].

### 1.3. Переваги флексодруку над іншими методами друку

У сучасній поліграфії для виготовлення пакувальної продукції застосовують кілька основних методів друку: флексографічний, офсетний, глибокий та цифровий. Кожен із них має свою область застосування [7].

Головною перевагою флексодруку є здатність роздруковувати надзвичайно широкий спектр матеріалів. Завдяки використанню високо еластичних фотополімерних форм і мінімальному тиску у зоні друкарського контакту стає можливим друкування на папері, картоні, гофрокартоні, різних плівках,

металізованій фользі, самоклеєних та комбінованих матеріалах. Офсетний друк, натомість, принципово обмежений рівними і достатньо щільними поверхнями, що виключає його застосування для гнучкого пакування. Флексографія позбавлена цього обмеження, що робить її незамінною у виготовленні гнучкої пакувальної продукції.

Флексографія є одним із найшвидших ротаційних методів друку. Швидкість сучасних флексографічних машин сягає 400–600 м/хв, що в разі перевищує продуктивність аркушевих офсетних машин. Безперервний рулонний режим подачі матеріалу у поєднанні з високою швидкістю забезпечує мінімальну собівартість одиниці продукції при великих тиражах, що є ключовим показником для промислового пакувального виробництва.

Фотополімерна друкарська форма у флексографії розрахована на 1–5 млн відбитків. Для порівняння: офсетні алюмінієві пластини витримують до 100–150 тис. відбитків і потребують заміни, а металеві циліндри ротогравюри хоча й відрізняються дуже високою тиражостійкістю, проте їх виготовлення є надзвичайно дорогим і тривалим процесом. Висока тиражостійкість флексографічних форм суттєво знижує частку витрат на їх виготовлення у собівартості продукції.

Можливість використання фарб, безпечних для харчових продуктів. Флексографічний друк допускає застосування водорозчинних і УФ-фарб, що відповідають вимогам безпеки для контакту з харчовими продуктами. Офсетні фарби на масляній основі для таких цілей не придатні. Ця перевага є критично важливою для виробників харчової та фармацевтичної упаковки, які зобов'язані дотримуватись відповідного законодавства [8].

Флексографія широко застосовується під час друку на невбираючих поверхнях, які використовуються при виробництві різних видів пакування. Друк екологічно чистий і використовуються фарби на водній або спиртовій основі. Можливість використання УФ-фарб підвищується якість продукції і швидкість друку, що необхідно для виконання оперативних тиражів.

Особливості та переваги флексографічного друку:

- друк на всмоктуючих і не всмоктуючих матеріалах;
- друк на зворотному боці прозорих тягучих плівок;

- друк з використанням носія зображення, виготовленого з пружно еластичної гуми або фотополімеру, тому з однієї форми можна отримати мільйони відбитків;
- дозволяє друкувати в десять і більше фарб, завдяки конструкції з декількома друкованими секціями;
- зручна для відтворення візерунків, які нескінченно повторюються (шпалери, покриття для підлоги, папір для упаковки подарунків і т.д.) завдяки переходу на систему друку зі змінним рапортом;
- швидкість друку основними фарбами дуже велика, може досягати 610 м/хв;
- може використовувати фарби, які швидко висихають, на водній основі, а також УФ-фарби;
- виключає можливість забруднення відбитка шляхом зворотного захоплення фарби, інших проблем захоплення фарби при друку «по сирому», оскільки волога фарба лягає на попередньо висушений шар;
- забезпечує подачу попередньо заданої кількості фарби при мінімальному регулюванні (приладнані) друкарської машини (при використанні анілоксової фарбової системи ракеля);
- використання для друку металевих і флуоресцентних фарб;
- дозволяє отримати пробні відбитки;
- виконання операцій обробки відбитка (нанесення покриттів) і післядрукарської обробки в безперервному потоковому режимі – ламінування, розкрій, висікання і т.д.;
- рентабельна для виробництва багатьох видів продукції;
- може в потоковому режимі виробляти готові вироби, такі як складні картонні коробки, рекламні плакати та вивіски, багатошарові пакети, а також етикетки [4]. Основні переваги і недоліки флексографського способу друку наведені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Переваги і недоліки флексографського друку [4]

№ п/п	Основні переваги флексографії	Основні недоліки флексографії
1	Великий вибір типів носіїв для друку	Велике розтискування
2	Можливість друку на дуже товстих матеріалах	Труднощі репродукування дуже світлих і дуже темних ділянок зображення
3	Відносна економічність в досить широкому діапазоні тиражів	Неможливість друку шрифтів малих кеглів, особливо вивороткою
4	Гнучкість конфігурації форм для друку відбитків різних розмірів	Неекономічність при малих тиражах
5	Можливість застосування водних фарб	Якість друку змінюється від машини до машини
6	Можливість об'єднання післядрукарських процесів (ламінування, вирубки штампом, фальцювання і склеювання) в єдину лінію	На сьогодні відсутність промислових стандартів

Флексографічна машина може бути доповнена вбудованими модулями для ламінування, лакування, гарячого і холодного тиснення фольгою, висікання та намотування. Це дозволяє отримати готову продукцію за один прогін матеріалу через агрегат, що суттєво скорочує виробничий цикл і знижує операційні витрати.

.Виготовлення фотополімерної флексографічної форми є значно дешевшим і швидшим порівняно з гравіюванням металевого циліндра ротогравюри. Це робить флексоdruk економічно доцільним не лише для наддовгих, а й для середніх тиражів, що є важливим в умовах сучасного ринку з частою зміною дизайну пакування.

Застосування водорозчинних і УФ-фарб значно знижує викиди летких органічних сполук порівняно з ротогравюрою, яка традиційно використовує фарби на основі толуолу та інших токсичних розчинників. Фарби УФ-закріплення не містять компонентів, що випаровуються, швидко полімеризуються під дією ультрафіолетового випромінювання і забезпечують стійкий, яскравий відбиток з високою адгезією до різноманітних матеріалів [8]. Узагальнена порівняльна характеристика методів друку для пакувальної галузі наведена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 — Порівняльна характеристика методів друку для пакувальної продукції

<u>Критерій</u>	<u>Флексоdruk</u>	<u>Офсет</u>	<u>Ротогравюра</u>	<u>Цифровий друк</u>
Тип форми	Фотополімер	Алюмінієва пластина	Гравійований циліндр	Без форми
Матеріали	Будь-які	Переважає папір	Плівки, фольга	Папір, картон
Швидкість	Висока	Середня	Дуже висока	Низька
Тираж	Середній і великий	Середній і великий	Дуже великий	Малий
Вартість форм	Середня	Низька	Висока	Відсутня
Якість растру	Висока	Дуже висока	Висока	Дуже висока
Харчова безпека	Так	Обмежено	Обмежено	Так
Екологічність	Висока	Середня	Низька	Висока

Для об'єктивності слід зазначити, що флексографія має і певні недоліки. Якість відтворення дрібних растрових елементів дещо поступається офсету через механічне розтискування фарби при контакті еластичної форми з матеріалом. Налаштування машини потребує кваліфікованого персоналу, а для малих тиражів вартість виготовлення форм може бути економічно не виправданою порівняно з цифровим друком. Проте при тиражах, характерних для промислового пакувального виробництва, ці обмеження нівелюються перевагами у продуктивності та собівартості [9].

#### 1.4. Область застосування в пакувальній галузі

Здатність флексографії друкувати на різноманітних підкладках дозволяє використовувати цей процес для широкого діапазону друкованої продукції. Матеріалом для друку, може бути папір, картон, полімерні плівки, металізовані плівки (полімери, вкриті тонким шаром металу) і навіть текстиль. Таким чином можна зробити висновок, що в даний час флексографічний друк є домінуючим способом друку на пакувальних матеріалах різної природи і призначення.

Розвиток програмного забезпечення, додрукарської підготовки та друкарських процесів, чорнил і покриттів — усе це знайшло істотні інновації, що зменшує ймовірність того, що набираючий обертів цифровий друк кардинально змінить економічну ефективність флексографічного друку для середніх і великих тиражів. Флексографія забезпечує клієнтів можливістю використання матеріалів з різними оздоблювальними ефектами такими як твіст плівка, матова плівка, перлина плівка. Також є можливість виконання оздоблювальної обробки вже задрукованих матеріалів, це вибіркоче або повне нанесення лаків, фольгування та ламінування.

Оскільки флексографія широко використовується для виготовлення пакування для харчових продуктів, її також можна застосовувати для друку упаковки для ліків та інших медичних товарів. Немає жодних сумнівів у тому, що роздрібні товари потребують етикеток, незалежно від того, наносяться вони вручну чи машиною. Флексографічний друк забезпечує відносно швидкий друк середніх або великих завдань друку самоклеючих етикеток гарної якості.

Споконвічно флексографські машини розроблялися для друку, в основному, на пакувальних матеріалах. І сьогодні пакування складає велику частину серед замовлень флексографських машин. В умовах конкуренції виробників, одержує перевагу той товар, що має яскраве, кольорове пакування, виконане на високому професійному рівні. Це може бути і м'яке пакування з поліетилену чи інших полімерних матеріалів, і картонне чи паперове пакування, і усе більше розповсюджуючи самоклеючі етикетки. Для виготовлення всіх цих видів пакування ідеально підходить флексографія. Крім того, в сучасних умовах замовники дуже вимогливо ставляться до якості друку, вимагають невеликі тиражі і високу

оперативність. Саме тому найбільше активно розвиваються вузько рулонні машини, що здатні задовольнити всі ці вимоги.

Однак, не тільки пакування може бути надруковане на флексографічних машинах. Сфера їх застосування стрімко розширюється. Сьогодні безліч різних видів поліграфічної продукції в усьому світі друкують, використовуючи флексографію. Це "суха" етикетка, журнали, рекламна продукція, книги, газети і газетні вкладки. Серйозну конкуренцію складають флексографські машини й у друці газет. Крім того, з'являється ринок друку і на зовсім не традиційних матеріалах, таких як, наприклад, товстий пластик, тканина тощо.

Глобальний ринок друку швидко змінюється зі змінами у вимогах споживачів, роздрібних торговців і клієнтів. Зростаючий попит на більшу кількість варіацій і меншу довжину замовлень є рушійною силою розвитку флексографічної технології, спрямованої на підвищення ефективності на ринку, що все більше цифровізується (рис. 1.3). За звітом компанії Mordor intelligence ринок флексографічного друку оцінювався в 107,42 мільярда доларів США в 2020 році та, як очікується, досягне 124,61 мільярда доларів США до 2026 року при CAGR 2,44% за прогнозований період 2021 – 2026 роки. Дані іншої компанії Smithers відрізняються але теж передбачають зростання ринку флексографічного друку з CAGR 2,1% за період 2021 до 2027 року та становитиме 205 мільярдів доларів США. Протягом прогнозованого періоду з 2022 по 2032 рік прогнозований CAGR для ринку становить 2,6% з очікуваною вартістю закриття 1131,4 мільйона доларів США. Основним ринком для флексографічних друкарських машин є упаковка, флексографія домінує над іншими технологіями друку для цієї продукції. На наведеній нижче діаграмі показано європейський ринок друкованої упаковки за процесом друку в 2017 році. [10].

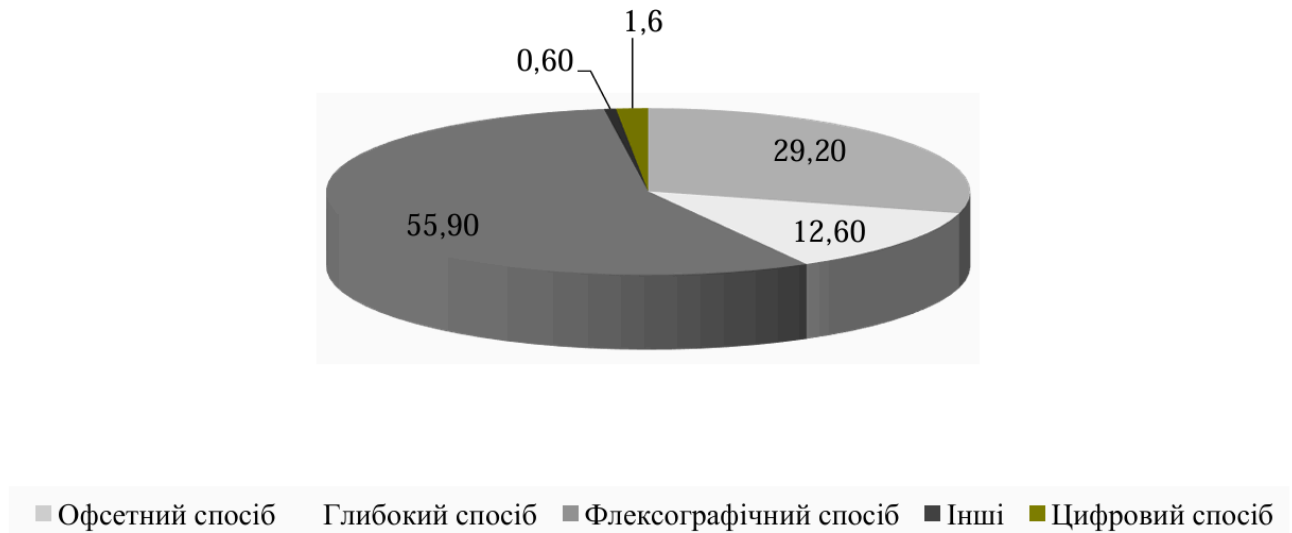


Рисунок 1.6 – Smithers Pira для Intergraf's Packaging Report 2019 [10]

В Україні в останнє десятиліття стали використовувати флексографічний друк в основному для оформлення тари і упаковки. Але темпи його розвитку в порівнянні з розвинутими країнами світу значно нижче [10].

### 1.5. Висновок до розділу 1

За результатами дослідження визначення та історії розвитку технології встановлено, що флексографічний друк — це спосіб прямого високого ротаційного друку з використанням еластичних друкарських форм і швидковисихаючих рідких фарб. Технологія бере початок з 1907 року, коли Карл Хольвего отримав перший патент на друкування гумовими формами. Від початкового «анілінового друку» з примітивними гумовими кліше галузь пройшла шлях до сучасних цифрових фотополімерних форм технології CtP, що забезпечують роздільну здатність, порівнянну з офсетним друком. Офіційне закріплення терміну «флексографія» у 1952 році ознаменувало визнання технології як самостійного та повноцінного способу друку.

Аналіз принципу роботи флексографічної машини показав, що її ключовими елементами є анілоксовий вал із ракельною системою, що забезпечує точне та

рівномірне дозування фарби, та еластична друкарська форма, закріплена на формному циліндрі. Встановлено, що залежно від конструктивної схеми розрізняють три основні типи флексографічних машин: секційні, планетарні та ярусні. Кожен тип має чітко визначену область застосування — зокрема, для задруковування гнучких плівкових матеріалів, характерних для пакувальної продукції, оптимальним є планетарний тип завдяки найвищій точності приводки (до  $\pm 0,05$  мм) та відсутності розтягування матеріалу в зоні друку. Також розглянуто три системи сушіння фарби — гарячо-повітряну, для сольвентних і водорозчинних фарб, та УФ-полімеризацію, що є найбільш продуктивним і екологічним рішенням для сучасних дільниць.

Порівняльний аналіз основних методів друку — флексографічного, офсетного, глибокого та цифрового — підтвердив беззаперечні переваги флексографії у контексті пакувального виробництва. Серед них: універсальність щодо задрукованих матеріалів, включаючи невбираючі та розтяжні поверхні; висока швидкість друку до 610 м/хв; висока тиражостійкість фотополімерних форм від 1 до 5 млн відбитків; можливість використання водорозчинних і УФ-фарб, безпечних для контакту з харчовими продуктами; а також здатність інтегрувати весь технологічний цикл — друк, лакування, ламінування, висікання та намотування — в одному агрегаті. Флексоdruk має значно нижчу вартість підготовки до друку, що робить його економічно доцільним не лише для наддовгих, а й для середніх тиражів.

Розгляд області застосування флексодруку показав, що технологія охоплює надзвичайно широкий спектр продукції: гнучке пакування з полімерних плівок, паперове та картонне пакування, самоклеїні етикетки, пакування для харчових продуктів і фармацевтики, а також поліграфічну продукцію широкого вжитку. За даними аналітичних компаній Mordor Intelligence та Smithers, світовий ринок флексографічного друку демонструє стабільне зростання з CAGR понад 2% і оцінюється у понад 100 мільярдів доларів США, що свідчить про високу затребуваність технології в глобальному масштабі.

## РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Характеристика продукції дільниці та вимоги до якості

Основною одиницею обліку продукції є площа задрукованого матеріалу у квадратних метрах, що дозволяє зводити до єдиного показника різноманітні за форматом і конструкцією вироби. До основних видів продукції, що виготовляється на дільниці, належать:

- гнучка пакувальна плівка — задрукований рулонний матеріал із поліетилену (ПЕ), біаксіально орієнтованого поліпропілену (БОПП) або поліетилентерефталату (ПЕТ), який використовується для пакування харчових продуктів, кондитерських виробів, снєків, заморожених продуктів та побутової хімії;
- самоклеїні етикетки — друкована продукція на паперовій або плівковій основі з клейовим шаром, призначена для маркування товарів у харчовій, фармацевтичній та косметичній галузях;
- паперові та картонні пакувальні матеріали — задрукований папір або картон у рулонах для подальшого виготовлення пакетів, коробок і споживчої тари;
- багат шарові ламіновані матеріали — композитні структури із кількох плівкових або паперово-плівкових шарів, що поєднують друкований шар із бар'єрними та захисними функціями.

Уся продукція дільниці виготовляється в рулонному форматі та передається на подальшу обробку або безпосередньо замовникам.

Флексографічний відбиток є наслідком нагромадження результатів дії різних факторів, що визначають його якість: з одного боку — це якісні показники видавничого оригіналу, привнесені раніше, з іншого — рівень та якість саме етапу друкування флексографічним способом. Тому вимоги до якості охоплюють як параметри готового відбитку, так і параметри технологічного процесу на кожному його етапі.

Точність кольоровідтворення — відповідність кольорів відбитку затвердженому еталонному зразку або кольоропробі. Оцінюється денситометричними та спектрофотометричними методами. Допустиме відхилення оптичної густини фарбового шару від норми, як правило, не перевищує  $\pm 0,05$ – $0,08$  одиниць денситометра.

Точність суміщення фарб (приводка) — відхилення у взаємному розташуванні зображень, нанесених різними друкарськими секціями. Для планетарних машин допустима похибка приводки становить до  $\pm 0,1$  мм, що є достатнім для більшості видів пакувальної продукції.

Рівномірність фарбового шару — відсутність смугастості, плям і нерівномірностей на плашках і тонових градієнтах. Визначається візуально та денситометрично по контрольних полях шкали.

Якість готової продукції значною мірою залежить від якості вхідних матеріалів — субстратів і фарб. Фарба для флексографічного друку повинна володіти цілим комплексом властивостей: високою адгезією та стійкістю до стирання, достатньою швидкістю закріплення, порівняно низькою в'язкістю і липкістю, відсутністю відмарювання у рулоні задрукованого матеріалу, стабільністю в процесі друкування та придатністю для подальшої обробки й експлуатації друкованої продукції. Субстрати, у свою чергу, повинні мати стабільну поверхневу натяжку, рівномірну товщину та відповідну пористість або ступінь обробки поверхні (коронна обробка для плівок) для забезпечення належної адгезії фарби. Якість пакувальної продукції регламентується рядом нормативних документів. Зокрема, маркувальні знаки на упаковці повинні бути контрастними, щоб символи були ясні і розпізнавані відповідно до вимог ДСТУ 4260:2003 «Тара і пакування споживчі». Для продукції харчового призначення додатково застосовуються вимоги щодо безпечності фарб і відсутності міграції шкідливих речовин крізь пакувальний матеріал [11].

## 2.2. Характеристика субстратів

Одним із найбільш поширених субстратів є папір. Для флексографічного друку використовують як крейдований, так і некрейдований папір різної щільності.

Паперові матеріали характеризуються достатньою вбираючою здатністю, що сприяє швидкому закріпленню фарби. При цьому важливими параметрами є гладкість поверхні, рівномірність структури та механічна міцність. Висока шорсткість паперу може призводити до нерівномірного перенесення фарби та погіршення якості дрібних елементів зображення.

Значне місце у флексографічному виробництві займають полімерні плівки, зокрема поліетиленові (PE), поліпропіленові (PP) та поліестерові (PET) матеріали. Дані субстрати використовуються переважно для виготовлення гнучкого пакування харчової, косметичної та фармацевтичної продукції. Основною особливістю полімерних матеріалів є не вбираюча поверхня, що ускладнює процес закріплення фарби. Для покращення адгезії у виробництві застосовується коронна обробка, яка підвищує поверхневий натяг матеріалу та забезпечує більш якісне змочування поверхні друкарською фарбою.

Поліетиленові плівки характеризуються високою гнучкістю, стійкістю до вологи та низькою собівартістю, що робить їх одними з найпоширеніших матеріалів у пакувальній галузі. Поліпропіленові плівки мають кращу прозорість і вищу механічну міцність, а також забезпечують більш стабільну якість друку. Поліестерові матеріали відзначаються високою термостійкістю та використовуються для пакування продукції, що потребує додаткової термічної обробки.

Для виготовлення етикеткової продукції та комбінованого пакування також широко застосовується картон. Даний матеріал має достатню жорсткість та хороші друкарські властивості. Якість друку на картоні залежить від рівномірності поверхні, вологості та ступеня поглинання фарби. При друкуванні на товстих картонних матеріалах важливим фактором є правильне налаштування тиску друкарського апарата, оскільки надмірний тиск може спричинити деформацію відбитка. У сучасному флексографічному виробництві також використовуються багатошарові комбіновані матеріали, що поєднують властивості паперу, полімерних плівок та алюмінієвої фольги. Такі субстрати забезпечують високі бар'єрні властивості, захист продукції від вологи, кисню та ультрафіолетового випромінювання. При роботі з комбінованими матеріалами особливу увагу приділяють сумісності фарб із поверхнею субстрату та стабільності процесу сушіння.

Якість субстратів безпосередньо впливає на стабільність технологічного процесу, точність передачі кольору та експлуатаційні характеристики готової продукції. Саме тому при виборі матеріалів для флексографічного друку враховуються фізико-механічні, хімічні та друкарсько-технічні властивості субстратів, а також умови подальшого використання готового пакування чи етикетки [12].

### 2.3. Флексографічні фарби: класифікація та властивості

Системи, де використовують фарбу на водній основі, добре себе зарекомендували при друці на папері та картоні завдяки хорошим показникам з опору до стирання, здатності до нанесення друку, щільності, розтікання, а також відсутності ЛОС (летючих органічних сполук). Виробники фарб готують друкарські фарби, лаки та покриття, які мають спеціальні властивості і характеристики та застосовуються в різних галузях. Фарби відрізняються не тільки за кольором, але й за консистенцією та композиційним складом відповідно до вимог технологічного процесу та типу використовуваного задрукованого матеріалу, робочою швидкістю машини.

Фарби, які використовують у більшості друкарських процесів, складаються переважно з пігменту та сполучної речовини. Пігмент надає забарвлення і є основою сполучної речовини або лаку, який використовується як засіб передачі пігментів у процес друку, які, відповідно, зчіплюються із задрукованим матеріалом. Спочатку кольорові пігменти отримували з тваринних, рослинних та мінеральних джерел, а зараз вони всі переважно хімічного походження. Якість пігменту впливає на друкарські характеристики фарби та позначається на якості готового відбитка.

Крім пігменту та сполучної речовини до складу фарби входять добавки (або допоміжні речовини), такі як розчинники, сушильні агенти, протипінні добавки, щоб досягти відповідних характеристик. Фарби кращої якості більш концентровані та мають кращу покривну здатність, ніж дешеві фарби. Сполучна речовина — основна рідка частина фарби, у якій розчиняється кольоровий пігмент, сприяє висиханню або зчепленню пігменту з папером, і вони відрізняються залежно від консистенції та

сушильних властивостей фарб. Фарба на друкарській машині повинна бути рідкою, щоб її можна було подати, відміряти та перенести на задруковуваний матеріал. Після того як друкована плівка буде нанесена на поверхню матеріалу, вона повинна витримати тертя і тиск інших поверхонь. Загалом, у будь-якому випадку вона повинна стати сухою і твердою.

Важливо, щоб у місці, де фарба лягає на поверхню паперу, не спостерігалось розділення сполучної речовини та пігменту, інакше отримаємо погані показники опору до стирання та відшарування фарби. Важлива умова здатності фарби до нанесення та створення відбитка — це накладення один на одного різних кольорів друку (треппінг) відповідно до заданої дизайнерської підготовки.

Щоб досягти цього, один шар фарби кладуть на інший, при цьому перший шар повинен бути достатньо сухим перед нанесенням наступного. Ця вимога важливіша під час друку на крейдованих або напівкрейдованих паперах, ніж на некрейдованих лайнерах, відкрита поверхня яких спрощує процес трепінга. Якщо не вдається досягти висихання фарби на крейдованих або напівкрейдованих лайнерах, потрібно використовувати осушувачі або іноді можна спробувати змінити послідовність нанесення різних кольорів фарби.

Контроль температури сушіння має вирішальне значення, оскільки від неї залежить поведінка потоку фарби. Тому потрібно ретельно стежити за цим і підтримувати температуру на постійному рівні.

Підвищення температури завжди призводить до зниження в'язкості рідини. Наприклад, за підвищення температури на кілька градусів цукровий сироп може перетворитися з практично нерухомої рідини на рідину текучу, подібну до води. Пам'ятайте, що холодна фарба не має ті ж характеристики, що і тепла, особливо якщо використовується ракельна система, де потрібно підтримувати постійний обсяг передачі фарби.

Фарби є малов'язкими. Це обумовлено тим, що машини працюють на великих швидкостях. Склад фарби:

- Пігмент (12%)
- В'язуча речовина
- Розчинник фарб (65%)

Фарби на водній основі, спиртовій, У/Ф закріплення – містять мономер, який поглинає УФ-промені та перетворюється в полімер в результаті чого на поверхні відбитка утворюється плівка. Домішки: фотоініціатор (3%), пластифікатори (до 6%), віск (1%)

Фарби на водній основі використовуються для друку на папері, картоні, гофрокартоні. Процес висихання проходить під дією теплого повітря 40-60° і УФ-променів. Спосіб закріплення фарб комбінований: випаровування розчинника та всотування. Ці фарби дешеві і екологічно чисті.

Фарби на спиртовій основі використовуються Для друку на плівкових матеріалах. Спосіб закріплення: плівкоутворення для чого викор. Сушінням теплим повітрям, а також УФ-сушкою.

Фарби УФ-закріплення – містять спеціальні мономери і закріплюються під дією УФ-променів. За властивостями вони є найкращі, але порівняно дорогі і повинні мати спец. пристосіблення [13].

#### 2.4. Анілоксові вали: лініатура, об'єм комірок, підбір під задачу

Процес флексодруку залежить від точного контролю перенесення рідких фарб. Анілоксовий валик – призначений для постійної подачі рівномірного об'єму фарби на носій зображення. Анілокс вважається серцем флексографічного друку. Старіші методи механічного гравіювання комірок на поверхні валу були значною мірою замінені точними розрахунками комп'ютеру завдяки лазерному гравіювання сталевих рулонів з керамічним покриттям. У цьому процесі мільйони дрібних отворів (комірок) просвердлені на керамічній поверхні анілоксу.

Завдяки сучасним технологіям гравіювання анілоксових валів, створено різноманіття можливих форм комірок. Кожний вид з яких виконує свою окрему роль у фарбопереносі на задрукований матеріал.

Анілокс часто називають «серцем» флексографічного друку. Якщо його неправильно обрати або обслуговувати належним чином, підприємство не працюватиме ефективно, а якість друку постраждає.

Кут гравіювання (рис. 2.1) або візерунок відноситься до особливої орієнтації комірок у наступних один за іншим рядах гравіювання, відрахованої від горизонтальної осі валу. Коли вал крутиться і проходить повз фокусуючу лінзу в лазерній шафі, електронні системи контролюють положення поверхні валу в будь-який момент часу. У відповідний час, коли кут повороту і горизонтальний інтервал правильний, лазер обробляє, концентруючи свою енергію на певній ділянці поверхні валу. Лазерні імпульси проходять тисячі разів на секунду, і їх потужності достатні, щоб видалити та сформувати комірку.

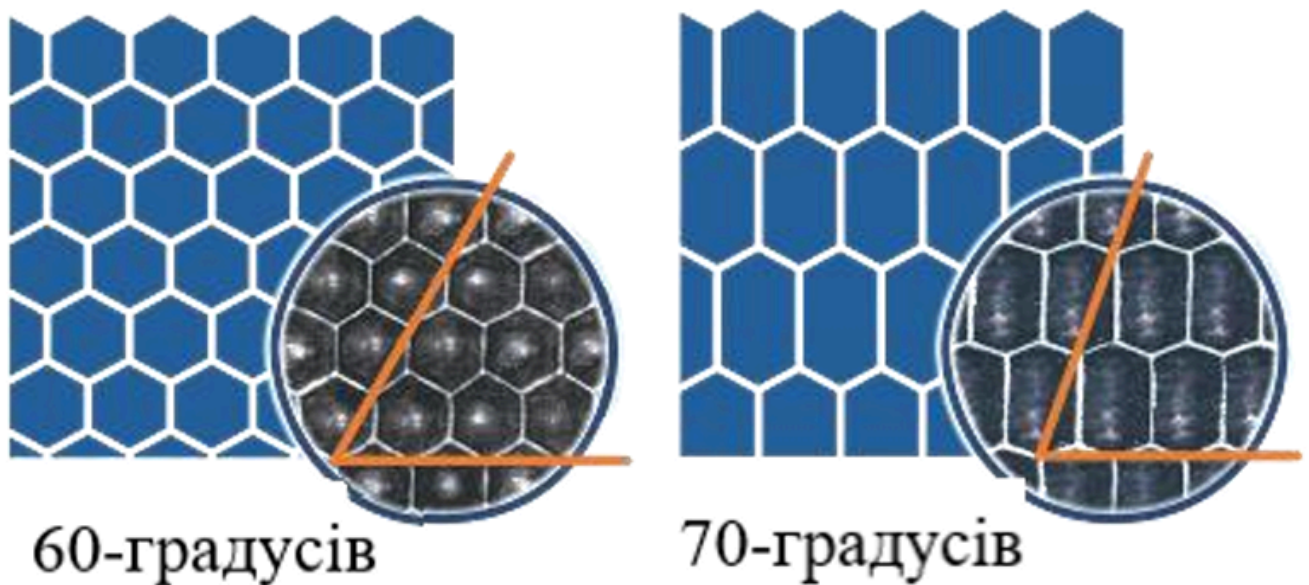


Рисунок 2.1 – Приклади гравіювання анілоксового валу

У сучасній флексографічній промисловості, незалежно від продуктів, що переробляються, 60-градусна шестикутна комірка все ще є найпоширенішою формою, чи то для друку коричневих крафт-гофроящиків, чи для найтоншого технологічного друку на плівці чи папері з покриттям. Об'єм цієї комірки вимірюється в мільярдах кубічних мікрон (млрд) на квадратний дюйм.

Об'єм фарби який може вмістити валик, впливає на щільність, чіткість і загальний тональний діапазон, можливий для друкованого зображення. Кількість комірок означає кількість ліній комірок на дюйм уздовж осі гравіювання. Це об'єм і кількість комірок, які регулярно змінюються залежно від загальних вимог до друку.

Об'єм комірки — це місткість вигравірованої поверхні в квадратному дюймі, виражена в мільярдах кубічних мікрон. Більший обсяг означає більш високу щільність чорнила, більше кольору або більшу товщину покриття. При менших обсягах наносяться тонші плівки чорнила, що безпосередньо пов'язані з вищою точністю друку для растрових структур.

60-градусний керамічний анілоксовий валик із лазерним гравіюванням з'явився на початку 1990-х років, замінивши 45-градусне алмазне гравіювання, подібне до валиків з механічним гравіюванням минулого. 60градусна комірка має тонші стінки, отже, більший отвір для кращого вивільнення чорнила, і лише три стінки комірки перетинаються на «стійку» комірки порівняно з чотирма стінками на 45-градусних комірках. Це важливо, оскільки область штифта не переносить чорнило, а менший знос зони штифта 60-градусної комірки мінімізує втрати під час перенесення чорнила.

У промисловості гофрокартону, особливо для суцільного друку, це подовжена або витягнута комірка на 70 або 75 градусів, яка забезпечує кращий вихід чорнила завдяки формі комірки. Це подовжене гравіювання забезпечує більший об'єм у певному lрі, оскільки в процесі гравіювання циліндричні стінки комірок усуваються навколо валика, залишаючи більше місця для переносу чорнила [14].

## 2.5. Фотополімерні друкарські форми

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

У сучасному флексографічному друці використовуються фотополімерні друкарські форми (ФДФ) на основі твердих чи рідких фотополімеризаційноздатних композицій. Під дією УФ-випромінювання мономерні, олігомерні чи мономернополімерні суміші, які входять до складу основного фотополімерного шару (ФПШ) форми, змінюють свій хімічний та фізичний стан – утворюються тверді пружні нерозчинні полімери. Цифрові технології для виготовлення ФДФ отримали широкий розвиток починаючи з 1995 р. в результаті створення ФДФ з маскувальним шаром фірмою DuPont. Головною відмінною рисою цих матеріалів є наявність тонкого (кілька мікрон) чорного шару-маски, який має високу оптичну щільність. Він служить для створення первинного зображення, сформованого за допомогою лазера, і є маскою при подальшому експонуванні ФПШ УФ-випромінюванням. Масковий шар, який не чутливий до УФ-випромінювання і водночас термочутливий в ІК-діапазоні спектра, має товщину 3-5 мкм і складається сажового наповнювача в розчині олігомера. Завдяки активному поглинанню ІЧ-випромінювання чорним масковим шаром відбувається його абляція (тому технологія отримала назву LAMS (Laser Ablatable Mask - маска, яка видаляється лазером). Отримання чіткого зображення на інтегральній масці залежить від структури і технічних характеристик маскового шару (однорідності, оптичної щільності, адгезії до фотополімеру), а також від правильних налаштувань пристрою лазерного опромінення.

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

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

Рушійною силою до розробки цієї технології стали різко зростаючі вимоги до якості друкування у флексографії. Як відомо, одним з ключових показників якості є роздільна здатність. Для першого покоління CtP-пластин цей показник складав 2100 пікселів на дюйм (ppi), в кінці 90-х він зріс до 2540 ppi, а після застосування

технології HD Flexo – до 4000 ppi [13]. Однією з новинок технології HD Flexo було використання в світлих ділянках растрових точок різного розміру. Завдяки такому способу око бачить, що точки відображаються рівномірно, формуючи однорідний тон і таким чином вирішується проблема обриву тону. Поряд з використанням точок різних розмірів в світлих ділянках є окремі точки, які більші, ніж стандартні мінімальні. Ці точки більш стабільні і можуть легше протистояти тиску в процесі друку. Дрібні точки підтримуються більшими і тому не деформуються при друкуванні, залишаючись стабільними навіть на довгих тиражах, наближаючи градієнти у світлих ділянках до нуля. Нерівномірність нанесення фарби на плашках при друкуванні з традиційних цифрових форм обумовлюється появою так званих «шпилькових проколів». Фарба схильна до ефекту злипання в згустки через поверхневий натяг і неідеальну змочуваність субстрату, що призводить до утворення сітчастого візерунку з осередками розміром 100 мкм. У результаті на плашках утворюються видимі дефекти («проколи»), які знижують однорідність фону та оверпринту.

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

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

Наступним етапом розвитку технології виготовлення ФДФ стала технологія Full HD Flexo. Фахівці звернули увагу на форму вершин друкарських елементів. Відомо, що точки з плоскою вершиною забезпечують насичені кольори і дуже високу щільність суцільної заливки. На жаль, технології плоских точок мають і зворотну сторону. Збільшення розміру точки на світлих ділянках зображення, яке виникає в результаті формування плоскої вершини точки, обмежує плавність переходу градієнту до нуля, а це приводить до різкого обриву тонів. Технологія Full HD Flexo забезпечує отримання округлих точок на світлих ділянках і плоских в тінях зображення. Нова технологія включає програмування регулювання інтенсивності і часу роботи УФ-світлодіодів при основному УФ-експонуванні. Цифрове управління УФ-діодом основної експозиції можна використовувати для формування обох видів точок в залежності від виду виконуваної роботи: можна виготовляти форми як з округлими точками, так і з плоскими. Це забезпечується за рахунок регулювання рівня питомої потужності УФ-експозиції.

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

Відомо, що класична цифрова технологія виготовлення ФДФ (технологія StP) передбачає основне експонування фотополімерної пластини УФ лампами діапазону «А» (315-400 нм) в присутності кисню. Інгібуючий вплив кисню при основному експонуванні ФДФ призводить до формування кулеподібної растрової точки (рис. 2.2), і, у свою чергу, до зменшення розмірів друкарського елемента, підвищення його чутливості до тиску друкування і зниження висоти растрових точок.

Особливості цифрової технології виготовлення друкарських форм призводять як до формування нестабільних друкарських елементів в світлах, так і до спотворень у тінях зображення. Одним із шляхів вирішення перерахованих вище проблем є

формування «плоских» вершин друкарських елементів (Flat Top Dots), яке ґрунтується на блокуванні інгібуючого впливу молекулярного кисню на поверхню ФДФ [15].

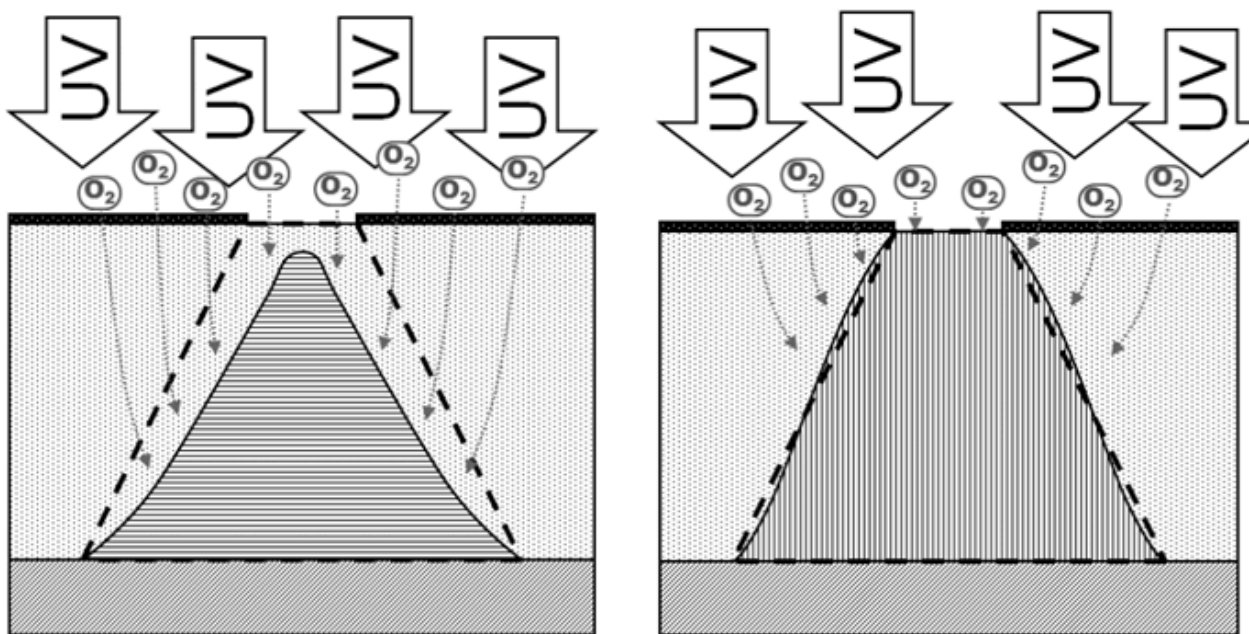


Рисунок 2.2 - Профіль растрової точки цифрової форми, сформований в звичайних умовах (ліворуч) та при використанні безкисневих технологій (праворуч) [15]

## 2.6. Допечатна підготовка: кольороподіл, трепінг, кольоропроби

Допечатна підготовка є одним із найважливіших етапів технологічного процесу дільниці флексографічного друку, оскільки саме на цьому етапі закладається основа якості майбутнього відбитку. Помилки, допущені при підготовці макету, неможливо виправити на стадії друку без зупинки машини та переробки форм, що призводить до значних матеріальних і часових витрат. Тому дизайнер та препрес-інженер повинні мати глибоке розуміння особливостей флексографічного процесу.

Кількість кольорів, яку може сприймати людське око, значно перевищує кількість кольорів, відтворюваних на моніторах і друкарських машинах. Ключовим поняттям у роботі з кольором є колірний простір. Цифрові фотоапарати та сканери

записують зображення у колірному просторі RGB, тоді як друкарські машини працюють у просторі CMYK або розширеній гамі CMYKOGV. Системи керування кольором (CMS) — це програмні інструменти, що кількісно визначають і узгоджують колірні відмінності між моніторами, сканерами та друкарським обладнанням для забезпечення стабільного кольоровідтворення протягом усього виробничого процесу.

Кольороподіл — це процес, за допомогою якого оригінальні повнокольорові цифрові файли поділяються на окремі кольорові компоненти для друку. Кожен елемент зображення відтворюється шляхом поєднання чотирьох базових кольорів: блакитного (Cyan), пурпурового (Magenta), жовтого (Yellow) та чорного (Key). Кожне з чотирьох кольорових розділень наноситься на окрему друкарську форму, встановлену на одному циліндрі машини. Поєднуючись у вигляді мікроскопічних растрових точок, ці кольори створюють повнокольорове зображення на матеріалі [1].

Для кольороподілу на дільниці використовують програмне забезпечення Adobe Illustrator та Adobe Photoshop. Серед спеціалізованих рішень для флексографії виділяється пакет Esko, який автоматизує підбір трепінгу та кольороподіл на триадні кольори, суттєво знижуючи ймовірність помилок препрес-інженера.

Оскільки флексографічний друк здійснюється послідовно — кожна фарба наноситься окремою секцією — незначне несуміщення кольорів (похибка приводки) є неминучим технологічним явищем. Для компенсації його наслідків застосовують два методи: оверпринт та трепінг.

Оверпринт — режим, при якому один елемент накладається на інший без створення виворотки. Якщо оверпринт не включений, між двома кольоровими елементами при найменшому не суміщенні з'являється біла окантовка (рис. 2.3). Включення оверпринту усуває цю проблему, однак може змінювати відтінок кольору через оптичне змішування фарб.



Рисунок 2.3 – Приклад несуміщення кольорів плашки з вивороткою

Треппінг («кольорові пастки») — метод, при якому суміжні кольори друкуються з невеликим нахлестом одного на інший. На відміну від оверпринту, треппінг не змінює відтінок кольору елементів, а лише створює невидиму зону перекриття між ними, яка компенсує похибку приводки. Саме тому треппінг є основним і найбільш надійним методом усунення проблеми несуміщення у флексографічному друці [2].

Внутрішній треппінг передбачає зменшення розміру виворотки під верхній об'єкт — вона робиться дещо меншою за сам об'єкт, завдяки чому між кольорами утворюється зона перекриття по внутрішньому контуру. Цей тип треппінгу застосовується у випадках, коли верхній об'єкт має достатній розмір і його незначне «стискання» по краях залишається непомітним для ока (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 — Приклад внутрішнього треппінгу

Зовнішній треппінг, навпаки, передбачає розширення верхнього об'єкта — навколо нього створюється тонкий контур, що накладається на нижній об'єкт. Цей метод використовується для дрібних елементів — тексту, тонких ліній, невеликих

логотипів — де внутрішнє стискання неприйнятне через ризик спотворення форми елемента (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 — Приклад зовнішнього трепінгу

Рекомендації щодо підготовки макету. При підготовці макетів для флексографічного друку застосовують такі загальноприйняті вимоги:

- градієнти відтворюються в діапазоні 6–98%; при зменшенні відсотку растру нижче 6% збільшується ймовірність появи «бруд» на відбитку;
- растри мають бути безперервними з мінімальним розміром точок 5% у найсвітліших ділянках;
- при наявності плашкових елементів доцільно використовувати систему PMS (пантонні кольори) замість накладення тріадних фарб;
- по краях пакування типу «мішок» слід залишити не менше 5 мм незадрукованого простору;
- логотипи та фігурні елементи повинні бути виконані у векторній графіці.

Для забезпечення стабільного відтінку кольору протягом усього тиражу використовують систему Pantone Matching System (PMS). Оскільки відтінок тріадних фарб може змінюватися від партії до партії поставки, використання пантонного кольору дозволяє точно відтворити фірмовий колір замовника незалежно від обладнання та умов друку. Кожен колір системи має унікальний номер PMS, що забезпечує ідентичне відтворення на будь-якому виробництві. Важливою технологічною перевагою є те, що для нанесення пантонного кольору потрібна лише одна друкарська форма, а не чотири — що прискорює приладку і спрощує контроль кольору.

Кольоропроба є обов'язковим інструментом узгодження кольору між замовником і дільницею друку. Розрізняють кілька видів кольоропроб залежно від їх призначення:

Концептуальна кольоропроба — використовується на ранніх стадіях проекту для збору зауважень від усіх учасників процесу. Не призначена для точної відповідності кольору.

Кольоропроба кольорових цілей — відображує ідеальний задум дизайнера, незалежно від технічних можливостей друку. Деякі кольори в ній можуть бути недосяжними при реальному друці.

Профільована кольоропроба — є основним виробничим документом. Вона відображує очікуваний результат на конкретному друкарському обладнанні з урахуванням профілю матеріалу та умов друку. Використовується як еталон під час приладки машини та є підставою для прийняття або відхилення тиражу.

Точність кольоропроби підтверджується за допомогою шкали Ugra Fogra MediaWedge (рис. 2.6) — вимірювання полів шкали порівнюються зі значеннями ICC-профілю та перевіряються на відповідність допускам стандарту ISO 12647-7. За результатами перевірки формується звіт або етикетка, що підтверджують коректність кольоропроби [16].



Рисунок 2.6 – Шкала Ugra Fogra MediaWedge [16]

## 2.7. Процес друку: режими, параметри налаштування машини

Процес друку є центральним етапом технологічного циклу дільниці флексографії, на якому безпосередньо формується відбиток на задрукованому матеріалі. Якість кінцевої продукції визначається сукупністю взаємопов'язаних

параметрів: тиском у зоні друку, в'язкістю фарби, натягом полотна, швидкістю друку та режимом сушіння. Стабільність кожного з цих параметрів протягом усього тиражу є необхідною умовою отримання однорідного за кольором та якістю відбитку.

Перед початком тиражного друку виконується приладка — комплекс налаштувань машини під конкретне замовлення. До основних операцій приладки належать: встановлення та монтаж друкарських форм на формні циліндри, встановлення анілоксових валів відповідно до технологічної карти, заправка фарб і налаштування їх в'язкості, встановлення натягу полотна, налаштування тиску у зонах контакту та виведення приводки кольорів. Завдяки конструкції флексографічних машин, на відміну від офсетних, друкарю не потрібно витратити зайвий час на вирівнювання тиску в зоні друку — приладка займає значно менше часу.

На сучасних машинах зміна форм на чотирьох друкарських секціях здійснюється менш ніж за 9 хвилин, що забезпечує високу оперативність переходу між замовленнями. Поздовжня приводка виконується в діапазоні  $\pm 10$  мм з центрального пульта управління, поперечна — в діапазоні  $\pm 5$  мм.

Тиск є одним із найважливіших параметрів флексографічного друку. Технологічно необхідний мінімальний тиск забезпечує надійну передачу фарби з друкарської форми на матеріал при рівномірному розподілі по всій поверхні форми. Надлишковий тиск призводить до деформації еластичної форми, розтискування растрових точок та втрати деталей зображення на світлих ділянках. Тому основним принципом налаштування тиску у флексографії є принцип «мінімально необхідного тиску» — *kiss impression*. Регулювання тиску здійснюється окремо для двох зон: між анілоксовим валом і друкарською формою та між друкарською формою і задрукованим матеріалом. Обидві зони налаштовуються з боку оператора з точністю до мікрометра на сучасних машинах з числовим програмним управлінням.

В'язкість є критичним параметром, що безпосередньо впливає на якість друку. Для водорозчинних і УФ-фарб робочий діапазон в'язкості становить 500–2000 мПа·с залежно від типу фарби та об'єму комірок анілоксового вала. Якщо в'язкість фарби занадто низька — кольори виглядають блідими, виникають проблеми з рівномірністю плашок. Якщо в'язкість завищена — фарба погано передається з

анілоксу на форму, утворюється «брудний» відбиток, можливе засихання фарби в комірках анілоксового вала.

Для водорозчинних фарб додатково контролюється показник рН, нормальний діапазон якого становить 8,5–9,5. При виході рН за межі діапазону змінюється в'язкість фарби, швидкість її висихання та адгезія до матеріалу, що призводить до нестабільності кольору протягом тиражу. В'язкість перевіряється на початку зміни та кожні 30–60 хвилин у процесі друку за допомогою кубка Цана або автоматичних систем контролю в'язкості. Температура фарби і приміщення дільниці безпосередньо пов'язана з в'язкістю: підвищення температури знижує в'язкість фарби, що змінює товщину фарбового шару і призводить до дрейфу кольору в процесі тиражу. Оптимальна температура фарби для флексографічного друку становить 20–25°C. Перед початком друку фарба повинна бути витримана при температурі приміщення дільниці — в іншому разі в перший час після запуску машини щільність фарбового шару помітно змінюватиметься.

Швидкість друку є важливим технологічним параметром, що впливає одночасно на продуктивність дільниці та якість відбитку. Надмірно висока швидкість призводить до того, що фарба не встигає повністю закріпитися між секціями, виникає відмарювання і налипання фарби. Занадто низька швидкість, у свою чергу, може спричинити надлишкову деформацію анілоксового вала у зоні контакту з друкарською формою.

Для кожного конкретного поєднання матеріалу, типу фарби та системи сушіння визначається оптимальний діапазон робочих швидкостей. Сучасні широкорулонні планетарні машини забезпечують швидкість друку до 400–600 м/хв при збереженні якості відбитку. На практиці робоча швидкість на дільниці встановлюється з урахуванням продуктивності сушильної системи — саме вона є лімітуючим фактором при збільшенні швидкості.

Рівномірний натяг матеріалу між секціями є необхідною умовою точної приводки кольорів. Особливо критичним цей параметр є при роботі з гнучкими плівковими матеріалами — поліетиленом, БОПП, ПЕТ — які схильні до нерівномірного розтягування між друкарськими секціями. Нерівномірний натяг є однією з основних причин невідповідності приводки при флексографічному друці на

плівкових субстратах. Для усунення цієї проблеми на сучасних машинах використовують системи автоматичного контролю натягу з тензодатчиками та системою реєстрації параметрів матеріалу для миттєвого налаштування при переході на новий субстрат.

Нестабільність кольору є однією з найпоширеніших проблем тиражного друку. Основними причинами зміни колірної тону є: засмічення комірок анілоксового вала, затуплення або неправильне налаштування ракельного ножа, зміна в'язкості фарби внаслідок випаровування розчинника, а також нерівномірний притиск форми до передавальних валів. Вирішення цих проблем досягається своєчасним очищенням анілоксового вала, регулярною заміною ракельних ножів та чітким дотриманням рівнів притиску.

При багатофарбовому друці важливою є послідовність нанесення фарб по секціях. Загальне правило: спочатку друкуються світлі фарби, потім темні. Для пакування, що задруковується з виворотного боку (reverse printing на прозорих плівках), послідовність є оберненою — першою наноситься фарба, що буде видна споживачу. Правильна послідовність фарб впливає на оптичне змішування кольорів, чистоту відтінків і рівень глянцею відбитку [17].

## 2.8. Післядрукарська обробка: ламінування, лакування, різання, намотування

Ламінування — це процес з'єднання двох або більше шарів матеріалу за допомогою клейової речовини для отримання багат шарового композиту з покращеними бар'єрними, механічними або естетичними властивостями. У виробництві гнучкого пакування ламінування є однією з найпоширеніших операцій постдрукарської обробки, оскільки більшість сучасних пакувальних структур є багат шаровими.

Залежно від типу клейової системи розрізняють такі основні методи ламінування:

Сухе ламінування (dry lamination) — клей на основі органічних розчинників або без розчинників наноситься на один із субстратів, після чого розчинник випаровується у тунельній сушарці, і лише потім два полотна з'єднуються під тиском

між притискними валами. Сухе ламінування забезпечує дуже міцне з'єднання та високі бар'єрні властивості, що робить його оптимальним вибором для виробництва ретортного пакування, стерилізованої упаковки та медичних пакетів. Час витримки після ламінування до повного затвердіння клею становить від 24 до 72 годин залежно від типу адгезиву та умов зберігання.

Мокре ламінування (wet lamination) — рідкий клей на водній або сольвентній основі наноситься на субстрат, після чого одразу, без попереднього висушування, він з'єднується з другим полотном. Після цього ламінат проходить через нагрівальну зону для випаровування розчинника та затвердіння клею. Мокре ламінування є економічно вигіднішим завдяки нижчій вартості сировини, однак потребує більшого часу на затвердіння — від кількох годин до кількох діб. Метод добре підходить для ламінування паперу з фольгою або БОПП-плівкою у великих обсягах.

Безрозчинникове ламінування (solventless lamination) — найсучасніший і найбільш екологічний метод, при якому використовується двокомпонентний поліуретановий клей без будь-яких розчинників. Два компоненти змішуються безпосередньо перед нанесенням і реагують між собою при контакті, утворюючи міцне з'єднання без потреби в сушінні. Цей метод є найбільш поширеним серед сучасних виробників гнучкого пакування завдяки своїй економічності, простоті у використанні та відсутності викидів летких органічних сполук.

Типова структура ламінованого пакувального матеріалу для харчової галузі може включати: зовнішній задрукований шар ПЕТ або БОПП — клейовий шар — бар'єрний шар металізованої плівки або фольги — внутрішній зварювальний шар поліетилену. Кожен шар виконує свою функцію: зовнішній забезпечує якість друку та механічний захист, бар'єрний — захист від кисню та вологи, внутрішній — можливість термозварювання при пакуванні продукту.

Лакування є операцією нанесення прозорого або напівпрозорого захисного або декоративного покриття на задруковану поверхню. На дільниці флексографічного друку лакування може виконуватись безпосередньо в лінії з друком — за допомогою окремої лакувальної секції машини — або як окрема операція на спеціалізованому агрегаті. Розрізняють повне лакування, коли лак наноситься на всю поверхню

матеріалу, та вибіркоче, коли лак наноситься лише на окремі ділянки для створення декоративного контрасту між матовою та глянцевою поверхнями.

За типом лаку розрізняють водорозчинні, сольвентні та УФ-лаки. Найбільш поширеним у сучасному пакувальному виробництві є УФ-лакування — завдяки миттєвій полімеризації під ультрафіолетовим випромінюванням воно забезпечує найвищий глянець, тверду захисну поверхню та можливість негайного продовження технологічного процесу без витримки.

Різання та намотування є фінальними операціями технологічного циклу дільниці. Після друку та постдрукарської обробки задрукований матеріал або намотується в рулон для передачі замовнику чи на подальшу переробку, або розрізається на вузькі рулони заданої ширини на бабінорізальній машині. Різання здійснюється дисковими або ножовими різцями з точністю до  $\pm 0,5$  мм по ширині рулону.

Намотування виконується з контрольованим натягом, що є критично важливим для плівкових матеріалів — нерівномірний натяг при намотуванні призводить до деформації матеріалу та телескопічного зміщення витків рулону. На сучасних агрегатах намотування здійснюється автоматично з підтримкою постійного натягу по всій довжині рулону. Готові рулони маркуються відповідно до замовлення та передаються на склад або безпосередньо замовнику [18].

## 2.9. Висновок до розділу 2

Встановлено, що дільниця орієнтована на випуск широкого асортименту пакувальної продукції в рулонному форматі: гнучких плівкових матеріалів, самоклеїних етикеток, паперових та картонних пакувальних матеріалів, а також багат шарових ламінованих структур. Основною одиницею обліку є площа задрукованого матеріалу у квадратних метрах, що дозволяє уніфікувати планування та облік різнорідної за форматом продукції.

Аналіз характеристик субстратів показав, що кожен вид задрукованого матеріалу — папір, поліетилен, БОПП, ПЕТ, картон та комбіновані матеріали — має специфічні друкарсько-технічні властивості, які визначають вибір типу фарби,

параметрів друку та режиму сушіння. Для полімерних плівок обов'язковою умовою є коронна обробка поверхні для підвищення поверхневого натягу та забезпечення належної адгезії фарби.

Розгляд флексографічних фарб підтвердив, що для дільниці пакувальної продукції доцільним є застосування фарб трьох основних типів: водорозчинних — для друку на папері та картоні, спиртових — для плівкових матеріалів, та УФ-фарб — для отримання найвищої якості відбитку та максимальної швидкості закріплення. Кожна система фарб має свої вимоги до контролю в'язкості, температури та рН, дотримання яких є необхідною умовою стабільності кольору протягом тиражу.

Детальне вивчення анілоксових валів показало, що анілокс є ключовим елементом системи дозування фарби і його правильний підбір за лініатурою та об'ємом комірок безпосередньо визначає якість відтворення як растрових зображень, так і суцільних плашок. Сучасні керамічні анілоксові вали з лазерним гравіюванням 60-градусних шестикутних комірок забезпечують значно кращий вихід фарби та меншу зносостійкість порівняно із застарілими механічно гравіюваними валами.

Розгляд фотополімерних друкарських форм підтвердив, що сучасний стандарт галузі — цифрові форми з масковим шаром за технологією LAMS та CtP — забезпечує роздільну здатність до 4000 ррі, стабільні друкарські елементи по всьому тональному діапазону та можливість відтворення понад 70% пантонних кольорів засобами тріадного друку. Технології HD Flexo та Full HD Flexo дозволяють повністю усунути проблему «шпилькових проколів» на плашках та нестабільності растрових точок у світлих ділянках, наближаючи якість флексодруку до рівня офсету та ротогравюри.

Аналіз допечатної підготовки показав, що якість кольоровідтворення закладається на етапі кольороподілу та підготовки профільованої кольоропроби. Правильне застосування трепінгу — внутрішнього або зовнішнього залежно від розміру елементів — є обов'язковою умовою усунення проблеми не суміщення кольорів. Дотримання технологічних рекомендацій щодо діапазону градієнтів, мінімального розміру растрових точок та захоплення дозволяє уникнути більшості дефектів ще на стадії підготовки макету.

Аналіз технологічних параметрів процесу друку підтвердив, що стабільна якість відбитку досягається комплексним контролем п'яти ключових параметрів: тиску в зоні друку за принципом kiss impression, в'язкості та температури фарби, натягу полотна між секціями та швидкості друку. Для кожного поєднання матеріалу і фарби існує оптимальний діапазон робочих параметрів, вихід за межі якого неминуче призводить до появи дефектів — відмарювання, нестабільності кольору або порушення приводки. Особливо критичним є контроль натягу полотна при роботі з гнучкими плівковими матеріалами, схильними до нерівномірного розтягування між секціями планетарної машини.

Розгляд післядрукарської обробки показав, що ламінування, лакування, різання та намотування є невід'ємними складовими технологічного циклу дільниці. Серед методів ламінування найбільш перспективним для сучасного пакувального виробництва є безрозчинникове ламінування — завдяки екологічності, економічності та відсутності потреби в сушінні. УФ-лакування забезпечує найвищий глянець і найшвидший цикл обробки. Фінальне різання та намотування з контрольованим натягом гарантують товарний вигляд готової продукції та відсутність деформацій при транспортуванні.

## РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 3.1. Вихідні дані для розрахунків

Розрахункова частина проєкту базується на технічних і організаційних параметрах дільниці флексографічного друку, визначених відповідно до заданої річної потужності 0,9 млн м<sup>2</sup>/рік. Вихідні дані є основою для розрахунку річного фонду робочого часу, завантаження обладнання, витрат матеріалів та чисельності персоналу дільниці.

При визначенні вихідних даних враховувались такі чинники: тип і технічні характеристики основного технологічного обладнання, асортимент та структура продукції дільниці, режим роботи підприємства, нормативні витрати матеріалів на одиницю продукції, а також технологічно неминучі втрати матеріалу в процесі виробництва.

Режим роботи дільниці прийнятий двозмінним з тривалістю робочої зміни 8 годин при п'ятиденному робочому тижні. Такий режим є типовим для підприємств пакувальної поліграфії середньої потужності та забезпечує раціональне використання обладнання з можливістю проведення планово-профілактичного обслуговування машини у вихідні дні.

Як основне технологічне обладнання дільниці прийнята планетарна флексографічна друкарська машина з вісьмома друкарськими секціями та робочою шириною друку 1000 мм. Планетарна конструкція машини обрана з огляду на асортимент продукції дільниці, що включає значну частку гнучких плівкових матеріалів — БОПП, ПЕТ та ПЕ, — які потребують найвищої точності приводки та мінімального розтягування полотна в зоні друку. Максимальна швидкість машини становить 300 м/хв, однак з урахуванням технологічних зупинок на приладку, зміну рулонів та контрольні зупинки робоча швидкість прийнята на рівні 150 м/хв.

Коефіцієнт використання обладнання прийнятий рівним 0,75, що є реалістичним показником для дільниці з різноманітним асортиментом продукції та частими переходами між замовленнями. Середня кількість фарб на одне замовлення

прийнята рівною 6, що відповідає типовому рівню для пакувальної продукції харчової та косметичної галузі.

Норма витрат фарби прийнята на рівні 3,5 г/м<sup>2</sup> задрукованої поверхні з урахуванням середньої кількості фарбових шарів та типового покриття поверхні. Коефіцієнт відходів субстрату прийнятий рівним 1,05, що враховує технологічні відходи при заправці рулону, приладці та різанні.

Таблиця 3.1 - Вихідні дані для розрахунків

Показник	Значення
Річна потужність дільниці	900 000 м <sup>2</sup>
Кількість робочих змін на добу	2
Тривалість робочої зміни	8 год
Кількість робочих днів на тиждень	5
Тип друкарської машини	Планетарна флексографічна, 8 секцій
Робоча ширина друку	1000 мм
Максимальна швидкість машини	300 м/хв
Робоча швидкість друку	150 м/хв
Середня кількість фарб на замовлення	6
Коефіцієнт використання обладнання	0,75
Витрати фарби на 1 м <sup>2</sup>	3,5 г/м <sup>2</sup>
Коефіцієнт відходів матеріалу	1,05

Асортимент продукції дільниці визначений відповідно до типової структури замовлень підприємств пакувальної поліграфії та наведений у таблиці 3.2. Найбільшу частку займають плівкові матеріали на основі БОПП та ПЕТ, що обумовлено їх широким застосуванням у харчовій, косметичній та фармацевтичній галузях.

Таблиця 3.2 — Асортимент продукції дільниці

Вид продукції	Частка, %	Обсяг, м <sup>2</sup> /рік
Гнучка плівка БОПП	45	405 000
Гнучка плівка ПЕТ	25	225 000
Плівка ПЕ	15	135 000
Паперові матеріали та картон	10	90 000
Самоклейні етикетки	5	45 000
Разом	100	900 000

Наведені вихідні дані є основою для всіх подальших розрахунків розділу 3 та визначають технічні й економічні показники проєктованої дільниці.

### 3.2. Розрахунок річного фонду робочого часу

Річний фонд робочого часу є базовим показником для розрахунку потужності дільниці та завантаження обладнання. Розрізняють календарний, номінальний та ефективний фонди робочого часу. Календарний фонд робочого часу — це максимально можлива кількість годин на рік за умови безперервної роботи [19]:

$$\Phi_k = 365 \times 24 = 8760 \text{ год}$$

Номінальний фонд робочого часу — кількість робочих годин на рік відповідно до режиму роботи дільниці без урахування планових простоїв. Визначається за формулою [19]:

$$\Phi_n = (D_k - D_v - D_c) \times n_{zm} \times t_{zm}$$

де  $D_k$  — кількість календарних днів на рік (365);

$D_v$  — кількість вихідних днів (104, при п'ятиденному тижні);

$D_c$  — кількість святкових днів (11, згідно з трудовим законодавством України);

$n_{зм}$  — кількість змін на добу (2);

$t_{зм}$  — тривалість зміни (8 год).

$$\Phi_H = (365 - 104 - 11) \times 2 \times 8 = 250 \times 16 = 4000 \text{ год}$$

Ефективний фонд робочого часу враховує планові простої обладнання на технічне обслуговування та ремонт. Коефіцієнт планових простоїв  $K_{пп} = 0,07$  (7%).

$$\Phi_e = \Phi_H \times (1 - K_{пп}) = 4000 \times (1 - 0,07) = 4000 \times 0,93 = 3720 \text{ год}$$

З урахуванням коефіцієнта використання обладнання  $K_{во} = 0,75$ , що враховує технологічні зупинки на приладку, зміну рулонів, регулювання параметрів та контрольні зупинки, визначаємо фактичний фонд продуктивної роботи машини:

$$\Phi_\phi = \Phi_e \times K_{во} = 3720 \times 0,75 = 2790 \text{ год}$$

Результати розрахунку фондів робочого часу зведено до таблиці 3.3 [19].

Таблиця 3.3 — Фонди робочого часу діляниці [19]

Показник	Позначення	Значення
Календарний фонд	$\Phi_k$	8760 год
Кількість робочих днів	$D_p$	250 днів
Номінальний фонд	$\Phi_H$	4000 год
Коефіцієнт планових простоїв	$K_{пп}$	0,07
Ефективний фонд	$\Phi_e$	3720 год
Коефіцієнт використання обладнання	$K_{во}$	0,75
Фактичний фонд продуктивної роботи	$\Phi_\phi$	2790 год

Отже, фактичний фонд продуктивної роботи флексографічної машини становить 2790 годин на рік, що є основою для подальшого розрахунку потужності дільниці та перевірки достатності обладнання для виконання річної виробничої програми.

### 3.3. Розрахунок потужності дільниці та завантаження обладнання

Потужність дільниці визначається як максимально можливий обсяг продукції, який може бути виготовлений на наявному обладнанні за фактичний фонд робочого часу.

Теоретична продуктивність флексографічної машини за одну годину роботи визначається за формулою [20]:

$$\Pi_T = V_{др} \times Ш_{др} \times 60$$

де  $V_{др}$  — робоча швидкість друку (150 м/хв);

$Ш_{др}$  — робоча ширина друку (1,0 м);

60 — кількість хвилин в годині.

$$\Pi_T = 150 \times 1,0 \times 60 = 9000 \text{ м}^2/\text{год}$$

Річна потужність дільниці при фактичному фонді продуктивної роботи:

$$\Pi_p = \Pi_T \times \Phi_{ф} = 9000 \times 2790 = 25\,110\,000 \text{ м}^2/\text{рік}$$

Теоретична максимальна потужність однієї машини значно перевищує задану річну програму 900 000 м<sup>2</sup>/рік. Це означає, що для виконання виробничої програми достатньо однієї флексографічної машини, яка при цьому буде завантажена лише частково.

Визначимо необхідний фонд часу для виконання річної програми:

$$\Phi_{потр} = Q_{річн} / \Pi_T = 900\,000 / 9000 = 100 \text{ год}$$

Коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_z = \Phi_{\text{потр}} / \Phi_{\text{ф}} = 100 / 2790 = 0,036$$

Отриманий коефіцієнт завантаження є дуже низьким, що свідчить про значний резерв потужності машини. Це пояснюється тим, що при розрахунку теоретичної продуктивності не враховано час на приладку, зміну замовлень та технологічні зупинки в рамках кожного конкретного замовлення. З урахуванням реальної структури замовлень — середня довжина тиражу, кількість переналаджень на добу — фактичне завантаження машини буде значно вищим.

Уточнений розрахунок з урахуванням часу на приладку. Приймаємо середній час приладки на одне замовлення  $t_{\text{пр}} = 1,5$  год, середню довжину тиражу  $L_{\text{т}} = 5000$  м. Тоді кількість замовлень на рік:

$$N_{\text{зам}} = Q_{\text{річн}} / L_{\text{т}} = 900\,000 / 5000 = 180 \text{ замовлень}$$

Загальний час на приладку за рік:

$$T_{\text{пр}} = N_{\text{зам}} \times t_{\text{пр}} = 180 \times 1,5 = 270 \text{ год}$$

Загальний час на безпосередній друк:

$$T_{\text{др}} = Q_{\text{річн}} / \Pi_{\text{т}} = 900\,000 / 9000 = 100 \text{ год}$$

Сумарний час роботи машини:

$$T_{\text{заг}} = T_{\text{др}} + T_{\text{пр}} = 100 + 270 = 370 \text{ год}$$

Уточнений коефіцієнт завантаження:

$$K_{з_{утч}} = T_{заг} / \Phi_e = 370 / 3720 = 0,099 \approx 0,10$$

Результати розрахунку потужності та завантаження обладнання зведено до таблиці 3.4 [20].

Таблиця 3.4 — Показники потужності та завантаження обладнання [20]

Показник	Значення
Теоретична продуктивність машини	9000 м <sup>2</sup> /год
Річна потужність машини (максимальна)	25 110 000 м <sup>2</sup> /рік
Задана річна програма	900 000 м <sup>2</sup> /рік
Кількість замовлень на рік	180
Час на приладки за рік	270 год
Час безпосереднього друку	100 год
Сумарний час роботи машини	370 год
Уточнений коефіцієнт завантаження	0,10
Кількість машин	1

Для виконання річної виробничої програми дільниці потужністю 0,9 млн м<sup>2</sup>/рік достатньо однієї планетарної флексографічної машини з восьма друкарськими секціями. Коефіцієнт завантаження обладнання становить 0,10, що свідчить про значний резерв потужності дільниці та можливість збільшення виробничої програми у майбутньому без додаткових капітальних вкладень в основне обладнання.

#### 3.4. Розрахунок витрат флексографічних фарб на річну програму

Витрати флексографічних фарб визначаються виходячи з річної програми дільниці, норми витрат фарби на одиницю площі задрукованої поверхні та асортиментної структури продукції. Норма витрат фарби залежить від кількості

фарбових шарів, ступеня покриття поверхні зображенням та типу задрукованого матеріалу.

Загальна витрата фарби на річну програму визначається за формулою [21] :

$$V_{\phi} = Q_{\text{річн}} \times H_{\phi} \times K_{\phi} / 1000$$

де  $Q_{\text{річн}}$  — річна програма дільниці (900 000 м<sup>2</sup>);

$H_{\phi}$  — норма витрат фарби на 1 м<sup>2</sup> (3,5 г/м<sup>2</sup>);

$K_{\phi}$  — коефіцієнт, що враховує відходи фарби при приладці та промивці фарбової системи (1,08);

$$V_{\phi} = 900\,000 \times 3,5 \times 1,08 / 1000 = 3402 \text{ кг}$$

Оскільки середня кількість фарб на замовлення становить 6, а стандартна кольорова модель передбачає 4 тріадні фарби (СМУК) та 2 плашкові (пантонні), визначимо витрати окремо за групами фарб.

Частка тріадних фарб у загальному обсязі прийнята 60%, плашкових — 40%, що відповідає типовій структурі замовлень пакувальної поліграфії.

Витрати тріадних фарб:

$$V_{\phi.\text{тр}} = V_{\phi} \times 0,60 = 3402 \times 0,60 = 2041 \text{ кг}$$

Витрати плашкових (пантонних) фарб:

$$V_{\phi.\text{пл}} = V_{\phi} \times 0,40 = 3402 \times 0,40 = 1361 \text{ кг}$$

Розподіл витрат тріадних фарб за кольорами прийнятий у таких пропорціях: чорна (К) — 35%, блакитна (С) — 25%, пурпурна (М) — 22%, жовта (Y) — 18%. Такий розподіл є типовим для пакувальної продукції з переважанням темних та насичених кольорів.

Витрати за кожним кольором тріади:

1.  $V_{\text{ф.к}} = 2041 \times 0,35 = 714$  кг
2.  $V_{\text{ф.с}} = 2041 \times 0,25 = 510$  кг
3.  $V_{\text{ф.м}} = 2041 \times 0,22 = 449$  кг
4.  $V_{\text{ф.у}} = 2041 \times 0,18 = 367$  кг

Результати розрахунку витрат фарб зведено до таблиці 3.5 [21].

Таблиця 3.5 — Річні витрати флексографічних фарб [21]

Вид фарби	Витрати, кг/рік	Частка, %
Триадна чорна (К)	714	21,0
Триадна блакитна (С)	510	15,0
Триадна пурпурна (М)	449	13,2
Триадна жовта (У)	367	10,8
Плашкові (пантонні) фарби	1361	40,0
Разом	3402	100

Окремо визначимо витрати фарби у розрізі типів задрукованих матеріалів. Для плівкових матеріалів використовуються переважно спиртові або УФ-фарби, для паперу та картону — водорозчинні. Витрати за типами фарб наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 — Розподіл витрат фарб за типами [21]

Тип фарби	Матеріал	Частка продукції, %	Витрати, кг/рік
Спиртові	БОПП, ПЕТ, ПЕ	85	2892
Водорозчинні	Папір, картон	10	340
УФ-фарби	Етикетки	5	170
Разом	—	100	3402

### 3.5. Розрахунок витрат субстратів

Витрати субстратів визначаються виходячи з річної програми дільниці та коефіцієнта відходів, що враховує технологічно неминучі втрати матеріалу при заправці рулону, приладці, різанні та бракованій продукції.

Загальна потреба в субстратах з урахуванням відходів [21]:

$$Q_{\text{субстр}} = Q_{\text{річн}} \times K_{\text{в}} = 900\,000 \times 1,05 = 945\,000 \text{ м}^2$$

де  $K_{\text{в}}$  — коефіцієнт відходів матеріалу (1,05), що відповідає 5% технологічних відходів.

Визначимо потребу в субстратах у розрізі видів матеріалів відповідно до асортиментної структури продукції дільниці (таблиця 3.2).

Для кожного виду матеріалу потреба визначається за формулою [21] :

$$Q_i = Q_{\text{річн}} \times d_i \times K_{\text{в}}$$

де  $d_i$  — частка  $i$ -го виду матеріалу в загальному обсязі продукції.

1. Плівка БОПП:  $Q_{\text{бопп}} = 900\,000 \times 0,45 \times 1,05 = 425\,250 \text{ м}^2$
2. Плівка ПЕТ:  $Q_{\text{пет}} = 900\,000 \times 0,25 \times 1,05 = 236\,250 \text{ м}^2$
3. Плівка ПЕ:  $Q_{\text{пе}} = 900\,000 \times 0,15 \times 1,05 = 141\,750 \text{ м}^2$
4. Папір та картон:  $Q_{\text{пап}} = 900\,000 \times 0,10 \times 1,05 = 94\,500 \text{ м}^2$
5. Самоклеїні матеріали:  $Q_{\text{ет}} = 900\,000 \times 0,05 \times 1,05 = 47\,250 \text{ м}^2$

Для зручності планування закупівель визначимо також масу субстратів. Питома маса матеріалів прийнята: БОПП — 20 г/м<sup>2</sup>, ПЕТ — 36 г/м<sup>2</sup>, ПЕ — 40 г/м<sup>2</sup>, папір/картон — 80 г/м<sup>2</sup>, самоклеїні матеріали — 90 г/м<sup>2</sup>.

Маса кожного виду субстрату:

1.  $M_{\text{бопп}} = 425\,250 \times 20 / 1\,000\,000 = 8505 \text{ кг}$
2.  $M_{\text{пет}} = 236\,250 \times 36 / 1\,000\,000 = 8505 \text{ кг}$
3.  $M_{\text{пе}} = 141\,750 \times 40 / 1\,000\,000 = 5670 \text{ кг}$
4.  $M_{\text{пап}} = 94\,500 \times 80 / 1\,000\,000 = 7560 \text{ кг}$

$$5. M_{\text{ст}} = 47\,250 \times 90 / 1\,000\,000 = 4253 \text{ кг}$$

Результати розрахунку витрат субстратів зведено до таблиці 3.7 [21].

Таблиця 3.7 — Річні витрати субстратів [21]

Вид субстрату	Частка, %	Потреба, м <sup>2</sup> /рік	Питома маса, г/м <sup>2</sup>	Маса, кг/рік
Плівка БОПП	45	425 250	20	8 505
Плівка ПЕТ	25	236 250	36	8 505
Плівка ПЕ	15	141 750	40	5 670
Папір та картон	10	94 500	80	7 560
Самоклейні матеріали	5	47 250	90	4 253
Разом	100	945 000	—	34 493

Зведена таблиця річних витрат усіх основних матеріалів дільниці наведена у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 — Зведена таблиця річних витрат матеріалів [21]

Матеріал	Одиниця виміру	Річна потреба
Субстрати загалом	м <sup>2</sup>	945 000
Субстрати загалом	кг	34 493
Флексографічні фарби загалом	кг	3 402
у т.ч. спиртові	кг	2 892
у т.ч. водорозчинні	кг	340
у т.ч. УФ-фарби	кг	170

### 3.6. Висновок до розділу 3

На основі визначених вихідних даних встановлено, що дільниця працює у двозмінному режимі при п'ятиденному робочому тижні з тривалістю зміни 8 годин. Як основне технологічне обладнання прийнята планетарна флексографічна машина з вісьмома друкарськими секціями та робочою шириною друку 1000 мм, що є оптимальним рішенням для асортименту продукції дільниці, який включає значну частку гнучких плівкових матеріалів. Коефіцієнт використання обладнання прийнятий рівним 0,75, що реалістично відображає умови роботи дільниці з різноманітним асортиментом та регулярними переходами між замовленнями.

Розрахунок річного фонду робочого часу показав, що календарний фонд становить 8760 годин, номінальний — 4000 годин, а ефективний фонд з урахуванням планових простоїв на технічне обслуговування та ремонт — 3720 годин. Фактичний фонд продуктивної роботи машини з урахуванням коефіцієнта використання обладнання становить 2790 годин на рік. Різниця між номінальним та ефективним фондами обумовлена плановими простоями у розмірі 7% від номінального фонду, що є типовим показником для флексографічних машин планетарного типу з урахуванням регламентного обслуговування, заміни анілоксових валів та профілактичних робіт.

Розрахунок потужності дільниці та завантаження обладнання показав, що теоретична продуктивність прийнятої флексографічної машини при робочій швидкості 150 м/хв та ширині друку 1000 мм становить 9000 м<sup>2</sup>/год, що забезпечує максимальну річну потужність на рівні понад 25 млн м<sup>2</sup>/рік. Зіставлення цього показника із заданою річною програмою 900 000 м<sup>2</sup>/рік підтверджує, що для виконання виробничої програми дільниці повністю достатньо однієї флексографічної машини. Уточнений розрахунок коефіцієнта завантаження з урахуванням часу на приладку при переході між замовленнями — 1,5 години на кожне з 180 замовлень на рік — показав, що сумарний час роботи машини становить 370 годин на рік при ефективному фонді 3720 годин. Коефіцієнт завантаження обладнання становить 0,10, що свідчить про значний резерв виробничої потужності дільниці. Цей резерв є позитивним фактором з точки зору перспектив розвитку

підприємства — збільшення обсягу замовлень або розширення асортименту продукції не потребуватиме придбання додаткового основного обладнання.

Розрахунок витрат флексографічних фарб визначив річну потребу дільниці на рівні 3402 кг. З урахуванням асортиментної структури продукції та типового розподілу замовлень встановлено, що переважну частку витрат фарби складають спиртові фарби для задрукування плівкових матеріалів — 2892 кг, або 85% від загального обсягу. Водорозчинні фарби для паперу та картону становлять 340 кг (10%), УФ-фарби для самоклеючих етикеток — 170 кг (5%). У розрізі тріадних кольорів найбільшу частку займає чорна фарба — 714 кг на рік, що є характерним для пакувальної продукції з переважанням темних фонів та великою питомою вагою текстових елементів. Витрати плашкових пантонних фарб становлять 1361 кг на рік, що обумовлено поширеною практикою використання фірмових кольорів замовників при виготовленні брендкованої пакувальної продукції.

Розрахунок витрат субстратів встановив загальну річну потребу дільниці у задрукованих матеріалах на рівні 945 000 м<sup>2</sup>, що на 5% перевищує задану виробничу програму з урахуванням коефіцієнта технологічних відходів. У масовому виразі загальна потреба в субстратах становить близько 34,5 тонн на рік. Найбільшу частку за площею займає плівка БОПП — 425 250 м<sup>2</sup>/рік, що відповідає її домінуючому положенню в асортименті продукції дільниці.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЯ ТА БЕЗПЕКА

### 4.1. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів на ділянці

Шкідливі виробничі фактори (ШВФ) — це фактори виробничого середовища та трудового процесу, вплив яких за певних умов може призводити до зниження працездатності працівників, розвитку професійних захворювань або погіршення загального стану здоров'я. Межа між шкідливими та небезпечними факторами є умовною, оскільки за певної інтенсивності або тривалості дії шкідливий фактор може набувати ознак небезпечного.

Наприклад, підвищена вологість повітря зазвичай розглядається як несприятливий фактор, що може спричиняти захворювання органів дихання. Однак у поєднанні з дією електричного струму вона істотно підвищує ризик ураження електричним струмом, що переводить даний фактор у категорію небезпечних.

Згідно з загальноприйнятою класифікацією, шкідливі виробничі фактори поділяються на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні. До останньої групи відносять фактори, пов'язані з тяжкістю та напруженістю праці. Такий поділ є умовним, оскільки в реальних виробничих умовах працівник зазвичай зазнає комплексного впливу декількох факторів одночасно.

До основних фізичних факторів виробничого середовища належать підвищена або знижена температура, вологість повітря, шум, вібрація, електромагнітні поля, ультразвук, лазерне випромінювання, недостатнє або надмірне освітлення, а також запиленість повітря. Тривалий вплив зазначених факторів навіть за відносно невеликої інтенсивності може призводити до функціональних порушень організму, зниження уваги та працездатності.

Шум є одним із найбільш поширених виробничих факторів, характерних для поліграфічних та машинобудівних підприємств. Його тривалий вплив спричиняє функціональні зміни нервової системи, підвищення артеріального тиску, головні болі та поступове зниження слуху. Це, у свою чергу, збільшує ймовірність виробничого травматизму через зниження концентрації уваги працівників. Для зменшення

негативного впливу шуму застосовуються інженерні методи (звукоізоляція обладнання, використання шумопоглинальних матеріалів), а також засоби індивідуального захисту.

Вібрація також є суттєвим шкідливим фактором виробничого середовища. За способом впливу вона поділяється на загальну та локальну, а за напрямком — на вертикальну та горизонтальну. Тривалий вплив вібрації може викликати порушення функціонування опорно-рухової та нервової систем, а також судинні розлади. Для її зменшення застосовують вібропоглинальні покриття, амортизуючі основи обладнання та модернізацію технологічного устаткування.

Хімічні фактори включають різноманітні речовини, що потрапляють в організм через органи дихання, шкіру або шлунково-кишковий тракт. За характером дії вони поділяються на токсичні, подразнювальні та канцерогенні. Їхній вплив може проявлятися у вигляді гострих або хронічних отруєнь, подразнення слизових оболонок, а також розвитку онкологічних захворювань. Ступінь небезпеки залежить від концентрації речовини та тривалості контакту з нею.

Психофізіологічні фактори пов'язані з фізичним та нервово-емоційним навантаженням працівника. До факторів тяжкості праці належать статичні та динамічні навантаження, кількість однотипних рухів, маса вантажів, що піднімаються, та робоча поза. Напруженість праці визначається навантаженням на центральну нервову систему, органи чуття, рівнем монотонності операцій та емоційною напругою.

На промислових підприємствах також значний вплив мають пил та аерозолі, які можуть спричинити захворювання органів дихання. Особливо це актуально для машинобудівної, гірничодобувної та поліграфічної галузей. Сукупна дія кількох шкідливих факторів одночасно значно підсилює їх негативний вплив на організм людини.

З огляду на неможливість повного усунення шкідливих виробничих факторів у більшості технологічних процесів, основними напрямками забезпечення безпеки праці є зменшення їх інтенсивності, удосконалення технологій, автоматизація процесів, а також застосування засобів колективного та індивідуального захисту.

Ефективність заходів безпеки значною мірою залежить від дотримання інструктажів та правил охорони праці на підприємстві [22].

#### 4.2. Вимоги до приміщення дільниці (температура, освітленість, шум)

Забезпечення оптимальних умов праці на робочій дільниці є фундаментальним аспектом збереження здоров'я персоналу та підвищення загальної продуктивності виробничих чи дослідницьких процесів. Згідно з чинною нормативною базою України, основними чинниками, що формують стан виробничого середовища, є параметри мікроклімату, рівень освітленості та шумове навантаження.

Мікрокліматичні умови безпосередньо впливають на терморегуляцію організму працівника. Для робіт категорії легкого фізичного навантаження (категорія Іа, Іб), що притаманні науково-дослідним та офісним процесам, оптимальна температура повітря у робочій зоні в холодний період року повинна становити 22–25°C, а в теплий — не перевищувати 28°C.

Відносна вологість повітря має підтримуватися в межах 40–60% для запобігання пересиханню слизових оболонок та підтримки комфортного рівня гідратації. Швидкість руху повітря при цьому не повинна перевищувати 0,1 м/с, що виключає ризик виникнення протягів та локального переохолодження [23].

Світлове середовище відіграє ключову роль у зоровому сприйнятті та психоемоційному стані персоналу. Для приміщень, де виконується робота високої точності або робота з відеодисплейними терміналами, нормована освітленість на робочій поверхні становить не менше 300–500 лк при використанні системи комбінованого освітлення.

Важливою вимогою є забезпечення коефіцієнта пульсації освітленості на рівні не вище 10% та запобігання виникненню прямої і відбитої блискості, що досягається раціональним розміщенням світильників та використанням антиблікових покриттів.

Акустичний режим дільниці регламентується з метою недопущення розвитку професійної приглухуватості та зниження концентрації уваги. Для приміщень, призначених для розумової праці та управління процесами, гранично допустимий рівень шуму становить 50–60 дБА.

Перевищення цих показників потребує впровадження інженерно-технічних заходів: використання звукоізолюючих перегородок, демпфування віброуючих частин обладнання та встановлення шумопоглинальних стельових панелей [24].

#### 4.3. Пожежна безпека при роботі з легкозаймистими матеріалами

Забезпечення пожежної безпеки під час роботи з легкозаймистими (ЛЗР) та горючими рідинами (ГР) є критичною складовою загальної системи безпеки на ділянці. Високий ступінь пожежної небезпеки таких матеріалів обумовлений їхньою здатністю утворювати з повітрям вибухопожежонебезпечні суміші при низьких температурах, а також високою швидкістю розповсюдження полум'я у разі займання.

Організація технологічних процесів із використанням ЛЗР вимагає суворого дотримання регламентованих режимів зберігання та експлуатації. Основним превентивним заходом є герметизація обладнання та ємностей, що унеможлиблює випаровування горючих парів у робочу зону. Кількість легкозаймистих речовин на робочому місці не повинна перевищувати змінної потреби, а їх зберігання має здійснюватися у спеціальних металевих шафах або ящиках, що щільно закриваються та мають відповідне маркування [25].

Важливим аспектом є контроль за джерелами запалювання. У приміщеннях ділянці категорично забороняється використання відкритого вогню та нагрівальних приладів з відкритими спіралями. Електрообладнання, що використовується в зонах можливого накопичення парів ЛЗР, повинно мати вибухозахищене виконання (відповідно до класу зони), а всі металеві конструкції та апарати мають бути належним чином заземлені для запобігання накопиченню статичної електрики, яка часто стає причиною ініціювання вибуху.

Система пожежного захисту ділянці обов'язково включає первинні засоби пожежогасіння. Для ліквідації вогнищ займання ЛЗР найефективнішими є вуглекислотні або порошкові вогнегасники, а також використання піску чи азбестових ковдр для ізоляції зони горіння від кисню. Приміщення мають бути обладнані автоматичною пожежною сигналізацією та системами екстреної

вентиляції, що забезпечують інтенсивний повітрообмін у разі перевищення гранично допустимих концентрацій вибухонебезпечних парів. Персонал зобов'язаний пройти спеціальне навчання (пожежно-технічний мінімум) та чітко знати план евакуації та алгоритм дій при виникненні надзвичайної ситуації [26].

#### 4.4. Засоби індивідуального захисту персоналу дільниці

Основним елементом захисту є спеціальний одяг (халати, костюми), виготовлений із щільних антистатичних тканин, які забезпечують бар'єр між шкірою працівника та зовнішнім середовищем. При роботі з легкозаймистими матеріалами або хімічно активними речовинами матеріал одягу повинен мати відповідне захисне просочення. Для захисту органів зору від бризок реактивів, стружки або інтенсивного випромінювання застосовуються закриті захисні окуляри або щитки з полікарбонату, що мають високу ударостійкість та оптичну коректність.

Захист органів дихання реалізується шляхом використання респіраторів відповідного класу фільтрації (FFP1-FFP3) або протигазів, залежно від концентрації та дисперсності шкідливих речовин у повітрі робочої зони. Особлива увага приділяється захисту рук: вибір рукавичок (нітрилових, латексних, неопренових або посилених кевларових) базується на часі проникнення крізь них конкретних хімічних сполук та стійкості до механічних проколів. Для запобігання травмуванню ніг персонал забезпечується спецвзуттям з антиковзною підошвою та, за потреби, з металевим підноском.

Важливою умовою ефективності ЗІЗ є їх індивідуальний підбір за розміром, належний догляд та своєчасна заміна після закінчення терміну придатності або втрати захисних властивостей. Роботодавець зобов'язаний забезпечити безкоштовну видачу ЗІЗ, контроль за їх постійним використанням та організувати навчання персоналу правилам їх експлуатації, що є запорукою зниження рівня виробничого травматизму та запобігання розвитку професійних захворювань [27].

#### 4.5. Екологічна характеристика дільниці: відходи та їх утилізація

У процесі функціонування флексографічної дільниці утворюється комплекс відходів різного походження, що включає залишки полімерних та паперових субстратів, відпрацьовані друкарські фарби, допоміжні матеріали, а також відходи пакувальних і мийних засобів. Екологічний вплив таких виробництв визначається насамперед обсягами утворення відходів та рівнем їх утилізації або повторного використання.

Основну частку відходів становлять залишки субстратів, зокрема поліетиленових, поліпропіленових і поліестерових плівок. Такі матеріали є малодеградуєчими у природних умовах, що ускладнює їх природне розкладання та потребує організованої системи збору і вторинної переробки. У сучасних умовах частина полімерних відходів може бути повторно використана шляхом гранулювання та подальшого виробництва технічних матеріалів або вторинної упаковки.

Друкарські фарби, що застосовуються у флексографії, також формують значну групу відходів. Залежно від типу вони можуть містити органічні розчинники, пігменти та полімерні зв'язувальні компоненти. Найбільш екологічно небезпечними є залишки фарб на основі органічних розчинників через можливість виділення летких органічних сполук (VOC). Водночас використання водорозчинних та УФ-фарб знижує рівень негативного впливу на довкілля.

Допоміжні матеріали, такі як миючі розчини для очищення обладнання, також формують рідкі відходи, які потребують спеціальної нейтралізації або очищення перед скиданням. У промисловій практиці застосовуються системи замкненого водообігу та фільтрації, що дозволяє зменшити екологічне навантаження [28].

#### 4.6. Висновок до розділу 4

На дільниці флексографічного друку персонал зазнає комплексного впливу факторів різних груп — фізичних, хімічних та психофізіологічних. Фізичні фактори

представлені підвищеним рівнем шуму від роботи друкарської машини, вібрацією, а також несприятливими параметрами мікроклімату. Хімічні фактори обумовлені застосуванням флексографічних фарб на основі органічних розчинників, миючих засобів та інших хімічно активних речовин, що можуть потрапляти в організм через органи дихання або шкіру. Психофізіологічні фактори пов'язані з тривалою монотонною роботою, необхідністю підтримання уваги при контролі параметрів друку та фізичним навантаженням при роботі з рулонами матеріалів. Встановлено, що межа між шкідливими та небезпечними факторами є умовною — в умовах флексографічної дільниці їх поєднання може суттєво підсилювати негативний вплив на організм працівника.

Дотримання нормативних параметрів мікроклімату, освітленості та акустичного режиму є обов'язковою умовою безпечної та продуктивної роботи персоналу. Оптимальна температура повітря у робочій зоні має становити 22–25°C в холодний та не перевищувати 28°C в теплий період року, відносна вологість — 40–60%, швидкість руху повітря — не більше 0,1 м/с. Нормована освітленість на робочих поверхнях повинна становити не менше 300–500 лк при комбінованому освітленні. Гранично допустимий рівень шуму для дільниці не повинен перевищувати 80 дБА на постійних робочих місцях, що потребує застосування звукоізолюючих конструкцій та акустичних покриттів у приміщенні дільниці.

Флексографічна дільниця належить до виробництв підвищеної пожежної небезпеки через застосування легкозаймистих розчинників у складі фарб та миючих засобів. Основними заходами забезпечення пожежної безпеки є герметизація обладнання та ємностей для зберігання ЛЗР, контроль за джерелами запалювання, заземлення металевих конструкцій для запобігання накопиченню статичної електрики, оснащення приміщення автоматичною пожежною сигналізацією, вогнегасниками та системою аварійної вентиляції. Кількість легкозаймистих речовин на робочому місці не повинна перевищувати змінної потреби, а їх зберігання — здійснюватися виключно у спеціальних металевих шафах з маркуванням. Весь персонал дільниці зобов'язаний пройти пожежно-технічний мінімум та знати план евакуації.

Для персоналу дільниці флексографічного друку обов'язковим є застосування комплексу ЗІЗ: захисного спеціального одягу з антистатичних тканин, захисних окулярів або щитків із полікарбонату, респіраторів класу FFP2–FFP3 для захисту органів дихання від парів розчинників і пігментного пилу, хімічностійких рукавичок нітрилового або неопренового типу, а також спецвзуття з антиковзною підошвою. Ефективність засобів захисту забезпечується їх індивідуальним підбором, своєчасною заміною та систематичним контролем з боку роботодавця.

Екологічна характеристика дільниці показала, що основними видами відходів є залишки полімерних субстратів, відпрацьовані фарби та миючі розчини. Полімерні відходи плівкових матеріалів є малодegradуючими у природних умовах і потребують організованої системи роздільного збору та передачі на переробку шляхом гранулювання. Найбільш екологічно небезпечними є залишки фарб на основі органічних розчинників через виділення летких органічних сполук. Перехід на водорозчинні та УФ-фарби є головним технологічним заходом зниження екологічного навантаження дільниці. Рідкі відходи від промивки обладнання потребують нейтралізації або очищення перед скиданням, для чого застосовуються системи замкнутого водообігу та фільтрації.

## ВИСНОВОК

Аналіз галузі флексографічного друку підтвердив, що дана технологія є домінуючим способом виготовлення пакувальної продукції у світі. Технологія пройшла шлях від гумових кліше 1907 року до сучасних цифрових фотополімерних форм технології CtP з роздільною здатністю до 4000 ррі. Порівняльний аналіз методів друку — флексографічного, офсетного, глибокого та цифрового — підтвердив беззаперечні переваги флексографії у контексті пакувального виробництва: універсальність щодо задрукованих матеріалів, висока швидкість друку до 610 м/хв, висока тиражостійкість форм від 1 до 5 млн відбитків, можливість використання фарб, безпечних для контакту з харчовими продуктами, а також здатність інтегрувати весь технологічний цикл в одному агрегаті. Світовий ринок флексографічного друку оцінюється у понад 100 мільярдів доларів США і демонструє стабільне зростання з CAGR понад 2%.

У технологічній частині розроблено повний технологічний процес виготовлення пакувальної продукції. Дільниця орієнтована на випуск широкого асортименту продукції в рулонному форматі: гнучких плівкових матеріалів на основі БОПП, ПЕТ та ПЕ, самоклеєних етикеток, паперових та картонних пакувальних матеріалів, а також багатошарових ламінованих структур. Як основне обладнання обрано планетарну флексографічну машину з вісьмома друкарськими секціями та робочою шириною 1000 мм, що забезпечує точність приводки до  $\pm 0,05$  мм та є оптимальним рішенням для задруковування гнучких плівкових матеріалів. Обґрунтовано застосування фарб трьох типів: спиртових — для плівкових матеріалів, водорозчинних — для паперу та картону, УФ-фарб — для самоклеєних етикеток. Сучасний стандарт виготовлення друкарських форм — цифрові форми з масковим шаром за технологією LAMS — забезпечує відтворення понад 70% пантонних кольорів засобами тріадного друку та повністю усуває проблему нестабільності растрових точок. Серед методів ламінування найбільш перспективним визначено безрозчинникове ламінування завдяки екологічності та економічності.

У розрахунковій частині встановлено, що ефективний фонд робочого часу дільниці становить 3720 годин на рік, а фактичний фонд продуктивної роботи машини з урахуванням коефіцієнта використання обладнання — 2790 годин. Теоретична продуктивність обраної машини при робочій швидкості 150 м/хв та ширині друку 1000 мм становить 9000 м<sup>2</sup>/год, що забезпечує максимальну річну потужність на рівні понад 25 млн м<sup>2</sup>/рік. Для виконання річної виробничої програми 0,9 млн м<sup>2</sup>/рік повністю достатньо однієї флексографічної машини з уточненим коефіцієнтом завантаження 0,10, що свідчить про значний резерв виробничої потужності та можливість збільшення обсягів виробництва без додаткових капітальних вкладень. Річна потреба дільниці у флексографічних фарбах становить 3402 кг, з яких переважну частку складають спиртові фарби — 2892 кг. Загальна річна потреба в субстратах з урахуванням технологічних відходів становить 945 000 м<sup>2</sup>, або близько 34,5 тонн у масовому виразі. Найбільшу частку займає плівка БОПП — 425 250 м<sup>2</sup>/рік.

У розділі охорони праці встановлено, що персонал дільниці зазнає комплексного впливу фізичних, хімічних та психофізіологічних факторів. Розроблено заходи щодо забезпечення нормативних параметрів мікроклімату — температура 22–25°C, відносна вологість 40–60% — освітленості не менше 300–500 лк та акустичного режиму з рівнем шуму не вище 80 дБА. Визначено комплекс засобів індивідуального захисту персоналу, що включає захисний одяг з антистатичних тканин, респіратори класу FFP2–FFP3, хімічностійкі рукавички та захисні окуляри. З огляду на застосування легкозаймистих матеріалів розроблено заходи пожежної безпеки: герметизація обладнання, заземлення металевих конструкцій, оснащення приміщення автоматичною сигналізацією та вогнегасниками. Перехід на водорозчинні та УФ-фарби визначено як головний технологічний захід зниження екологічного навантаження дільниці.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Флексографія : підручник. Київ : Либідь, 1998. 44 с.
2. Гордєєв А. С. - Основні види друку. Виготовлення друкарських форм: наукова робота. Харків, ПНС ХНЕУ ім. С. Кузнеця. 8 с.
3. Goodwillpack. Що таке флексографічний друк. URL: <https://goodwillpack.com.ua/blog-uk/shho-take-fleksografichnij-druk/> (дата звернення: 03.05.2025)
4. Губін Р. І. Розробка методики вибору флексографічних форм для друкування на невбираючих матеріалах : кваліфікаційна робота магістра / Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2021. 16–17 с.
5. Типи флексографських друкованих машин. URL: <https://jak.bono.odessa.ua/articles/tipi-fleksografskih-drukovanih-mashin.php> (дата звернення: 05.05.2025).
6. Drukarstvo.com. Флексографічна друкарська машина. URL: <http://drukarstvo.com/fleksografichna-drukarska/> (дата звернення: 05.05.2025).
7. Флексоdruk: технологія і переваги. URL: <https://koribum.com/fleksodruk-tekhnohohiia-i-perevahy-73/> (дата звернення: 05.05.2025).
8. Флексоdruk: 5 головних переваг. URL: <https://verias.ub.ua/analitic/26457-fleksodruk-5-golovnih-perevag.html> (дата звернення: 05.05.2025).
9. Сеньківський В. М., Кохан В. Ф., Мельников О. В., Назаренко О. М., Лазаренко О. В. Фактори прогнозування якості флексографічного друку. Львів : Українська академія друкарства, 2019. 4 с.
10. Авдяков Є. В. Підприємство з виготовлення гнучкого пакування та етикетки з дослідженням колірних та друкарсько-технічних характеристик складників технологічного процесу : магістерська дисертація / Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського». Київ, 2022. 27–28 с.

11. Губін Р. І. Розробка методики вибору флексографічних форм для друкування на невбираючих матеріалах : кваліфікаційна робота магістра / Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2021. 32 с.
12. Flexographic Technical Association. Flexography: Principles and Practices. 6th ed. New York : Foundation of Flexographic Technical Association, 2013. 64 p.
13. Ковальчук І. М. Технології флексографічного друку : конспект лекцій. Львів : Львівський національний університет імені Івана Франка, 2021. 82 с.
14. Поленок Д. В. Дослідження фарбопереносу анілоксових валів на флексографічному підприємстві «Наргус» : кваліфікаційна робота магістра / Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2022. 30-31 с.
15. Кукура Т. Ю. Удосконалення технологічного процесу флексографічного друку гнучких паковань : дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії / Нац. ун-т «Львівська політехніка». Львів, 2025. 30-34 с.
16. Поленок Д. В. Дослідження особливостей кольоровідтворення на підприємстві ТОВ «Наргус» : кваліфікаційна робота бакалавра / Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2021. 40–47 с.
17. Грабовський Є. М. Методика вибору обладнання флексографічного друку для виготовлення етикеточної продукції. Системи обробки інформації. 2017. № 2 (148). С. 216–222.
18. Черкашина Н. Г. Дослідження та розробка методики оцінки якості гнучкого пакування : атестаційна робота магістра / Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2020. 36–40 с.
19. Савченко С. М., Кухарук А. Д., Редько К. Ю. Організація виробництва : практикум. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 15-19 с.
20. Круш П. В. та ін. Організація виробництва : навч. посіб. 2-ге вид. Київ : Каравела, 2023. 52-59 с.
21. Методичні вказівки до виконання курсової роботи “Організація і планування виробничої ділянки” з дисципліни “Організація і планування виробництва” для студентів спеціальності “Менеджмент організацій” / Уклад. В. В. Кавецький, В. О. Козловський. — 3-тє вид., перероб. і доп. — Вінниця: ВНТУ, 2009. — 8, 9, 18

22. Класифікація небезпечних і шкідливих виробничих факторів // Охорона праці та пожежна безпека. – URL: <https://oppb.com.ua/articles/klasyfikaciya-nebezpechnyh-i-shkidlyvyh-vyrobnychyh-faktoriv> (дата звернення: 08.05.2026).
23. Основи охорони праці: Підручник / За ред. В. В. Березуцького. – Харків: Факт, 2018. – 450 с. ДБН В.2.5-28:2018.
24. Гігієна праці: Методи дослідження та санітарно-гігієнічна оцінка факторів виробничого середовища / За ред. С. Т. Омельчука. – Вінниця: Нова Книга, 2020.
25. Правила пожежної безпеки в Україні: Затверджено наказом МВС України № 1417 від 30.12.2014.
26. Пожежна безпека: навч. посіб. / О. В. Кулаков, В. В. Росоха. – Харків: НТУ «ХП», 2019. – 41 с.
27. НПАОП 0.00-7.17-18. Мінімальні вимоги безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці: Затверджено наказом Мінсоцполітики України № 1804 від 29.11.2018.
28. Екологічні аспекти сучасних технологій оздоблення друкованої продукції // Технологія і техніка друкарства. – 2023. – Вип. 3(81). – URL: <https://ttdruk.vpi.kpi.ua/article/view/287042> (дата звернення: 08.05.2026).