

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Навчально-науковий видавничо-поліграфічний інститут

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра машин та агрегатів поліграфічного виробництва

(повна назва кафедри)

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Андрій ІВАНКО _____

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2025 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою

«Комп'ютеризовані поліграфічні системи»

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: Удосконалення провідних механізмів флексографських друкарських машин.

Виконав: студент II курсу, групи ВМ-41мп
(шифр групи)

_____ Панасюк Владислав Вікторович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник _____ Доцент, к.т.н., доцент Кохановський В.О. _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____ Професор каф. ТПВ д.т.н., професор Киричок П.О. _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант з розробки

стартап проекту _____ Доцент, к.т.н., доцент Макатьора Д.А. _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Навчально-науковий видавничо-поліграфічний інститут

Кафедра машин та агрегатів поліграфічного виробництва

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані поліграфічні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Микола ЗЕНКІН

« » 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту Панасюку Владиславу Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Удосконалення провідних механізмів флексографських друкарських машин», науковий керівник дисертації Кохановський Василь Олександрович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «31»жовтня 2025 р. № 4719-с.
2. Термін подання студентом дисертації 15 грудня 2025 року.
3. Об'єкт дослідження: система вирівнювання полотна та механізми проведення матеріалу флексодрукарських машин.
4. Вихідні дані: механізми проведення матеріалу флексодрукарських машин та методики їх проектування.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: огляд літературних та інформаційних джерел, аналіз провідних механізмів флексодрукарських машин, розглянути та порівняти методи удосконалення роботи системи вирівнювання полотна.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: структурні схеми побудови механізмів проведення. Кінематичні схеми механізмів подачі матеріалу.

7. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розділ з розробки стартап проєкту	Доц., к.т.н., доцент Макатьора Дмитро Анатолійович		

8. Дата видачі завдання 02.09.2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних та інформаційних джерел за темою дисертації	02.09.2025-30.09.2025	виконано
2	Аналіз руху рулонного матеріалу під час роботи флексодрукарської машини	01.10.2025-29.10.2025	виконано
3	Дослідження основних параметрів механізмів вирівнювання полотна	30.10.2025- 20.11.2025	виконано
4	Стартап проєкт	21.11.2025-05.12.2025	виконано
5	Оформлення магістерської дисертації	06.12.2025-15.12.2025	виконано

Студент

Владислав ПАНАСЮК

Науковий керівник

Василь КОХАНОВСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Панасюк Владислав Вікторович. Удосконалення провідних механізмів флексографських друкарських машин. НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» НН ВПІ, кафедра МАПВ, 2025 ПЗ містить 103 сторінки комп'ютерного складання, 31 рисунок 13 таблиць, 31 літературних джерел.

Метою дослідження є розробка та обґрунтування технічних рішень щодо вдосконалення системи вирівнювання полотна флексографської друкарської машини для забезпечення стабільної якості друку. Об'єкт дослідження – механізми проведення рулонного матеріалу через технологічні вузли флексографської друкарської машини. Предмет дослідження – процеси проведення полотна та регулювання натягу стрічки в динамічних режимах роботи. Методи дослідження – аналіз, моделювання, синтез. Аналітичні розрахунки характеристик механізму проведення рулонного матеріалу друкарської машини.

У ході виконання роботи було отримано наступні *результати*: проведено комплексний аналіз сучасних конструкцій флексографічних машин та визначено вплив точності проведення полотна на якість суміщення фарб. На основі реологічної моделі Пойнтінга-Томсона розроблено математичну модель стрічкопровідної системи, яка враховує інерційні навантаження матеріалу.

Запропоновано модернізований вузол вирівнювання полотна, у якому за рахунок оптимізації опорних елементів мінімізовано тертя та підвищено плавність осьового переміщення валу. Це дозволило забезпечити стабільність регістру на високих швидкостях друку та підвищити експлуатаційну надійність обладнання. Виконано інженерні розрахунки вузлів на міцність та довговічність.

Ключові слова: флексографська друкарська машина, провідний механізм, плаваючий валик, процеси натягу, математична модель, рулонний матеріал

ABSTRACT

Vladyslav Viktorovych Panasiuk. Improvement of transferring mechanisms for flexographic printing machines. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Faculty of Printing and Polygraphy, Department of MAPV, 2025 The thesis contains 103 pages of computer typesetting, 31 figures, 13 tables, and 31 references.

The purpose of the study is to develop and justify technical solutions for improving the web alignment system of a flexographic printing machine to ensure stable print quality. The object of the study is the mechanisms for feeding roll material through the technological units of a flexographic printing machine. The subject of the study is the processes of web feeding and tension control in dynamic operating modes. Research methods: analysis, modeling, synthesis. Analytical calculations of the characteristics of the printing machine's roll material feeding mechanism.

The following results were obtained in the course of the work: a comprehensive analysis of modern flexographic machine designs was carried out and the influence of web guiding accuracy on ink registration quality was determined. Based on the Poynting-Thomson rheological model, a mathematical model of the ribbon guiding system was developed, which takes into account the inertial loads of the material.

A modernized web alignment unit was proposed and designed, in which friction was minimized and the smoothness of the shaft's axial movement was increased by optimizing the support elements. This made it possible to ensure register stability at high printing speeds and increase the operational reliability of the equipment. Engineering calculations of the units for strength and durability were performed.

Keywords: flexographic printing machine, drive mechanism, floating roller, tension processes, mathematical model, roll material

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ТА СТРУКТУРНИХ СХЕМ ПОБУДОВИ ФЛЕКСОГРАФІЧНИХ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН	9
1.1 Технологія флексографічного друку	9
1.2 Огляд побудови сучасних флексографічних друкарських машинах	27
1.3 Шляхи удосконалення провідних механізмів флексографських друкарських машин.....	37
Висновки за розділом 1.....	39
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ СТРІЧКОПРОВІДНОЇ СИСТЕМИ	41
2.1 Система вирівнювання полотна	41
2.2 Огляд патентів систем вирівнювання полотна.....	55
2.3 Моделювання вузла.....	58
РОЗДІЛ 3 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ВИРІВНЮВАННЯ ПОЛОТНА ФЛЕКСОДРУКАРСЬКОЇ МАШИНИ.....	75
3.1 Проектний розрахунок	75
3.2 Удосконалення плаваючого валу стрічкопровідної системи.....	80
3.3 Порівняльна характеристика проєктованого вузла.....	87
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ.....	89
4.1. Інформаційна карта проекту	89
4.2 Опис ідеї проекту	93
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	95
4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	98

Висновки до розділу 4	99
ВИСНОВКИ.....	100
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	101

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний ринок пакування та етикетки висуває високі вимоги до якості друку, швидкості виконання замовлень та мінімізації відходів матеріалу. Флексографічний друк займає лідируючі позиції в цьому сегменті завдяки своїй універсальності та високій продуктивності. Однак, із підвищенням швидкостей друку до 18 м/с і вище, важливого значення набуває стабільність проведення задруковуючого матеріалу (плівок, паперу, фольги) у стрічкопровідному тракті. Порухи натягу, осьові зміщення полотна, поява зморшок або неприводка фарб є наслідками недосконалості систем керування рухом стрічки. Особливо гостро ця проблема постає при роботі з тонкими та еластичними полімерними матеріалами. Тому розробка та вдосконалення систем проведення, вирівнювання полотна та стабілізації натягу на основі математичних моделей є актуальним науково-технічним завданням, що дозволяє підвищити конкурентоспроможність вітчизняного поліграфічного виробництва.

Метою роботи є розробка та обґрунтування технічних рішень щодо вдосконалення системи вирівнювання полотна флексографічної друкарської машини для забезпечення стабільної якості друку та зниження технологічних відходів.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено такі завдання:

- 1) Огляд сучасний стан машин і технології флексодруку, визначення конструктивних особливостей стрічкопровідних систем.
- 2) Проведення пошуку та аналізу існуючих систем вирівнювання полотна.
- 3) Розробити математичну модель вузла стрічкоживильної системи, що враховує динаміку рулону, властивості матеріалу та роботу плаваючого валика.
- 4) Здійснити проектний розрахунок вузла вирівнювання та стабілізації натягу.

5) Провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень у межах стартап-проєкту.

Об'єкт дослідження – механізми проведення рулонного матеріалу через технологічні вузли флексографської друкарської машини..

Предмет дослідження – процеси проведення полотна та регулювання натягу стрічки в динамічних режимах роботи.

Методи дослідження включають аналіз науково-технічної літератури, методи теорії автоматичного керування для моделювання динамічних процесів, математичне моделювання з використанням реологічних моделей середовища (модель Пойнтінга-Томсона), а також інженерні методи розрахунку деталей машин.

Інформаційна база дослідження охоплює наукові праці вітчизняних та закордонних вчених у галузі поліграфічного машинобудування, технічну документацію на флексографічні друкарські машини, патентні бази даних (USPTO, Espacenet), а також стандарти галузі.

Структура та обсяг. Магістерська дисертація складається зі вступу, 4-х розділів, висновків до кожного з них, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи, разом із додатками, становить 104 аркуші, вона містить 32 рисунка, 13 таблиць та 30 джерел у списку літератури.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ТА СТРУКТУРНИХ СХЕМ ПОБУДОВИ ФЛЕКСОГРАФІЧНИХ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН

1.1 Технологія флексографічного друку

За визначенням флексографічний друк – це спосіб високого прямого ротаційного друку з еластичних (гнучких гумових, фотополімерних) рельєфних друкарських форм, які можуть кріпитися на формових циліндрах різних розмірів [1]. За допомогою валика або растрового циліндра, що взаємодіє з ракелем, вони покриваються рідкою або пастоподібною швидковисихаючою (водорозчинною, на летких розчинниках) фарбою і переносять її на друкарський матеріал будь-якого виду, включаючи і невсмоктувальні матеріали.

Флексографічний друк пройшов шлях від маловідомого методу, який раніше називався аніліновим друком, до однієї з найбільш популярних технологій. Сьогодні, завдяки стрімкому зростанню та вдосконаленню, флексографія активно конкурує і розвивається паралельно з цифровим друком [2].

Розвиток флексографічної технології нерозривно пов'язаний із прогресом у машинобудуванні, виробництві формних пластин та вдосконаленні додрукарських процесів. Таке широке визнання цього різновиду високого друку пояснюється насамперед тим, що вона практично не має обмежень по типу задрукованного матеріалу: це може бути як тонка плівка, так і досить грубий гафрокартон, не кажучи вже про різні види паперу. Унікальна еластичність друкарської форми також дає їй змогу функціонувати як декель, уможливлючи друк без приправлення. Крім того, низький друкарський тиск не лише підвищує довговічність форм, але й суттєво зменшує складність, вагу та енергоспоживання друкарського обладнання. Ця універсальність дозволяє флексографії задруковувати широкий спектр матеріалів, включаючи ті, що є чутливими до деформації.

На рисунку 1.1 показаний технологічний процес флексографічного друку.

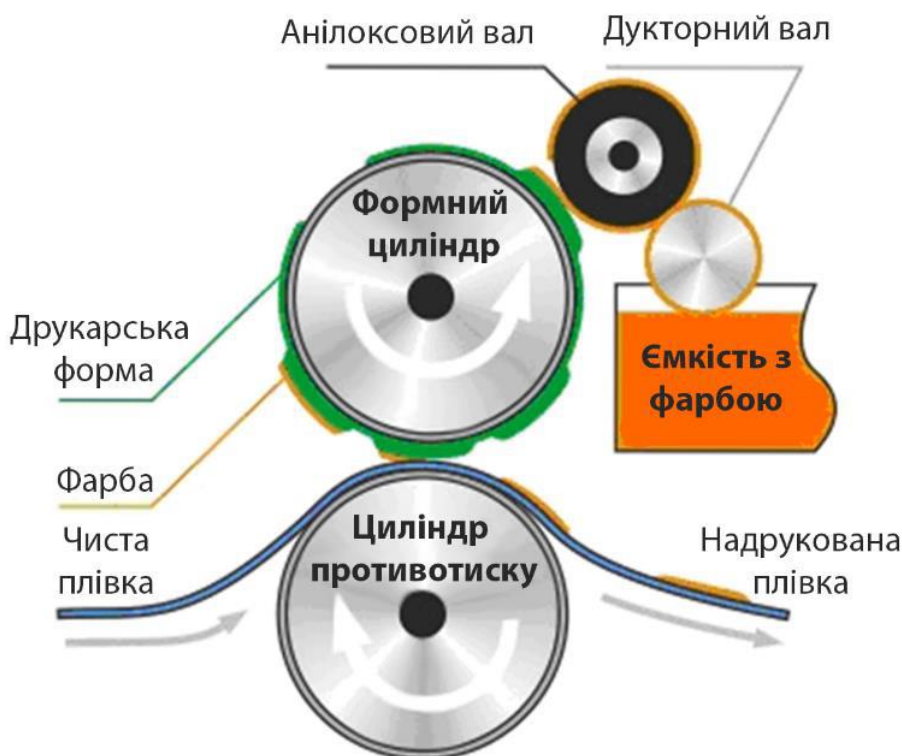


Рисунок 1.1 – Технологічний процес флексографічного друку [3]

Фарбовий апарат флексографської друкарської машини складається з трьох валиків. Дукторний вал, 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. Такий 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.

Технологія флексодруку відрізняється низькими витратами, простотою, і високою продуктивністю, цей спосіб друку дозволяє забезпечити високу якість відбитків на різноманітних матеріалах.

Особливості та переваги флексографічного друку є [5]:

- друк на всмоктуючих і невсмоктуючих матеріалах;
- друк на зворотному боці прозорих тягнучих 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 друкарськими 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;
- на гладкому матеріалі з покриттям може відтворювати растри з лініатурою 175 lpi і вище;
- 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 флюоресцентних 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 сфери застосування флексографічного друку:

1. Гнучка упаковка:

- упаковка для снєків, цукерок, заморожених продуктів, кави, спецій;
- друк на поліетилені, поліпропілені, поліестерових плівках, фользі та ламінаті;
- виготовлення міцних та бар'єрних пакетів для рідких та сипучих продуктів.

2. Етикеткова продукція:

- самоклеючі етикетки для напоїв, косметики, фармацевтики);
- термоусадочні етикетки на спеціальних плівках, які приймають форму продукту після нагрівання.
- вплавлені етикетки, що інтегруються в стінку пластикової тари під час її формування;
- квитки та бірки на паперових та синтетичних матеріалах.

2. Картонна та гофрокартонна упаковка

- друк логотипів, маркування та інструкцій на гофроящиках на транспортній упаковці;
- друк на складному картоні (для круп, мийних засобів, побутової хімії).

3. Видання та поліграфія:

- друк на рулонному папері для бланків, зошитів, книг та газет (хоча тут також використовують офсетний друк);
- друк візерунків та зображень на шпалерах, обгортковому папері та фользі;
- друк на паперових стаканчиках, серветках, паперових рушниках та пакувальному папері.

- нанесення елементів захисту (невидимих УФ-фарб) на документи та цінні папери.

На формування градаційних характеристик у флексографському друкарському процесі впливає цілий ряд факторів:

- параметри друкарської форми (тип матеріалу, товщина, жорсткість);
- кріплення друкарських форм на формні вали друкарської машини за допомогою двосторонньої липкої демпфуючої стрічки додатково усереднює тиск в друкарській парі;
- характеристики друкарського процесу (тиск, швидкість, температура сушильного пристрою);
- характеристики анілоксового вала (передана кількість фарби);
- фізико-хімічні та технологічні властивості друкарських фарб;
- тип і властивості процесу задруковування матеріалу (адгезійно-когезійна взаємодія з друкарською фарбою, активація поверхні для полімерних плівок, коронація поверхні тощо) [5].

Проте, якість кінцевої флексографічної продукції в більшій мірі безпосередньо визначається підготовкою до друку, тобто особливостями додрукарської підготовки та правильним вибором фотополімерної форми.

Однією з основних проблем флексографічного виробництва є оптимальний вибір необхідних параметрів обладнання для друку продукції.

1.2 Класифікація флексографічних друкарських машин

Сучасні флексографічні друкарські машини можна умовно класифікувати за багатьма ознаками.

1. За технологією друку машини підрозділяють на рулонні і аркушеві. Переважно використовують рулонні машини, але обмежене застосування мають і аркушеві.

2. За конструктивними ознаками машини бувають планетарної побудови, в яких навколо одного друкарського циліндра розміщують декілька друкарських апаратів, і секційної побудови, в яких секції розташовані одна за одною.

3. За форматами друку розрізняють (стосовно рулонних моделей) широкоформатні та вузькоформатні машини. Проміжне місце займають середньоформатні машини.

4. За видами друку, окрім суто флексографічних, все частіше використовують гібридні машини, в які інтегровані також друкарські апарати для інших способів друку.

5. За видами задруковуючих поверхонь існують машини для друку на різних основах – папері, картоні, гофрованому картоні, плівках, металі і інших матеріалах, а також універсальні.

6. За комплексністю процесів – разом з друкарськими машинами можуть бути також комплексні виробничі лінії, в які інтегровані післядрукарські процеси.

7. За рівнем технологічних можливостей усі машини можна умовно розподілити на машини початкового, середнього і високого рівнів [6].

Машини початкового рівня характеризуються невеликими розмірами, зазвичай мають 1 – 3 секції і ширину рулону до 180 мм. Вони призначені для друку нескладних робіт (наприклад, чеків для касових апаратів, скотч-стрічок, тощо).

Машини середнього рівня орієнтовані на випуск повнокольорової (4 – 5 фарб) етикетки або упаковки і мають широку номенклатуру додаткових опцій.

Машини високого рівня, окрім цього, мають високий рівень автоматизації і забезпечені пристосуваннями, що підвищують ефективність роботи.

У всіх флексографічних друкарських машинах друкарські секції є найважливішою складовою і визначають тип машини, а інші складові можуть бути однаковими або подібними між собою у машин різних типів.

1. Ярусна секція.

Ярусна секція є частиною секційної ярусної машини. Завдяки простоті побудови і можливостям широкого варіювання вона має дуже поширене застосування. Станина секції робиться з чавуну або сталі, і на ній з однієї або двох сторін монтують окремі друкарські секції. Відомі такі варіанти побудови секцій, коли з одного боку розташовують один над іншим до п'яти окремих друкарських апаратів, і такі варіанти, коли з обох боків встановлено по 3 або 4 окремі апарати. У загальному випадку, така друкарська секція може містити від одного до восьми окремих друкарських апаратів. У триярусній секції може бути встановлено, залежно від необхідності, до шести друкарських апаратів, а як виняток (у 4 яруси) – до восьми (рис. 1.2).

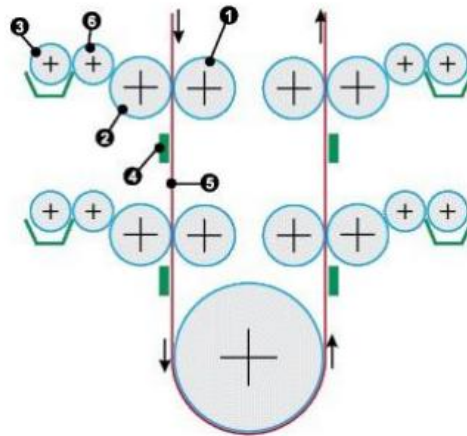


Рисунок 1.2 – Схема друкарської машини ярусного типу:

- 1 – друкарський циліндр; 2 – формний циліндр; 3 – дукторний вал;
4 – сушильний пристрій; 5 – друкарський матеріал; 6 – растровий вал.

Як правило, 8-колірний друк при цьому не робиться, оскільки в роботі знаходиться тільки частина друкарських апаратів, тоді як інші апарати готуються до друкування наступного накладу. Станина секції складається з центральної частини і консолей. Центральна частина станини має бути жорсткою і точно виготовленою, оскільки на ній встановлюються усі друкарські циліндри, які слугують опорою для стрічки під час друку, і тому їх осі мають бути строго паралельні між собою, а обертання – строго

синхронним. На центральній частині станини розташовують, крім того, найголовніші елементи приводу, у тому числі зубчасті колеса для приводів друкарських циліндрів та інших елементів друкарських секцій, а також всілякі додаткові пристрої.

Консольні стінки, на яких встановлюють формові циліндри і друкарські апарати, можуть бути відлиті у згоді з основною центральною частиною станини або пригвинченими до неї. До них також висувають вимоги високої точності і жорсткості.

Зазвичай на формний циліндр фарба накочується растровим циліндром, а на нього фарба подається дукторним валом, частково зануреним у корито, – така система вважається трициліндровою (формний циліндр + два елементи друкарського апарата).

Останнім часом у рулонних флексографічних машинах застосовують друкарські апарати, в яких растровий циліндр не лише накочує фарбу на форму, але і виводить її з друкарського корита, а ракель видаляє надлишок фарби з поверхні циліндра (двоциліндрова система – формний циліндр + растровий циліндр). Конструкція формових циліндрів і друкарських апаратів визначається вимогами замовника. Усе залежить від типу друкарських матеріалів, від характеру друкарських зображень і вимог до якості відбитків. Зазвичай ширина друкарських матеріалів у машинах цього типу (нових моделей) лежить у межах від 800 до 1 600 мм. Майже всі машини є машинами змінного формату; це означає, що довжина відбитків у них може бути різною. Оскільки довжина відбитку визначається діаметром формового циліндра, останні робляться змінними. Область розмірів діаметрів формових циліндрів у різних машинах різна. У малих машинах вона встановлюється від 88 до 250 мм, у середніх – від 350 до 1 000 або навіть до 1 600 мм, у великоформатних – від 500 до 2 600 мм і більше. Слід зауважити, що флексографічні машини секційної ярусної побудови мають велику гнучкість в області формату [7, 8].

Проведення друкарського матеріалу зазвичай здійснюється зверху вниз, і потім – по іншій стороні – знову вгору, але можна застосувати і напрям від

низу до верху і знову вниз. Тут важливо правильно встановити пристрої, що тягнуть, і врахувати особливості задруковуваного матеріалу.

Великою перевагою машин секційної ярусної побудови є можливість друкування на стрічці з обох боків в одній секції за один прогін. Шляхом порівняно простої зміни напрямку проведення стрічки і зміни напрямку обертання циліндрів групи друкарських апаратів можна друкувати як лицьову, так і зворотну сторону стрічки. У цьому випадку треба мати додаткові сушильні пристрої та охолоджувальні циліндри, щоб отримати хороше закріплення усіх відбитків. Зазвичай після кожної друкарської секції мають бути встановлені пристрої для обдування стрічки теплим повітрям і відсмоктування пари розчинників, щоб закріпити фарбу на поверхні матеріалу. Оскільки зазвичай стрічка проходить від однієї друкарської секції до іншої вільно, спираючись лише на один-два валика, що направляють, то під дією потоків повітря виникають невеликі коливання стрічки, які, за наявності звичайних проміжків у приводних зубчастих зачепленнях, призводять до порушень подовжнього приведення між відбитками окремих фарб.

За умови сучасного рівня техніки в ярусних секціях не можна отримати точність подовжнього приведення вище $\pm 0,2$ мм. Якщо є необхідність у більш високій точності друку, то слід використати планетарні секції.

2. Планетарна друкарська секція.

Планетарні друкарські секції існують на ринку в меншій кількості варіантів, ніж ярусні. Станина для планетарної секції має бути дуже жорсткою. Оскільки на ній встановлюються загальний друкарський циліндр великого діаметру і приводне зубчасте колесо такого ж діаметру, і вони повинні мати можливість обертатися з високою мірою плавності, без коливань. Навколо друкарського циліндра у вигляді сателітів встановлюються 4 або 6 формових циліндрів з друкарськими апаратами. Найчастіше зустрічаються 6-друкарські секції, в яких можна отримувати багатобарвні півтонові зображення найвищої якості (рис. 1.3).

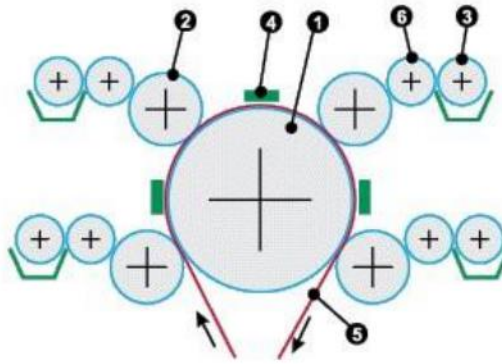


Рисунок 1.3 – Схема друкарської машини планетарного типу:

- 1 – друкарський циліндр; 2 – формний циліндр; 3 – дукторний вал;
4 – сушильний пристрій; 5 – друкарський матеріал; 6 – растровий вал.

Сучасний ринок зазвичай пропонує друкарські циліндри трьох розмірів. У малих друкарських машинах діаметр друкарського циліндра близько 800 мм. Стандартні 4- або 6-друкарські машини мають друкарські циліндри діаметром близько 1 500 – 1 800 мм, а діаметр циліндра у великих 6-друкарських – і в окремих випадках 4-друкарських машинах – досягає 2 000 мм, а іноді трохи більше.

Діаметр друкарського циліндра в нових 8-друкарських машинах деякі виготівники роблять від 2 000 мм до 2 300 мм, а іноді і більше. Не варто робити циліндри ще більших діаметрів, оскільки при цьому збільшується ширина зони друкарського контакту між друкарським і формовим циліндрами, надмірно зростає сила сумарного тиску між ними. Основні труднощі під час використання циліндрів великого діаметра – висока вартість їх точного виготовлення й істотна зміна їх діаметра за умови зміни температури. Дійсно, за умови одного і того ж коефіцієнта теплового розширення металу приріст діаметра циліндра тим більший, чим більший його діаметр. Це призводить до зміни тиску друку, що відомим чином позначається на якості друку. Власне збільшення ж ширини смуги контакту не має вирішального негативного значення, а крім того, воно спричиняє і позитивний ефект – збільшення часу друкарського контакту.

Ширина друкарського матеріалу в сучасних планетарних секціях складає від 300 до 2 500 мм. Довжина одного відбитку в звичайних машинах для друкування пакувальної продукції не перевищує 1 000 мм, 46 але в спеціальних машинах для друкування на папері і гофрокартоні вона може бути рівною 1 600 мм і навіть 2 000 мм. При цьому треба, проте, дуже точно розраховувати значення тиску між друкарським і формовим циліндрами. У планетарних секціях також можна застосовувати друкарські апарати різних типів; слід зазначити, що останнім часом найчастіше використовується друкарський апарат з одним растровим циліндром і пристроєм ракеля, що дозволяє домагатися дуже точного подання фарби й отримувати стабільно відбитки високої якості.

Гарантією точності подовжнього приведення фарб і внаслідок цієї хорошої якості багатобарвних відбитків є наявність загального друкарського циліндра, який є серцевиною планетарної секції. У найбільш досконалих сучасних моделей радіальне биття не перевищує 0,005 мм, а шорсткість поверхні – 0,002 мм. Дуже важливо підтримувати постійну температуру циліндра, що досягається облаштуванням водяного охолодження, оскільки інакше – особливо через підігрівання повітрям, що подається для сушки відбитків, – можливі деформації циліндра, друкування одного накладу, що змінюються впродовж часу. Унаслідок цього тиск у зонах друкарського контакту стає змінним і погіршується якість друку. Неодмінною умовою хорошої роботи є дбайливе ставлення до друкарського циліндра.

У тому місці, де стрічка друкарського матеріалу (яку від рулонної установки веде стабілізатор її натягнення) підходить до друкарського циліндра планетарної секції, встановлюється обгумований валик, що притискає стрічку до поверхні друкарського циліндра, і далі стрічка щільно охоплює циліндр. Стрічка проводиться через 4, 6 або 8 зон друкарського контакту і тільки після цього відводиться від друкарського циліндра. При цьому матеріал, що навіть розтягується, не витягується між зонами друкарського контакту, і не відбувається порушень подовжнього приведення. У машинах нової

конструкції зубчасті колеса, встановлені на валах формових циліндрів, зачіпляються безпосередньо з великим зубчастим колесом, що встановленим на валу друкарського циліндра і має діаметр, що відповідає розміру циліндра. Тому сумарні проміжки в зубчастих передачах мінімальні. Таким чином, у планетарній секції створюються близькі до ідеальних умови для отримання високої якості друку. Планетарна друкарська секція може слугувати найкращою основою для універсальних флексографічних друкарських машин, що випускають продукцію високої якості.

3. Друкарська секція в лінійній секційній машині.

Поодинокі секції для флексиграфії нехарактерні, можна зарахувати її для цього способу друку як спеціальну. Секція, що є окремим друкарським апаратом, будується так само, як секція глибокого друку, тобто на одній станині монтують друкарський і формний циліндри з друкарським апаратом, що тягне, і сушильний пристрій, охолоджувальний циліндр, реєстровий валик і комплект валиків (рис. 1.4).

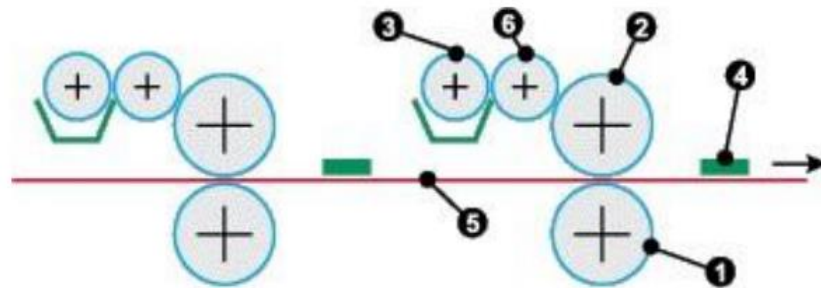


Рисунок 1.4 – Схема друкарської машини секційного типу:]

- 1 – друкарський циліндр; 2 – формний циліндр; 3 – дукторний вал;
4 – сушильний пристрій; 5 – друкарський матеріал; 6 – растровий вал

Такі секції встановлюють в машині послідовно одна за одною. Зазвичай їх кількість у машині – від п'яти до восьми, тобто за один прогін можна отримати 5- або 8-фарбовий відбиток. У кожній секції є механізм приводу. Між собою приводи сусідніх секцій пов'язані карданными валами і муфтами.

Формний циліндр встановлений в опорах станини стабільно і пов'язаний за допомогою механічних або гідравлічних пристроїв з приводом усієї друкарської секції. Зміна формових циліндрів – особливо в машинах для друкування на стрічках великої ширини – здійснюється за допомогою спеціальних візків.

Облаштування друкарських апаратів може бути різним. У деяких моделях встановлюють растровий циліндр і обгумований дукторний вал, в інших – тільки растровий циліндр і ракель. У сучасних швидкохідних машинах, що працюють на швидкостях приблизно 10 – 12 м/с, за умови ширини друкарського матеріалу більше 1 400 мм зазвичай встановлюють растровий циліндр із зворотним ракелем (зворотний ракель – ракель, встановлений під негативним кутом), цим досягається 48 рівномірне подання фарби. У друкарських апаратах дукторного типу можливе швидке регулювання подання фарби шляхом зміни тиску між дукторним валиком і растровим (анілоксовим) валом без заміни останнього. Включення і виключення тиску в друкарській парі й у друкарському апараті робиться механічним пристроєм, а в найбільш швидкохідних машинах – гідравлічним пристроєм. Стрічка друкарського матеріалу під час входу в секцію огинає направляючий валик пристрою, і потім притискається до друкарського циліндра. Після друку стрічка потрапляє в закриту одним або двома кожухами сушильну камеру, і, нарешті, стрічка огинає охолоджувальний циліндр, направляючі валики і реєстровий валик, після чого рухається в подальші друкарські секції, поки не дійде до рулонного приймального пристрою. Завдяки великій довжині проведення стрічки в сушильному пристрої – у високопродуктивних машинах ця довжина досягає 4 м – подібні друкарські секції можна застосовувати в тих випадках, коли треба працювати з великою швидкістю і наносити на відбиток шари фарби великої товщини під час накладення окремих фарб одна на одну. Ця перевага цього типу побудови машин перед ярусним і планетарним. Точність автоматичного подовжнього приведення фарб між секціями складає $\pm 0,2$ мм; регулюється приведення, як у

рулонних машинах глибокого друку, за допомогою реєстрових механізмів і електронних облаштувань управління, необхідних за наявності сушильних пристроїв на міжсекційних ділянках і великих швидкостях друку. Для цього в кожній друкарській секції, за винятком першої, встановлюють оптичний датчик, який порівнює положення віддрукованих в окремих секціях міток і подає сигнал серводвигуну реєстрового валика у разі виникнення відхилення приведення. Тоді довжина проводки стрічки між двома друкарськими секціями збільшується або зменшується, і відбувається корекція відхилення подовжного приведення.

Флексографічні друкарські машини можуть містити не тільки флексографічні друкарські апарати, але і бути комбінованими з апаратами флексографічного, трафаретного, офсетного і високого друку. Зазвичай комбінованими є вузькорулонні друкарські машини. Найчастіше зустрічаються флексографічні шестикольорові машини, але тенденція йде до збільшення секцій.

Відмінна риса друкарських машин з вбудовуваними друкарськими секціями – постійність габаритних розмірів. Під час експлуатації можна докуповувати і вбудовувати додаткові друкарські секції. У машинах агрегатної побудови окремі друкарські секції групуються в дві конструкції баштового (ярусного) типу, від одного до чотирьох друкарських апаратів на кожній стороні вертикальної станини. Ярусні машини використовують, як правило, для нерозтяжних матеріалів. Швидкість друку в них досягає до 400 м/хв, ширина матеріалу складає від 600 до 2 500 мм. Серцевина машин з планетарною побудовою друкарського апарата – загальний друкарський циліндр, радіальна точність якого має бути дуже велика, а його температура – строго постійною під час виробництва всього тиражу [10].

Застосовують такі машини для друкування як на плівках, фользі, так і на багатошарових матеріалах і папері, якщо потрібна вища точність приведення (суміщення) фарб на відтиску. Найбільші машини виготовляють з діаметром друкарського циліндра більше 2 000 мм для друкування на матеріалі

шириною до 2 500 мм. Швидкість друку на таких машинах – до 250 м/хв. У секційних друкарських машинах з горизонтальним лінійним розташуванням друкарських секцій друкується тільки одна фарба. Друкарські секції розташовані на одному рівні, одна за іншою послідовно, і пов'язані між собою карданним валом або іншим подібним силовим механізмом. Ці машини найчастіше призначені для виробництва великих тиражів на високій швидкості, яка досягає до 150 м/хв.

У комбінованих лінійних секційних машинах і агрегатах деякі з друкарських секцій можна переобладнати з флексографічного способу друку на спосіб глибокого друку. На основі цього виходить комбінований агрегат. Рационалізаторські ідеї, використання принципу агрегування і господарські передумови привели до появи безлічі варіантів комбінованих секційних друкарсько-обробних агрегатів.

Важлива перевага флексографічного устаткування – закінченість виробничого циклу. На відміну від аркушевих офсетних машин у флексографії можливий не тільки друк, але й оброблення: тиснення, бігування, висікання, перфорація, подовжнє і поперечне розрізання і т. ін. Машина може друкувати на широкому асортименті рулонних матеріалів, висікати конфігурації етикеток, просікати отвори, нумерувати, витискати гарячим і холодним способами, ламінувати, лакувати і виконувати безліч інших обробних робіт – і все це в одному технологічному циклі, що набагато економічніше порівняно з офсетом.

В таблиці 1.1 проведене порівняння флексографічних друкарських машини за різними критеріями, включаючи особливості конструкції та ключові технічні характеристики.

Таблиця 1.1 – Порівняння флексографічних друкарських машин за різними критеріями [11]

Види друкарських машин	Марки машин	Особливості конструкції	Переваги	Технічні характеристики
1	2	3	4	5
Залежно від конструкції				
Машини секційної (лінійної) побудови	Soma, Bobst F&K, Comco	Друкарські секції розташовані послідовно в горизонтальній лінії. Кожен колір має свій окремий друкарський циліндр і опорний циліндр.	Добра доступність для обслуговування; відносно проста конструкція. Використовуються для друку на плівці, папері, етикетці.	Ротаційне висікання: до 250 м/хв. Плоске висікання: до 100 циклів/хв. Ширина рулону: 400-600 мм (вузькорулонні). Довжина рапорту: 177,8-609,6 мм.
Машини планетарної (CI, Central Impression) побудови	Windmüller & Hölscher (W&H), Fischer & Krecke (F&K), Uteco	Всі друкарські секції розташовані навколо одного великого центрального друкарського циліндра.	Висока точність приводки (реєстрації) кольорів, особливо на розтяжних плівках. Високі швидкості друку (до 600 м/хв).	Ротаційне висікання: до 600 м/хв (якщо інтегровано). Плоске висікання: не характерно. Ширина рулону: 800-2500 мм (широкоформатні). Довжина рапорту: 300–1250 мм.
Машини з вбудованими (ярусними/стековими) секціями	Nilpeter, Gallus (вузькорулонні)	Секції розташовані одна над іншою (у 2-3 яруси). Кожна секція має свій окремий опорний циліндр.	Компактність, можливість друку на обох сторонах матеріалу (за наявності пристроїв перевероту). Часто використовуються для вузькорулонного друку.	Ротаційне висікання: до 200 м/хв. Плоске висікання: не характерно. Ширина рулону: 250-650 мм. Довжина рапорту: 254-812,8 мм.

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5
Залежно від ширини рулону задрукованого матеріалу				
Широкоформатні машини	W&H NOVOFLEX, Bobst F&K	Ширина рулону зазвичай понад 800 мм (до 2,5 м).	Висока продуктивність, орієнтовані на гнучку упаковку, поліетиленові пакети та промисловий друк.	Ширина рулону/друку: 800-2500 мм. Товщина матеріалу: 12-300 мкм (плівки, гнучка упаковка). Прохід паперу: 300–1250 мм.
Вузькорулонні машини	Mark Andy, Gallus	Ширина рулону до 500– 600 мм (часто 250–430 мм).	Орієнтовані на виробництво самоклеючих етикеток, мають інтегровані модулі пост-обробки (висікання, лакування, тиснення).	Ширина рулону/друку: 250–550 мм. Товщина матеріалу: 20–450 мкм (етикетки, картон).
Залежно від виду задрукованого матеріалу				
Машини для друку на гофрокартоні	Bobst, Fosber	Секційна побудова, великі друкарські секції, висока товщина матеріалу.	Призначені для друку на товстому, часто нерівному матеріалі. Низькі швидкості порівняно з плівковим друком.	Продуктивність: до 120 м/хв (для прямого друку). Товщина матеріалу: 1500–10000 мкм (гофрокартон). Довжина рапорту: до 2000 мм.
Газетні флексографічні друкарські машини	TKS, Goss	Використовуються для друку газетної продукції.	Висока швидкість друку на тонкому газетному папері, використання водних фарб.	Продуктивність: до 400 м/хв. Ширина рулону: 800–1600 мм. Прохід паперу: залежить від формату газети.

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5
Універсальні друкарські машини	Mark Andy Evolution (із можливістю модульної зміни секцій)	Можуть легко переналаштовуватися під різні типи матеріалів (папір, плівка, картон) та різну пост-обробку.	Широкий діапазон довжин рапорту та можливість інтеграції різних технологій (трафарет, гаряче тиснення).	Продуктивність: до 230 м/хв. Товщина матеріалу: 20–600 мкм. Формат друку, макс.: 430 мм × 609,6 мм.
Залежно від розташування друкарських секцій				
Горизонтальні лінійні машини	Аналогічні секційній побудові	Секції розташовані в один ряд по горизонталі.	Забезпечують легкий доступ та контроль друку.	Ротаційне висікання: до 250 м/хв. Плоске висікання: до 100 циклів/хв. Ширина рулону: 400-600 мм (типовий вузький/середній формат). Ширина друку: 380-580 мм. Товщина матеріалу: 20-450 мкм (папір, картон, щільні плівки). Довжина рапорту: 177,8-609,6 мм.
Вертикальні лінійні (ярусні) машини	Аналогічні машинам з вбудованими секціями	Секції розташовані вертикально (одна над іншою) у кілька ярусів.	Економія виробничої площі, зручні для двостороннього друку.	Ротаційне висікання: до 200 м/хв. Плоске висікання: не характерно. Ширина рулону: 250-650 мм. Ширина друку: 240-630 мм. Товщина матеріалу: 15-400 мкм (плівки, етикетка). Довжина рапорту: 254-812,8 мм.

1.2 Огляд побудови сучасних флексографічних друкарських машинах

Машина ЕМВА-244 (рис. 1.5) призначена для багатоетапної обробки аркушів гофрокартону (ГК), включаючи флексодрук, висікання, рилювання, фальцювання та фінальне склеювання.



Рисунок 1.5 – Машина ЕМВА-244.

Друкування здійснюється на лицьовій поверхні аркуша. Подача матеріалу починається в самонакладі, де аркуші ГК позиціонуються відповідно до їхнього формату та товщини. Штовхачі самонакладу переміщують нижній аркуш до приймальних роликів (з еластичним покриттям), які забезпечують первинний захват. Подальше транспортування аркуша через друкарські модулі виконується за допомогою стрічкового транспортера, оснащеного вакуумними фіксуючими елементами. Фальцювання при цьому реалізовано на окремому транспортері з рухом матеріалу зверху вниз.

Ключовою вимогою є точна синхронізація лінійної швидкості полотна із швидкістю поверхні формного циліндра. Друкарські секції є стаціонарними, з фіксованим кроком 700 мм. Для подачі фарби застосовується закрыта камер-ракельна система. Для підвищення продуктивності машина може бути доповнена обладнанням для автоматизованого фінального оброблення (підрахунок, формування та обв'язування пачок, пакування), а також додатковим модулем

висікання. Слід зазначити, що нерухомість секцій ускладнює оперативне переналагодження машини на нові замовлення.

Схема аркушевої флексографічної машини ЕМВА-244 наведена на рисунку 1.6.

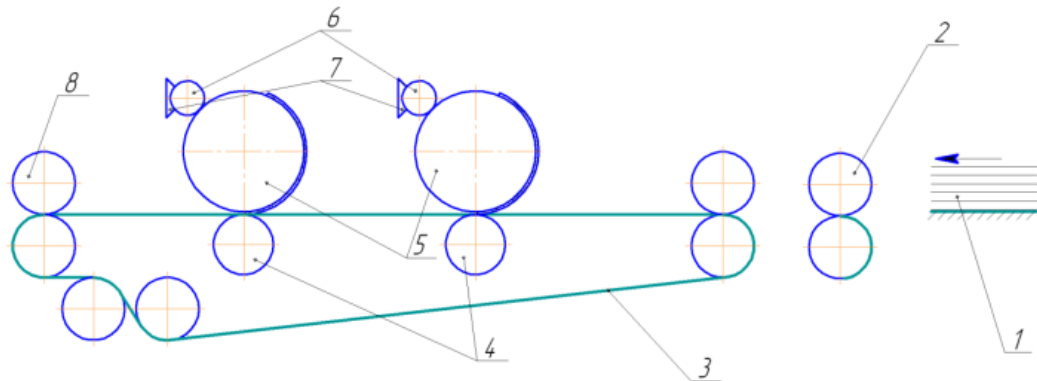


Рисунок 1.6 – Схема аркушевої флексографічної машини ЕМВА-244:

- 1 – самонаклад, 2 – приймальні ролики, 3 – стрічковий вакуумний транспортер;
4 – ДЦ, 5 – ФЦ; 6 – АВ; 7 – камер-ракельна система;
8 – пристрій регулювання присосами по всій його довжині.

Машина ФДР-1200/6 (рис. 1.7) призначена для друку флексографічних способом на плівці, фользі та ламінатах по принципу з рулона на рулон. Друкарська секція має планетарну побудову.



Рисунок 1.7 – Модель машини ФДР-1200/6 «Київфлекс» [29].

Основними складовими частинами машини є:

- друкарська секція в складі друкарських апаратів, друкарського циліндра, між апаратних сушарок, системи забезпечення друкарського тиску;
- секція розмотки з системою регулювання натягу і бокового рівняння;
- секція намотки з системою регулювання натягу і бокового рівняння;
- привод машини для роботи секцій і транспортування матеріалу між секціями;
- система тунельної сушки;
- системи гідравліки і забезпечення подачі стислого повітря;
- система силової електрики і електроніки;
- система керування і діагностики.

Технологічна схема машини представлена на рисунку 1.8.

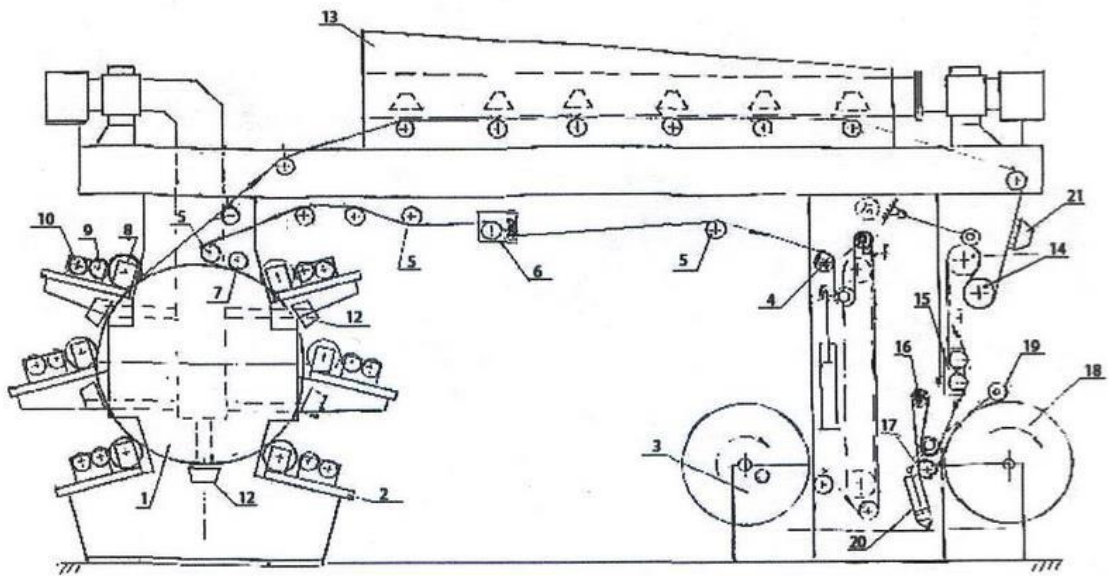


Рисунок 1.8 – Технологічна схема машини ФДР 1200/6.

Навколо центрального циліндра 1 розміщені по планетарній схемі шість друкарських апаратів 2. Полотно матеріалу, яке подається з секції розмотки 3, щільно притискується обгумованим подаючим валиком 7 до центрального циліндра і проводиться через всі друкарські апарати зі швидкістю друкарського циліндра в зоні друку. Всі друкарські апарати мають однакову технологічну схему – формний циліндр 8 та фарбовий апарат в складі:

анілоксового валу 9 і ракельної камери 10. В ракельній камері циркулює фарба, яка переноситься на растрову поверхню анілоксового валу.

При контакті формного та анілоксового циліндрів фарба переноситься на флексографічну рельєфну форму, яка змонтована на поверхні формного циліндра. Передача зображення на матеріал виконується в положенні натиску, при якому матеріал контактує з формою. Проводка полотна виконується по схемі з рулону на рулон. Рулон встановлюється на шпindelь обладнання розмотки.

Полотно послідовно пропускається: через вали пристрою натягу 4, направляючі валики системи транспортування полотна 5, корегуючі вали пристрою бокового вирівнювання краю полотна 6 та проводиться між подаючим валом і друкарським циліндром, потім між друкарським циліндром і формними циліндрами кожного з друкарських апаратів. Між друкарськими апаратами установлені сопла сушки 12, які включаються при друку на матеріалі з непоглинаючою поверхнею.

Після проходження останнього фарбового апарату полотно транспортується через направляючі валики в тунель системи сушки 13, проходить через охолоджуючі циліндри 14, валики бокового вирівнювання 15, тензометричний вал – 16 і намотується на шпindelь намотки 18. Притискний валик 19 притискає матеріал до рулону пневмо-циліндрами 20. В зоні охолоджуючих роликів встановлюється камера відео контролю 21.

Машина має наступні технічні характеристики:

- максимальна швидкість друку – 200м/хв;
- кількість фарбових апаратів – 6;
- максимальна ширина друку – 1170 мм;
- довжина друку – 300-570 мм;
- шаг зміни довжини друку – 10 мм;
- максимальний діаметр рулону – 1000 мм;
- товщина плівки – 0,05 – 0,3 мм;
- не суміщення для одинарного полотна – 0,2 мм

- не суміщення для рукава – 0,3 мм
- загальна потужність – 60 кВт.

Машина ТПФ-850 (рис. 1.9) призначена для одноколірного флексографічного друку на аркушах плоского або гофрованого картону.



Рисунок 1.9 – Машина ТПФ-850 [30].

Друкарська форма кріпиться до формного циліндра за допомогою двосторонньої монтажної стрічки. Необхідний тиск для передачі фарби на заготівлю створюється за рахунок підпружиненого друкарського валу. Фарбовий апарат (рис. 3.10) є спрощеним, складається з анілоксого валу та дукторного валу, зануреного у ванну з флексографічною фарбою на водній основі. Машина відрізняється простою конструкцією та обслуговуванням, має ручну подачу заготовок, але її транспортуюча система дозволяє послідовно та багаторазово подавати один аркуш ГК для створення багатофарбових відбитків. При цьому заявлена точність друку становить до 1,5 мм.

Аналіз системи подачі матеріалу у флексографічних друкарських машинах

На рис. 1.10 наведена структурна схема компонентів флексографічних аркушевих друкарських машин.

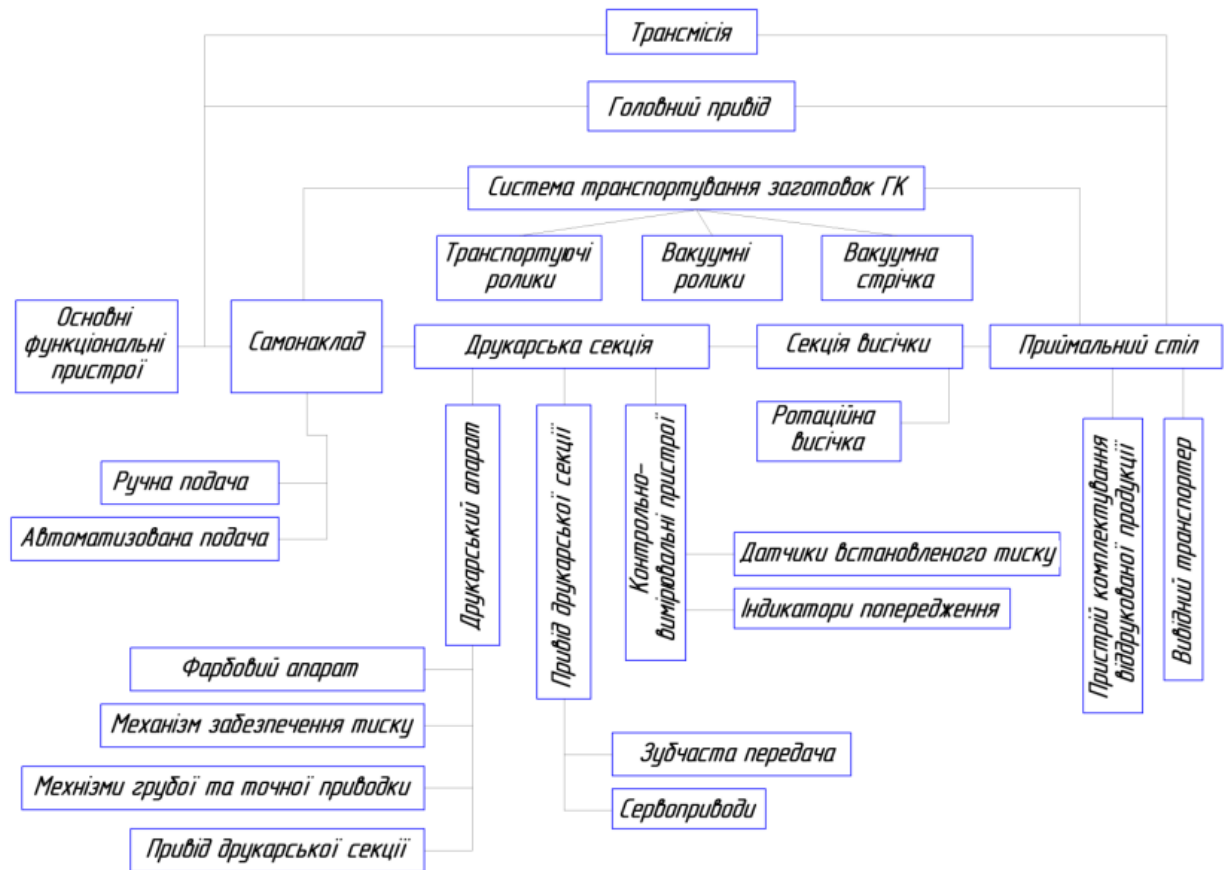


Рисунок 1.10 – Структурна схема флексографічних аркушевих друкарських машин [12].

До основних складових частин флексографічних аркушевих друкарських машин входять:

- самонаклад або при ручній подачі – накладний стіл;
- пристрій подачі заготовок в друкарський апарат, який має валики подачі і упори передньої кромки аркуша;
- друкарський апарат, який містить формний та друкарський циліндри, фарбову систему;
- механізм включення тиску;

- система транспортування заготовки;
- привід виконавчих механізмів і вузлів;
- система створення вакууму та стисненого повітря, що необхідні для ряду технологічних процесів.

На рис. 1.11 наведена схема факторів впливу складових конструкції друкарського апарату на якість продукції.

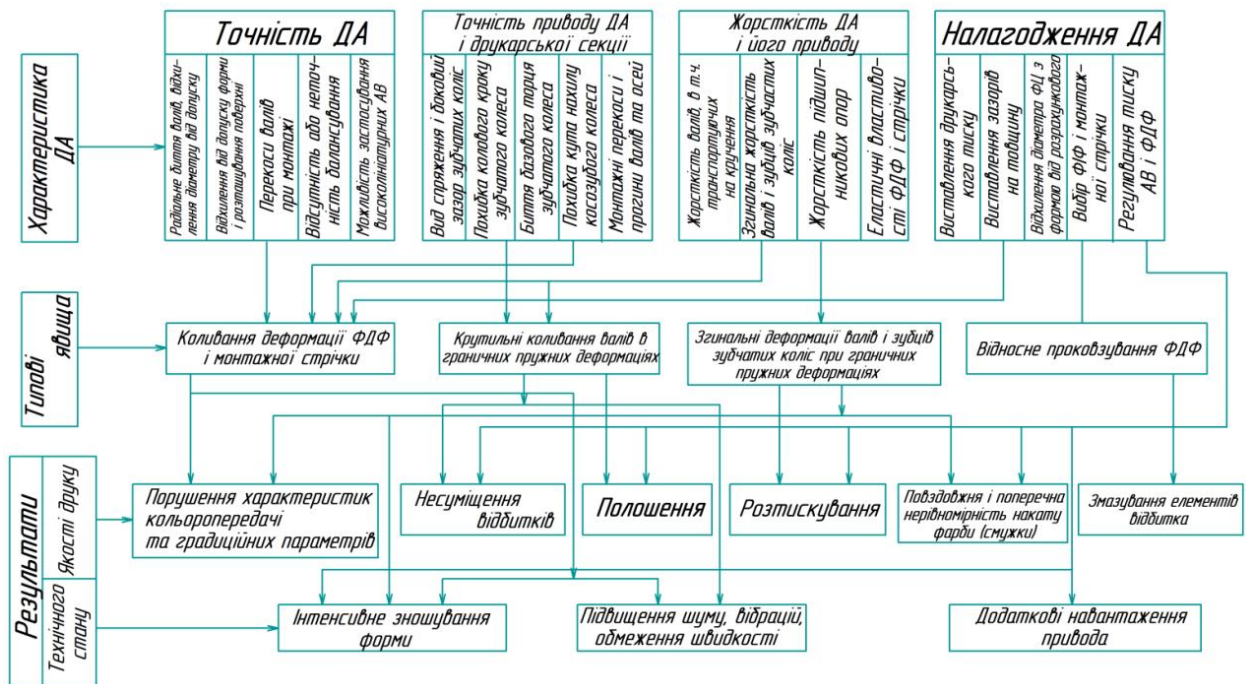


Рисунок 1.11 – Фактори впливу складових конструкції друкарського апарату на якість продукції [13]

Належне функціонування флексодрукарської машини значною мірою визначається роботою пристроїв для розмотування рулонів, приймачів рулонів та іншого допоміжного обладнання. Ці установки можна класифікувати на два основні типи: стаціонарні та поворотні з механізмом для автоматичного склеювання стрічок, що рухаються в машині.

Механізми регулювання натягу стрічки призначені для підтримання постійної та контрольованої сили натягу рулонного матеріалу (стрічки) на всіх етапах його проходження через машину від розмотувального до намотувального вузла.

Основні вимоги до механізмів регулювання натягу стрічки під час намотування включають забезпечення прямолінійності торців рулону та рівномірної щільності намотування, зберігаючи точність суміщення фарб у друкарській машині. Це гарантує якісну обробку задрукованого рулонного матеріалу. Механізм регулювання натягу повинен швидко і точно реагувати на зміни швидкості друкарської машини та компенсувати зміни діаметра рулону під час намотування.

У разі застосування пристроїв автоматичного склеювання, механізм повинен забезпечувати склеювання полотна на високій швидкості.

Характеристики приводу приймально-вивідного рулонного пристрою включають: лінійну швидкість полотна, натяг на старті намотування, ширину стрічки, співвідношення діаметра готового рулону до діаметра втулки, а також ККД пристрою з урахуванням втрат на тертя та опір повітря.

Намотування рулонів може відбуватися з постійним або змінним натягом:

- постійний натяг: сила натягу залишається незмінною протягом усього процесу, забезпечуючи рівномірну щільність рулону.

- змінний натяг (конічний): натяг поступово зменшується (характеризується коефіцієнтом зміни натягу), причому зовнішній виток намотується з меншою силою, ніж внутрішній. Цей метод дозволяє досягти специфічних характеристик рулону, необхідних для подальшої обробки; більшість матеріалів краще намотується саме у змінному режимі.

Незалежно від обраного режиму, натяг стрічки обов'язково контролюється датчиком.

1. Контроль постійного натягу (через положення): зазвичай використовується плаваючий валик, який, зміщуючись від заданого положення, генерує команди для приводу рулонного приймання. Привід відповідно регулює швидкість обертання рулону, щоб повернути валик у початкову позицію.

2. Контроль змінного натягу (електронні методи):

- електронний регулятор з жорсткою схемою, він приймає два сигнали від головного приводу: один – пропорційний лінійній швидкості стрічки (від

тахогенератора), інший – пропорційний її прискоренню (від схеми регулювання привода). Регулятор змінює потужність привода (часто використовуючи двигун постійного струму та муфту на вихрових струмах), і натяг автоматично зменшується в міру збільшення діаметра рулону.

– схема з динамометричним датчиком: подібна до схеми з плаваючим валиком, але замість валика використовується тензометричний пристрій. Сигнал датчика, який пропорційний напруженню деформації згину тензометричного елемента, прямо пропорційний фактичному натягу стрічки.

Пристрої для подачі аркушів автоматизують процес відділення паперу зі стопи та його точне транспортування до друкарської секції. Ключова вимога до цих систем – неушкодженість поверхні та країв аркушів. Для забезпечення точності подачі необхідне вирівнювання матеріалу за допомогою передніх і бічних упорів, а також контроль швидкості аркуша. Оскільки для багатокольорового друку аркуші проходять через машину багаторазово, точність їхньої подачі дуже важлива для якості фінального відбитка.

Головна вимога до аркушеживильної системи – гарантувати точне проходження аркушів до друкарських захоплень.

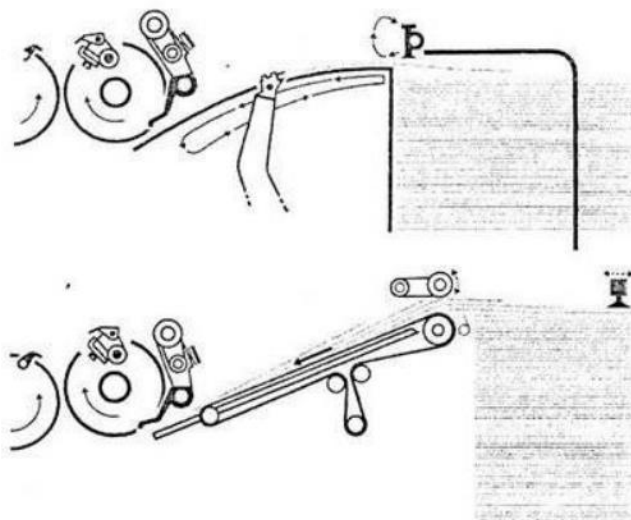


Рисунок 1.12 – Схеми подачі аркушів у друкарській машині [20]

Аркушеживильна система складається з ключових вузлів: самонакладу, механізмів вирівнювання та прискорення аркушів, а також контрольно-

блокувальних пристроїв. Деякі машини можуть бути додатково обладнані рулонними та різальними механізмами для роботи з різними вихідними форматами матеріалів.

Самонаклади поділяються за кількома основними критеріями:

- тип стопи: плоскостапельні чи круглостапельні;
- розташування стопи: горизонтальне чи вертикальне;
- спосіб подавання: послідовний чи ступеневий.

Також класифікація проводиться за методом встановлення в машині та способом відокремлення аркушів.

Найбільш розповсюдженими є пневматичні самонаклади, які розміщують стос горизонтально та відокремлюють верхній аркуш за допомогою присосів.

– низькопродуктивні машини (малий формат): відокремлюють аркуші за передній край і подають їх послідовно з інтервалом. У цьому випадку присоси не торкаються наступного аркуша, доки попередній повністю не пройде зону захвату;

– високошвидкісні машини: працюють зі ступеневим подаванням (аркуші перекриваються) та відокремлюють аркуші за задній край.

Система подачі листового матеріалу флексографської машини складається з наступних вузлів: накладний пристрій, який включає накладний стіл з боковим упором, подаючі ролики та механізми рівняння, які керуються за допомогою кулачково-коромислового механізму, механізм подачі заготовок до друкарської секції та транспортуючі ролики, які транспортують заготовку в машині і виводять її на приймальний стіл.

Кінематична схема механізму подачі наведена на рисунку 1.13.

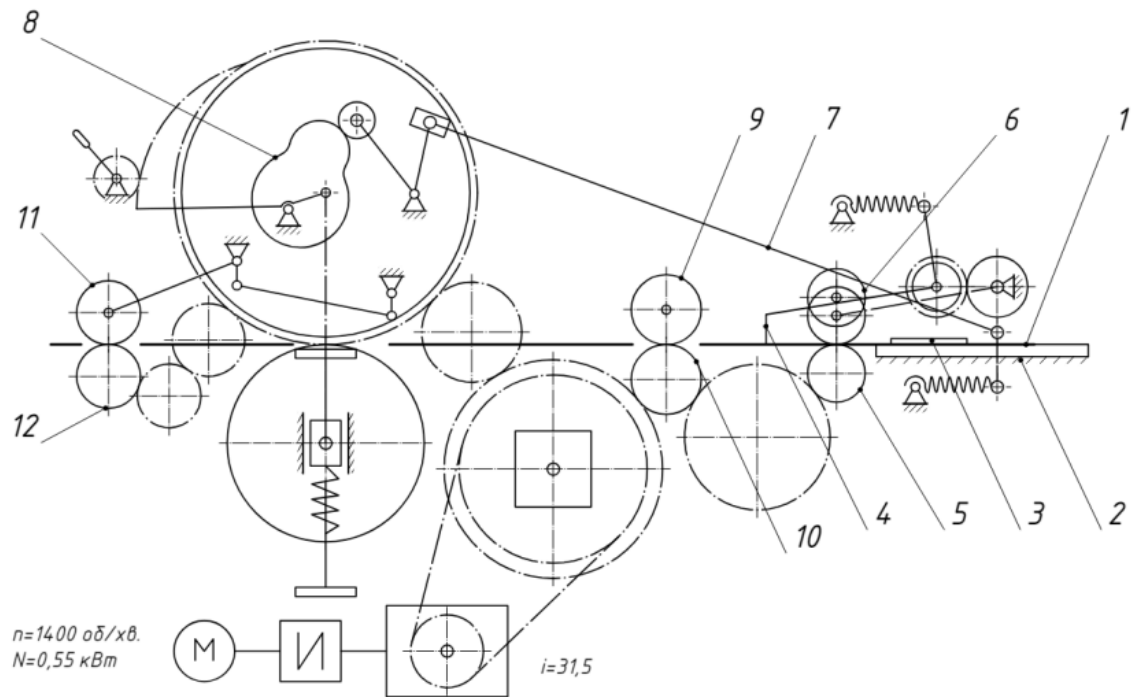


Рисунок 1.13 – Кінематична схема механізму подачі [18].

1.3 Шляхи удосконалення провідних механізмів флексографських друкарських машин

Удосконалення механізмів подачі матеріалу у флексографії прямо впливає на підвищення швидкості, точності приводки та зменшення відходів. Основні напрямки вдосконалення зосереджені на інтеграції цифрових технологій, сенсорики та автоматизації.

1. Удосконалення систем контролю натягу для забезпечення максимально стабільного натягу полотна, особливо на чутливих до розтягу плівках.

- заміна механічних гальм та муфт на розмотуванні/намотуванні на незалежні сервоприводи, що забезпечить точне та швидке коригування моменту, виключаючи механічний люфт;

- інтелектуальний контроль натягу: використання складних алгоритмів (ПІД-регуляторів, IoT- технологій) та високоточних тензодатчиків для застосування нелінійного кінцевого контролю натягу під час намотування, що

дозволить запобігти деформації внутрішніх шарів рулону при намотуванні великих діаметрів;

- компенсація «роздування» через впровадження систем повітряної підтримки або спеціальних роликів із покриттям, щоб уникнути втрати натягу полотна, коли воно «роздувається» у високошвидкісних сушильних тунелях.

2. Підвищення точності ведення та вирівнювання полотна, з метою усунення бічного зміщення аркуша/рулону для забезпечення ідеальної приводки.

- прецизійні актуатори: використання лінійних двигунів та актуаторів із високою швидкістю відгуку для миттєвої корекції положення, вони мають бути більш жорсткими та менш схильними до інерції порівняно з традиційними гвинтовими чи гідравлічними системами;

- системи технічного зору: впровадження цифрових камер та інфрачервоних або ультразвукових сканерів із високою роздільною здатністю, які контролюють не лише край полотна, а й друкарські мітки або перфорацію, забезпечуючи самокоригувальне ведення;

- автоматизація налаштування: розробка програмного забезпечення, що дозволяє автоматично встановлювати параметри ведення полотна при зміні матеріалу (зміна товщини, прозорості) без ручного калібрування.

3. Автоматизація та оптимізація аркушевих систем, для збільшення швидкості подачі аркушів та точності позиціонування.

- вакуумна фіксація: застосування більш ефективних вакуумних стрічок або сітчастих транспортерів із програмованими зонами вакууму для надійного утримання великоформатного гофрокартону, мінімізуючи його деформацію (особливо на виході з сушильних секцій);

- системи нон-стоп подачі: удосконалення механізмів автоматичного підживлення стопи без зупинки машини (для аркушевих машин), а також інтеграція роботизованих систем для швидкої заміни рулонів (для рулонних машин).

- датчики подвійного аркуша та товщини: використання надчутливих оптичних або ультразвукових датчиків, які гарантують, що до друкарської секції

надходить лише один аркуш правильної товщини, запобігаючи пошкодженню обладнання.

4. Поліпшення намотувальних вузлів з метою забезпечення ідеальної геометрії готового рулону для подальшої післядрукарської обробки.

– багатозональні пневматичні вали: використання валів, які діляться на кілька пневматичних зон, що дозволяє застосовувати різний тиск повітря по ширині рулону, це важливо для намотування кількох вузьких рулонів одночасно, забезпечуючи індивідуальну компенсацію натягу.

– системи регулювання торця: інтеграція механізмів, які підтримують рівний торець рулону під час намотування (запобігання ефекту «гриба»), що є необхідним для високошвидкісних різальних та перемотувальних машин.

Висновки за розділом 1

У розділі було проведено огляд технології флексографічного друку та детальний аналіз конструктивних особливостей сучасного друкарського обладнання, зокрема, в контексті систем подачі матеріалу. Підтверджено, що флексоdruk є універсальним, економічним і високопродуктивним методом, важливим для пакувальної індустрії (гнучка упаковка, етикетки, гофрокартон), завдяки можливості друку на еластичних та невсмоктувальних матеріалах.

Системи вирівнювання полотна використовуються для корекції бічних зсувів полотна. Такі системи можуть включати ультразвукові, оптичні або механічні датчики, які коригують положення полотна під час друку. Основною перевагою рулонних систем є їх здатність забезпечувати безперервний друк великих тиражів без зупинок, що значно підвищує продуктивність. Вони ідеально підходять для довгих друкарських машин та високошвидкісного друку. Аркушеві системи дозволяють працювати з товстими та жорсткими матеріалами, такими як гофрований картон, що робить їх незамінними у виробництві упаковки.

Класифіковано флексографічні машини за різними параметрами та визначено, що планетарна побудова забезпечує найвищу точність приводки на розтяжних плівках, тоді як секційна зручна для багатостадійних технологічних ліній. Визначено, що система подачі та проведення матеріалу, яка включає розмотування, натяг, ведення та намотування, є важливою для якості друку.

З огляду на необхідність підвищення точності приводки на високих швидкостях та при роботі з еластичними плівками, а також зважаючи на сучасні технологічні тенденції, пропонується удосконалити систему проведення стрічки (полотна) рулонної флексографічної машини.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ СТРІЧКОПРОВІДНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Система вирівнювання полотна

У рулонних друкарських машинах подавання матеріалу здійснюється у вигляді безкінечної стрічки. Це дає змогу виконувати процес друкування на високій швидкості (до 18 м/с), що в кілька разів перевищує швидкість роботи аркушевої друкарської машини.

У рулонних машинах КВА Pastoline застосовується ланцюговий пристрій, який не лише полегшує проводку стрічки, але й дозволяє оперативно змінювати траєкторію її руху з урахуванням характеру друкованої продукції, її насиченості фарбою, формату та варіантів фальцювання. Проводка стрічки здійснюється на пусковій швидкості роботи машини. На рис. 2.1 показана схема проводки стрічки з нижнього рулону та положення верхнього рулону в позиції очікування для проведення операції склейки.

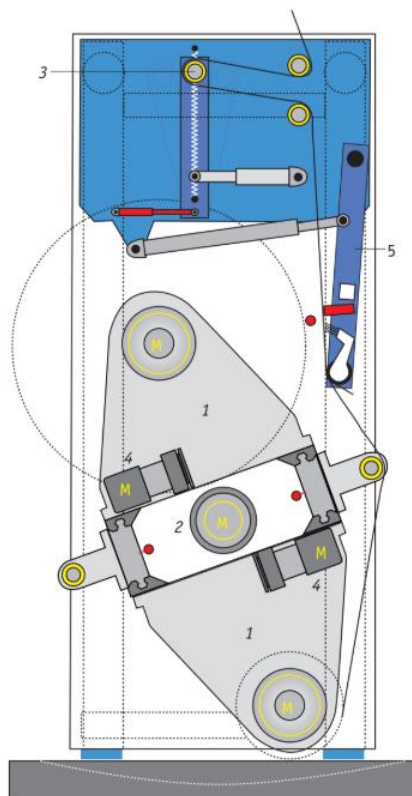


Рисунок 2.1 – Схема рулонної установки КВА Pastoline [16].

Її виконавчі та приводні пристрої розташовані у двох монолітних стінках, з'єднаних між собою жорсткими зв'язуючими елементами.

Дві напрямні 1 розміщені симетрично відносно центрального вала 2, оснащеного приводом. Кожна напрямна із закріпленням на ньому рулоном може переміщуватися в осевому напрямку з урахуванням ширини рулону за допомогою індивідуального двигуна 4, а також коригувати своє положення під час проведення осевої приводки.

Між стінками розташований плаваючий валик 3, керований пневмоциліндром, а також поворотна рама 5, що переміщується пневмоциліндрами і призначена для організації склейки стрічок та обрізання полотна відпрацьованого рулону.

Якість роботи рулонної машини значною мірою залежить від рівномірності натягу паперової стрічки, який має залишатися стабільним протягом усього тракту її проводки. При цьому провисання стрічки або її слабкий натяг є неприпустимими. Порушення цих умов спричиняє неприпасування фарб, утворення на стрічці зморшок і складок та, як наслідок, її обрив. Правильний і безперервний рух стрічки можливий лише за умови її натягу в певних межах, що дає змогу керувати процесом і забезпечувати стабільну роботу машини з високою якістю друку.

Подача паперової стрічки здійснюється стрічкоживильною системою, а її проводка через технологічні вузли машини – стрічковедучою системою.

Стрічкоживильна система в усьому діапазоні швидкостей та на всіх режимах роботи машини (під час розгону, у встановленому режимі, під час гальмування, включно з аварійним) повинна забезпечувати надійне кріплення рулону та стабільний натяг стрічки протягом усього періоду її розмотування.

Крім того, вона має забезпечувати:

- регулювання положення рулону в осьовому напрямку;
- швидко та зручно заміну рулонів під час роботи машини (автосклейка);
- можливість проведення додаткових операцій із підготовки стрічки до друку, таких як очищення від пилу, зволоження та обробка коронним розрядом.

Стрічкоживильна система (рулонна зарядка) розміщується окремо від машини зі своїми індивідуальними приводами або монтується безпосередньо в друкарській секції. Можливість керування рухом паперової стрічки та її подачею в друкарську секцію з постійним натягом створюється на вході в машину й забезпечується шляхом примусового підгальмовування робочого рулону.

До складу стрічкоживильної системи входять пристрої для встановлення та заміни рулону, пристрої для підтримання і регулювання натягу стрічки, системи вирівнювання її положення при вході в машину, а також різні допоміжні пристрої.

Стрічкоживильна система сучасних рулонних машин повинна забезпечувати:

- оперативну заміну рулонів під час роботи машини;
- регулювання положення рулону в осьовому напрямку;
- автоматичне підтримання стабільного натягу стрічки з можливістю його регулювання.

Перед установленням рулону його звільняють від зовнішньої упаковки та фіксують у затискних пристроях рулонної зарядки. Паперова стрічка подається стрічкоживильною системою шляхом розмотування її з рулону, що спричиняє певні ускладнення вже з моменту сходу стрічки з рулону. В ідеалі рулон має бути правильним циліндром без биття, вісь обертання якого збігається з його геометричною віссю.

Однак через неправильне намотування стрічки, її неоднорідність, недбале транспортування та неправильне зберігання форма рулонів стає далекою від ідеальної. Крім того, рулон є тілом змінної маси, яка зменшується в міру його вироблення. Усі ці фактори негативно впливають на стабільність натягу паперової стрічки.

Поверхня циліндра утворена стрічкою, змотаною у вигляді архімедової спіралі:

$$\rho = \rho_0 + \frac{\delta}{2\pi} \varphi, \quad (2.1)$$

де r і r_0 – поточний та початковий радіуси рулону;
 δ – товщина паперової стрічки;
 j – поточний кут повороту рулону.

Сам процес розмотування рулону умовно можна поділити на період розгону під час запуску машини, час руху з постійною швидкістю (режим друку) та період гальмування у разі необхідності зупинки. Рух стрічки в друкарську машину починається з обертання рулону в момент прикладання до стрічки зовнішнього зусилля F_n , що створює момент натягу паперу M_n , який дорівнює добутку $F_n r$, де r – поточний (змінний) радіус рулону (рис. 2.2).

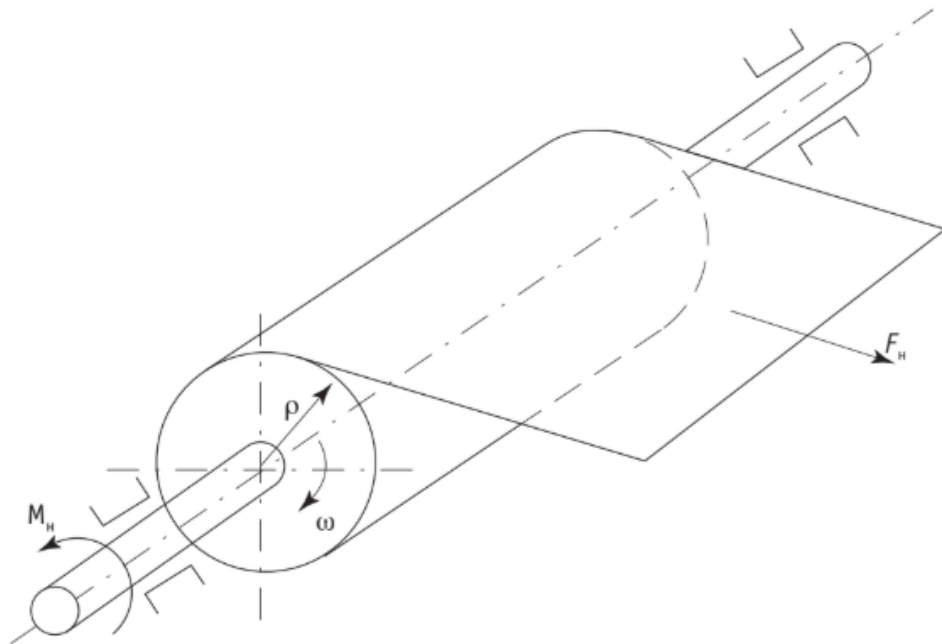


Рисунок 2.2 – Механіка подачі стрічки в друкуючий модуль [20]

У загальному вигляді рівняння моментів сил під час розмотування рулону можна подати у такому вигляді:

$$M_n = J \cdot \varepsilon = \rho(F + F_{in} + F_e), \quad (2.2)$$

де J – момент інерції рулону відносно його осі обертання;
 ε – кутове прискорення рулону.

Вираз у дужках є сумарним зусиллям, яке необхідно прикласти під час розмотування робочого рулону з урахуванням його похибок та характеру руху.

Перше доданок у цьому виразі – F_n , це зовнішня сила, прикладена до стрічки в точці її відокремлення від рулону, яка залежить від геометричних параметрів паперової стрічки та швидкості руху.

Друге – F_{in} , відображає вплив інерції рулону в моменти його прискорення та гальмування.

Третє – F_e , являє собою додаткове зусилля, яке необхідно прикласти для розмотування рулону ексцентричної форми. Це зусилля протягом одного оберту рулону змінює знак, тобто воно стає або рушійним, або гальмівним (для ідеального рулону $F_e = 0$). Частота його зміни під час розмотування є величиною змінною та зростає зі зменшенням діаметра рулону.

У період усталеного руху негативний вплив цієї сили проявляється у пульсації натягу. За великого ексцентриситету та високої частоти обертання рулону може статися обрив стрічки.

Попри вплив багатьох негативних чинників, паперове полотно повинно мати постійний натяг по всьому тракту його проводки, що є запорукою високої якості друку.

Необхідне натяг паперової стрічки на вході в друкарську секцію створюється рулонним гальмом. Натяг паперу характеризується величиною розтягувального погонного зусилля, що діє на одиницю його ширини. Зазвичай для офсетного паперу масою до 100 г/м^2 натяг стрічки у стаціонарному режимі друку становить $0,2 - 0,36 \text{ кН/м}$ (або за європейською шкалою близько 15 dN/м).

Однак у процесі роботи машини можливі стрибки натягу на 100% і більше від номінального значення. Рулонне гальмо повинно забезпечувати необхідний рівень натягу в заданих межах протягом усього періоду обертання рулону, включно з напруженим періодом автосклеювання. Водночас дія гальмівного механізму не повинна спричиняти перевантаження стрічки або її самовільне розмотування під час пуску та вибігу машини.

Існують різні системи гальмування рулонів, що розрізняються способом створення гальмівного моменту. Проте незалежно від типу рулонного гальма, момент M_n , необхідний для розмотування рулону з потрібним натягом паперової стрічки F_n , повинен із певним наближенням дорівнювати гальмівному моменту M_t , тобто:

$$M_n = M_t, \quad (2.3)$$

За способом прикладання гальмівної сили рулонні гальма поділяються на:

- осьові, де зусилля прикладене до осі рулону;
- периферійні, де гальмівне зусилля прикладене до поверхні рулону.

У сучасних машинах, зокрема й у рулонних машинах КВА, застосовують осьові гальма, які забезпечують більшу ефективність завдяки електромеханічному гальмуванню, не впливаючи на поверхню паперової стрічки. Оскільки гальмівний момент передається через втулку рулону, для підтримання постійного натягу його величина повинна безперервно автоматично регулюватися з урахуванням зміни радіуса рулону.

Як було зазначено раніше, для надійної роботи друкарської машини необхідно дотримуватися рівності моментів:

$$M_n = M_t, \text{ або } M_t = F_n \cdot r \quad (2.4)$$

У цьому виразі радіус рулону – величина змінна, яка в процесі розмотування стрічки зменшується у кілька разів.

З урахуванням зміни радіуса рулону гальмівний момент також повинен плавно зменшуватися.

Для забезпечення постійного натягу паперової стрічки в процесі її розмотування стрічкоживильні та стрічкопровідні системи обладнуються датчиками автоматичного регулювання, які фіксують збільшення або послаблення натягу й подають відповідний сигнал на виконавчі механізми. Паперова стрічка є об'єктом регулювання, тому автоматична система керування її рухом має бути достатньо чутливою і малоенергійною.

Як осьові гальма досить широко застосовуються електромагнітні дискові та порошкові муфти, керуючий вплив у яких створюється зміною сили струму.

Окрім цього, у швидкісних рулонних машинах, зокрема й у машинах КВА, для режиму «гальмування – розгону» рулону використовують електродвигуни.

При розмотуванні рулону великого діаметра двигун працює як привід під час початкового розгону.

Пізніше він переходить у режим гальма.

А зі зменшенням діаметра рулону і збільшенням частоти його обертання двигун знову надає рулону додатковий імпульс, полегшуючи сходження стрічки.

Щоб згладжувати різкі коливання натягу стрічки під час її сходу з рулону, у стрічкоживильній системі встановлюють амортизаційні валики (амортизатори). Вони різняться конструктивно та зазвичай розміщуються:

- між рулоном і першим друкарським апаратом;
- на інших ділянках стрічкопровідного тракту.

У загальному випадку це легкий валик у підшипникових опорах, навантажений пружинами або пневмоциліндрами. Зміна натягу стрічки викликає зміщення валика та відповідне навантаження пружин. За принципом дії амортизаційні валики бувають: пружинні, пневматичні, петлеві та комбіновані.

Практика експлуатації рулонних машин показує, що амортизаційні валики мають інерційність, яка стає більш помітною при зменшенні діаметра рулону. Це пов'язано з тим, що на валик діють збурювальні навантаження, що виникають під час розмотування рулону. Частота цих навантажень змінна й залежить від:

- поточного радіуса рулону;
- наявності ексцентриситету рулону;
- похибок його встановлення.

У процесі розмотування радіус рулону зменшується, а частота власних коливань валика збільшується. Щоб уникнути резонансних явищ, які можуть призвести до обриву стрічки, частота власних коливань амортизатора повинна відрізнитися від частоти збурень. Негативний вплив інерційних сил частково

зменшують демпфери (повітряні або гідравлічні), які знижують амплітуду та зміщують фазу вимушених коливань.

Оскільки робочий рулон має певні відхилення від ідеальної циліндричної форми, коливання його радіуса спричиняють періодичні коливання швидкості Δv_r . За один оберт рулону може подаватися то більше, то менше стрічки. Через інерційність рулону неможливо повністю компенсувати ці зміни тільки регулюванням гальмівного зусилля.

Тому на ділянці L встановлюють амортизаційний (плаваючий) валик 2, що навантажується пневмоциліндром 3 силою T (рис. 2.3).

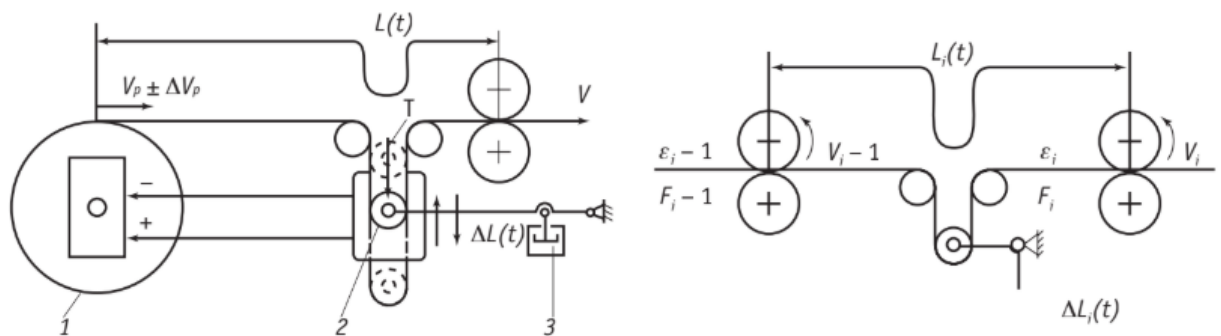


Рисунок 2.3 – Схема амортизаційного (плаваючого) валика [15].

Плаваючий валик компенсує нерівномірність подачі полотна і підтримує постійний натяг стрічки. Він є не тільки об'єктом авторегулювання, але й може виконувати функцію амортизуючого чи натяжного валика.

При постійній швидкості v періодичний надлишок або нестача поданої стрічки, що виникає через коливання радіуса рулону 1 у точці відриву стрічки, компенсується переміщенням плаваючого валика 2.

У такому пристрої натяг стрічки визначається зусиллям T , прикладеним до осі валика, а завдання гальма полягає в тому, щоб забезпечити швидкість рулону, при якій валик переміщувався в межах номінального положення, заданого робочою зоною регулятора натягу.

Зміна положення амортизаційного валика, що коливається або переміщується зворотно-поступально, використовується для формування сигналу керування гальмом або двигуном приводу рулону.

При зменшенні швидкості рулону натяг стрічки на ділянці «рулон – валик» збільшується, після чого валик починає переміщуватися вгору. Одночасно формується команда на збільшення швидкості обертання рулону шляхом зменшення гальмівного моменту або додавання обертів двигуна.

При збільшенні швидкості рулону валик відповідно почне переміщуватися вниз, що вплине на режим гальмування.

На схемі ці керуючі впливи позначені стрілками зі знаками «+» та «-».

Навантаження плаваючих валиків у стрікоживильних і стрікопровідних системах рулонних машин КВА здійснюється пневмоциліндрами. Використання пневматичного навантажувального пристрою дозволяє чітко контролювати мінімальні відхилення натягу стрічки та забезпечує її стабільну поведінку завдяки зменшенню інерційності рухомих частин регулятора.

Стрікопровідна система призначена для керування рухом стрічки під час її проходження через вузли друкарської машини, починаючи з рулонної зарядки і до фальцапарата.

Завдання стрікопровідної системи полягає в тому, щоб проводити стрічку з чіткою орієнтацією відносно центральної лінії машини при стабільному та регульованому натягу.

Для організації різних схем проводки стрічки стрікоживильна система обладнується пристроями, здатними змінювати напрямок її руху, перевертати стрічку, розрізати паперове полотно на вузькі смуги, накладати їх одну на одну з можливістю поперечного та поздовжнього зміщення.

До складу системи також входять:

- напрямні валики;
- стріковедучі (тягнучі) циліндри, включно з циліндрами друкарських апаратів, що організовують проводку стрічки через друкарські зони;
- поворотні штанги;

- реєстрові пристрої;
- циліндри охолоджувальних систем;
- допоміжні пристрої для розведення паперового полотна (або полотен) через технологічні вузли машини.

Для проведення стрічки, починаючи з моменту її сходу з рулону, по всьому тракту проходження встановлюються стрічконаправляючі валики, які не мають власного приводу і обертаються при контакті зі стрічкою за рахунок сил тертя. Вони призначені для підтримки стрічки від провисання і, як правило, розташовуються через інтервали не більше 1 – 1,5 м, що виключає поперечні коливання стрічки, які можуть призвести до порушень у роботі машини.

Стрічконаправляючі валики не повинні впливати на проходження стрічки через технологічні вузли машини та повинні бути зручними в обслуговуванні. Існує кілька видів стрічконаправляючих валиків, серед яких виділяють вирівнювальні та реєстрові валики.

Валики конструктивно виконуються у вигляді порожнистих труб діаметром близько 100 мм або більше, встановлених на підшипниках кочення на важелях або безпосередньо в бічних стінках машини. Вони можуть мати гладку або спеціально оброблену шорстку поверхню. Частота обертання валиків може досягати кількох тисяч обертів на хвилину, тому вони повинні мати невелику масу і бути динамічно відбалансованими.

Стрічконаправляючі валики з гладкою поверхнею зазвичай використовуються для роботи з незадрукованою стрічкою.

Для задрукованої стрічки переважно застосовують валики з шорсткою поверхнею, що зменшує площу контакту з фарбою і в певній мірі знижує відмивання.

Після рулонної зарядки, перед секцією стабілізації натягу стрічки або на вході в першу друкарську секцію, зазвичай встановлюють вирівнювальні валики, призначені для запобігання складок або зморшок на паперовій стрічці шляхом її вирівнювання по ширині. На зовнішній поверхні вирівнювальних валиків

наносять канавки, що йдуть від середини валика до його країв. Канавки можуть бути однозаходними або багатозаходними (за аналогією з ходовими гвинтами).

Стабілізатори натягу є однією з складових стрічкоживильної системи. Вони представляють додаткові стрічковедучі та стабілізуючі циліндри, призначені для згладжування коливань натягу стрічки, які не були усунені рулонним гальмом.

Стабілізатори натягу можуть:

- вбудовуватися в рулонну зарядку;
- виконуватися як окрема секція між рулонною зарядкою та друкарською секцією;
- розташовуватися на ділянках стрічковедучого тракту.

У сучасних рулонних друкарських машинах КВА застосовують механічні та петлеві стабілізатори.

Пристрій плаваючого валика 1 регулює величину гальмівного зусилля під час розмотування рулону, одночасно забезпечуючи автоматичне регулювання натягу стрічки при зміні швидкості машини та радіуса рулону, частково згладжуючи коливання натягу стрічки.

Крім того, для стабільності друкарського процесу необхідно підтримувати постійний натяг стрічки перед входом у перший друкарський апарат, оскільки коливання натягу на цій ділянці впливають на поведінку стрічки при проходженні через друкарські модулі рулонної машини.

На рис. 2.4 показаний варіант схеми проведення стрічки через технологічні вузли рулонної друкарської машини із системами регулювання, стабілізації та контролю поведінки стрічки.

З цієї метою стрічка при виході з рулонної зарядки проводиться через петлевий стабілізатор у вигляді обертового валика 2, що приводиться в рух від індивідуального двигуна, через який стрічка проходить під великим кутом охоплення. Подібний валик стабілізатора може бути встановлений на качальних важелях, команда на переміщення яких надходить від плаваючого валика. Це дозволяє гасити коливання стрічки та стабілізувати її натяг.

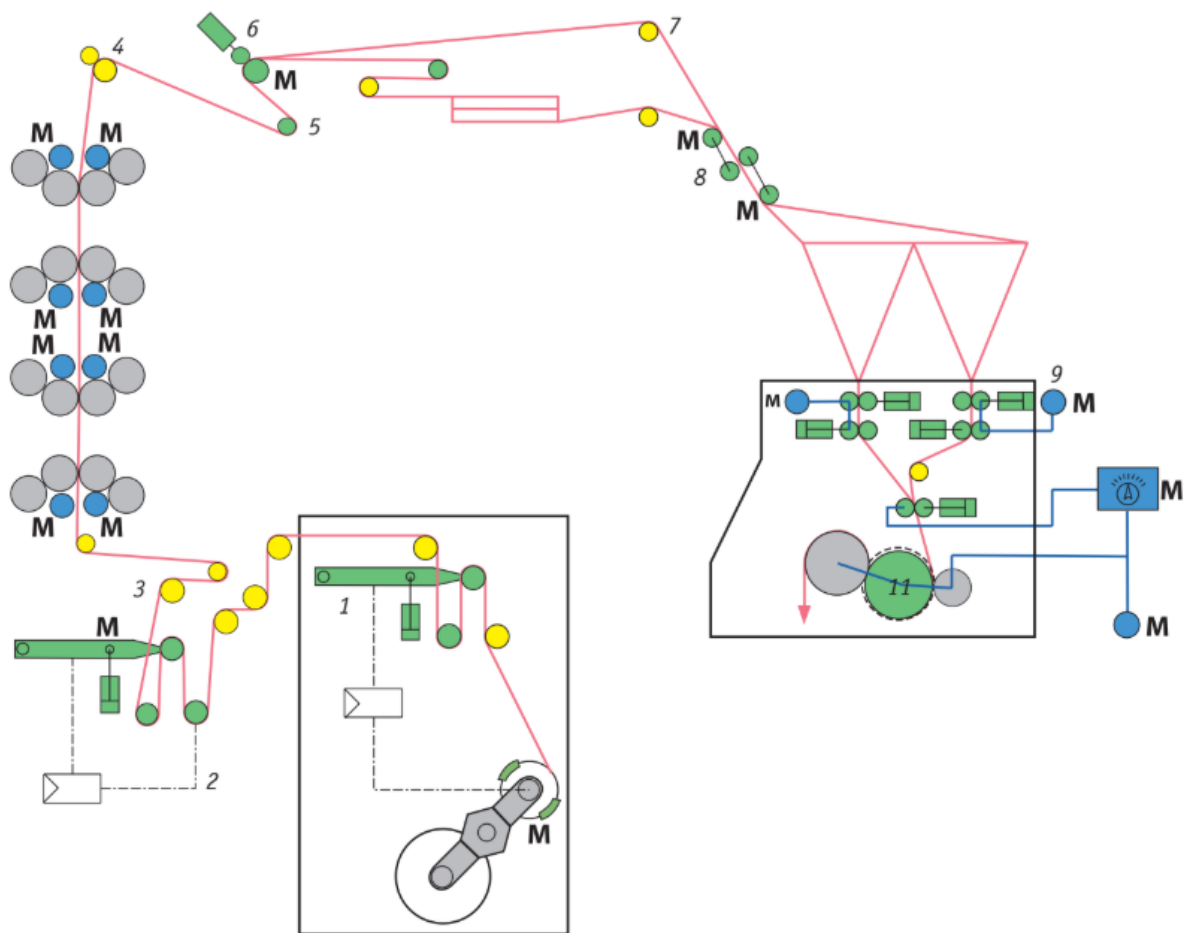


Рисунок 2.4 – Схема стрічкопровідної системи [20]

На ділянці стрічковедучий валик 4 – фальцаппарат встановлено: приводний циліндр із прижимним валиком 6, групу розташованих на певних ділянках приводних циліндрів (на схемі позначені літерою М).

Система плаваючих валиків дозволяє контролювати та підтримувати необхідний натяг стрічки на цих ділянках шляхом невеликих змін швидкості циліндрів, керованих від індивідуальних двигунів.

У самому фальцаппараті після воронки встановлена аналогічна система приводних циліндрів 9, яка забезпечує стабільну проводку стрічок через воронки фальцаппаратів, одночасно виконуючи функцію реєстрових пристроїв для точного фальцювання.

Реєстрові пристрої призначені для вирівнювання полотна відносно центральної лінії машини.

Вони виконуються у вигляді поворотної рами, яка дозволяє коригувати положення стрічки в поперечному напрямку. Такі пристрої розташовуються на різних ділянках проводки стрічки, наприклад, на вході в друкарську секцію, фальцаппарат або сушильний пристрій.

На рухомій рамі 1 вільно закріплені паралельно два валики 2 і 3, які розташовані між стаціонарними валами 4 і 5. Рамі разом із валами 2 і 3 надається невеликий поворот на кут α , в результаті чого стрічка відхиляється в бік (рис. 2.5).

За командою датчика контролю бокової кромки стрічки виконується кутове зміщення рами 1, що викликає перекид валиків 2 і 3. Примусове зміщення стрічки призводить до її нерівномірної деформації по ширині (розріз А-А), проте на виході натяг стабілізується (розріз В-В).

Щоб уникнути розриву паперу, кут повороту рами α повинен перебувати в межах $\pm 5^\circ$.

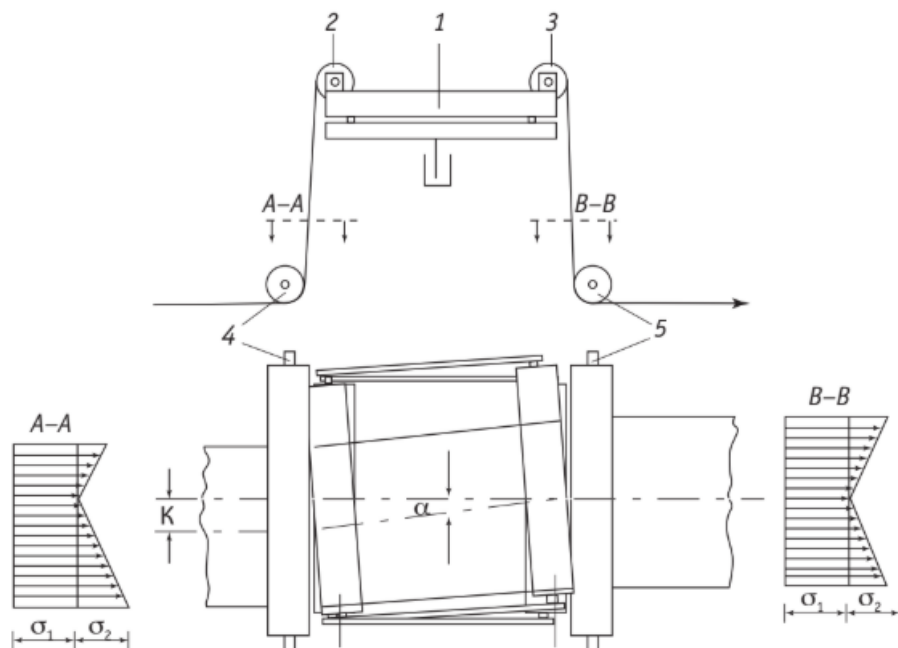


Рисунок 2.5 – Робоче положення реєстрового пристрою для поперечного зміщення стрічки [19].

Необхідність встановлення таких пристроїв перед входом у друкарську секцію або фальцаппарат зумовлена тим, що осьова корекція рулону, виконувана

на рулонній установці, є недостатньою і не настільки швидкою для оперативного зміщення стрічки.

У машинах із вертикальною проводкою стрічки лінія відділення стрічки значною мірою залежить від розташування стрічконоправляючого валика 4 (рис. 2.5), який знаходиться над друкарською секцією і забезпечує поворот стрічки на 90° .

Зсув валка, наприклад, по горизонталі вправо, збільшує кут охоплення стрічкою правого офсетного циліндра, тоді як відрив стрічки від лівого циліндра відбудеться дещо раніше, ніж від правого.

На механіку проведення паперового полотна також може суттєво впливати стан виходу стрічки із зони друкарського контакту. При великій площі задруковуваної поверхні через дію адгезійних сил можливе певне прилипання стрічки до офсетного полотна, що викликає додаткове перевантаження паперу через зміну точки відриву від офсетного циліндра.

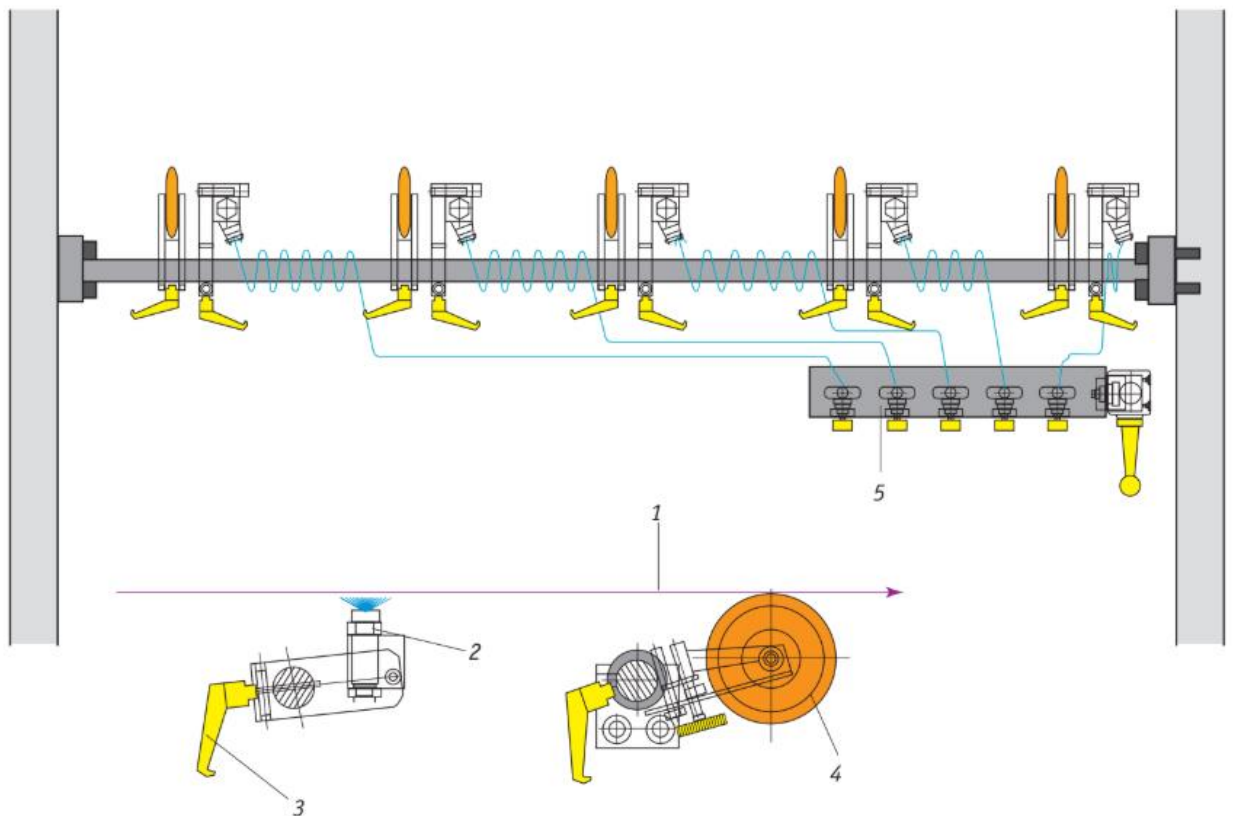


Рисунок 2.6 – Пристрій для зменшення розширення стрічки [20].

Крім додаткового розтягування задрукованого матеріалу, його прилипання до офсетного полотна збільшує шлях проходження стрічки на ділянці між зонами друкарського контакту. Через одночасну дію тиску та вологи змінюються параметри паперу, що призводить до зниження його натягу.

При ослабленні натягу стрічки між друкарськими апаратами явище прилипання може розвиватися у напрямку до верхнього або нижнього друкарського апарата залежно від величини зусилля відриву паперу від офсетних циліндрів.

У разі горизонтальної проводки стрічки іноді можливий повторний контакт задрукованого матеріалу відразу після виходу з контактної зони, що призводить до розмазування або подвоєння друкованого зображення. На це впливає підвищена липкість фарби одного з друкарських апаратів, що може бути спричинена великою площею друкованого зображення.

Момент відриву стрічки від офсетних циліндрів супроводжується розривом шарів фарби і характерним тріском. Під час проходження полотна через друкарські секції машини і виходу його з останньої зони друкарського контакту може проявлятися сукупна неприводка фарб, яку необхідно враховувати, змінюючи фазове положення формних циліндрів відповідних друкарських секцій.

2.2 Огляд патентів систем вирівнювання полотна

У сфері флексографічного друку патенти формують технологічні тенденції та стандарти, визначають напрямки інновацій і забезпечують правовий захист нових рішень, що стимулює інвестиції в дослідження та розробки. Наступний огляд висвітлює патенти, що стосуються вдосконалення системи вирівнювання полотна флексографічних друкарських машин. Такі патенти підвищують ефективність виробництва, сприяють покращенню якості кінцевої продукції та відкривають нові перспективи для розвитку галузі.

Патент GB1200037A [6] описує винахід, що покращує систему пневматичної подачі матеріалів у друкарських машинах. Існуючі пневматичні пристрої мають низку недоліків: нерівномірний рух кулачкового валу, складність виготовлення, а також довгі повітряні трубопроводи, що ускладнюють контроль процесу. Механізм пневматичної подачі аркушів патенту наведено на рис. 2.7.

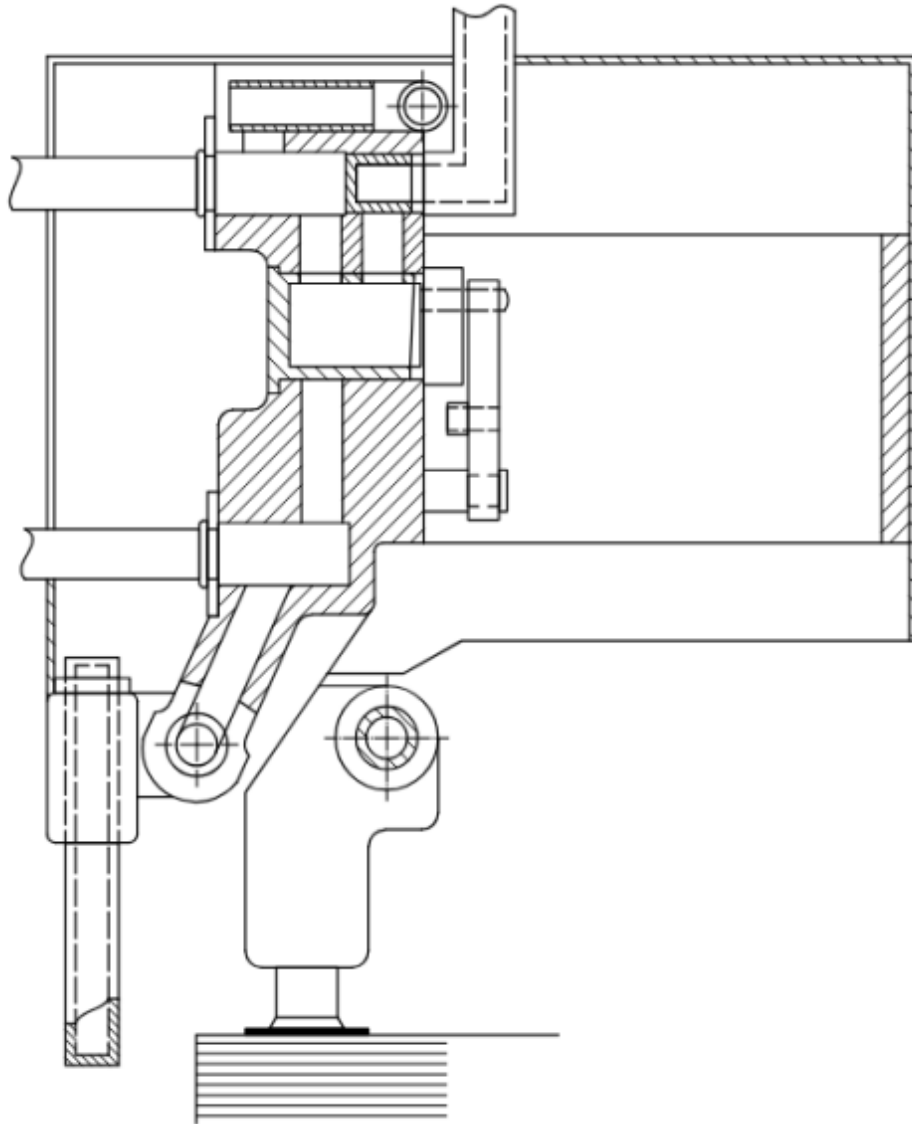


Рисунок 2.7 – Механізм пневматичної подачі аркушів патенту GB1200037A [6].

Метою цього винаходу є створення подавача, який забезпечує рівномірну подачу матеріалу, має короткі повітряні трубопроводи, здатний працювати на високих швидкостях і при цьому залишатися простим у конструкції та компактним.

Конструктивно пристрій включає:

- привідний вал, що обертається рівномірно для стабільної роботи механізмів;
- кулачки, які регулюють тиск у системі;
- присмоктувальні чашки для надійного захоплення аркушів;
- механізми контролю повітряного потоку, що забезпечують точне позиціонування аркуша.

Для виготовлення елементів пристрою використовуються металеві сплави високої міцності для валів і кулачків, полімерні матеріали для присмоктувальних чашок, стійкі до зносу і деформації, а також легкі алюмінієві або композитні трубопроводи для подачі повітря, що забезпечує компактність та зменшення інерційних втрат.

Цей винахід підвищує ефективність подачі матеріалів, стабільність роботи та дозволяє досягати високих швидкостей друку без ускладнення конструкції.

Переваги такого даного винаходу включають рівномірний рух привідного валу, скорочення довжини повітряних трубопроводів, підвищену ефективність подачі аркушів та компактну конструкцію, що полегшує обслуговування та покращує продуктивність друкарських машин.

Результати дослідження інших розробок наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Патентний аналіз систем вирівнювання полотна

№ п.п.	Панент	Опис розробки
1	US 6595460	Пристрій і метод вирівнювання краю подовжнього матеріалу (стрічки, «web») на тракті подачі. Передбачає маркер вирівнювання та механізм контролю, що дозволяє подати стрічку так, щоб її край був майже колінеарним з міткою-орієнтиром

2	US 5624111	Пристрій і метод вирівнювання краю подовжнього матеріалу (стрічки, «web») на тракті подачі. Передбачає маркер вирівнювання та механізм контролю, що дозволяє подати стрічку так, щоб її край був майже колінеарним з міткою-орієнтиром
3	US 6601507	Пристрій для автоматичного виявлення та маркування бічних країв аркушів у ротаційній друкарській машині – полегшує подальше вирівнювання та орієнтацію листів під час подачі
4	US 6604739	Метод і пристрій для вирівнювання плоских відбитків (копій) у машинах обробки аркушів – технічне рішення для забезпечення коректного положення аркуша перед друком або іншими операціями

Отже, основною метою розробок систем вирівнювання полотна є забезпечення точної позиції полотна або аркуша під час подачі в друкарську секцію. Помилки вирівнювання призводять до зміщення друку, складок, морщин і неприводки фарби. Модернізація має спиратися на використання високоточних сенсорів контролю краю матеріалу, лінійних енкодерів, лазерних датчиків для реєстрації положення.

2.3 Моделювання вузла

Першим кроком на шляху розв’язання задачі стабілізації та регулювання натягу паперової стрічки, вивчення динаміки стрічкоподавального пристрою і розроблення його математичної моделі є отримання математичних моделей

типових елементів стрічкоподавального пристрою (рулон, стрічка, плаваючий валик і напрямні валики). Рулон і його математична модель наведено на рис. 2.8.

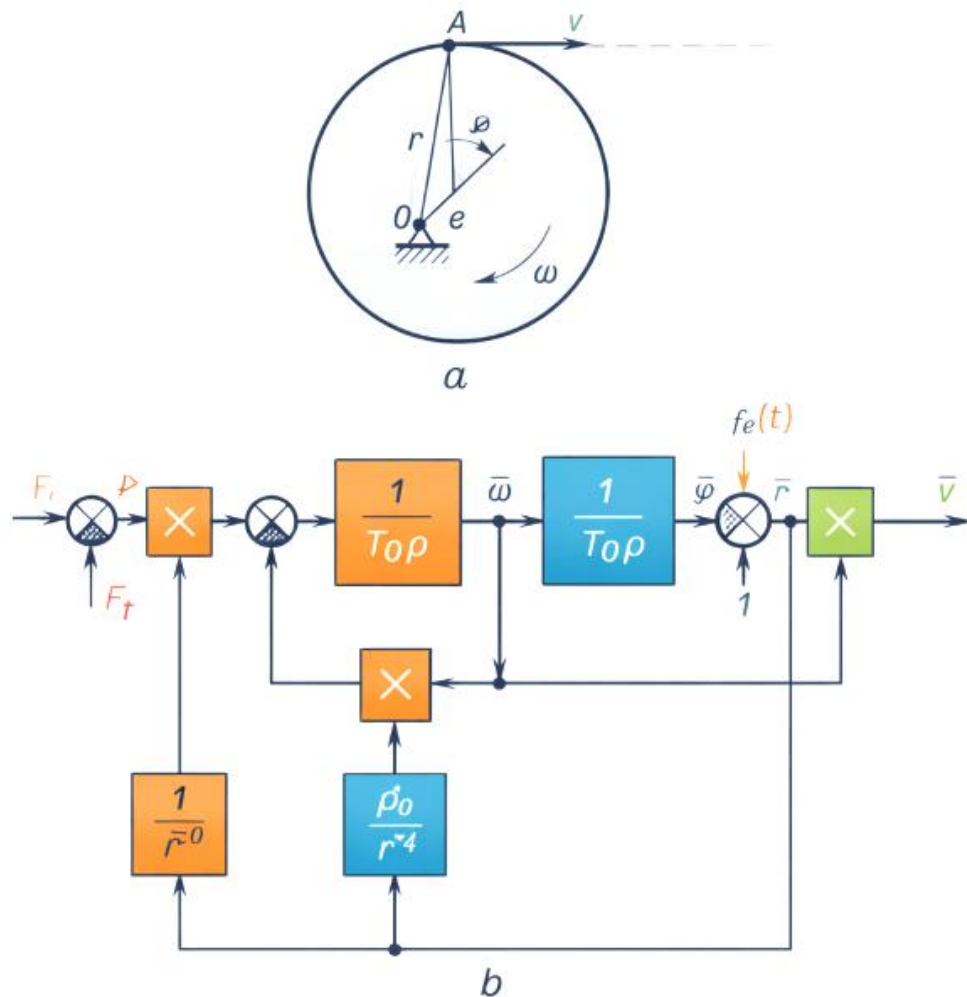


Рисунок 2.8 – Рулон (а) і його математична модель (б).

Для характеристики руху рулону в процесі розмотування необхідні такі параметри: радіус r і швидкість v рулону в точці розмотування, кут повороту φ кутова швидкість ω і момент інерції J рулону. Роль вхідного впливу виконує сила F , прикладена до рулону в точці розмотування.

Введемо в розгляд наступні відносні параметри:

$$\bar{r} = \frac{r}{r_0}; \quad \bar{v} = \frac{v}{v_0}; \quad \bar{\varphi} = \frac{\varphi}{\varphi_{\text{баз}}}; \quad \bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_0}; \quad \bar{F} = \frac{F}{F_0}; \quad \bar{J} = \frac{J}{J_0} \quad (2.5)$$

Параметри з нульовим індексом відповідають початковому або номінальному режиму.

Як базове значення кута повороту рулону прийнято кут повороту радіус-вектора при повному розмотуванні рулону:

$$\varphi_{\text{баз}} = 2\pi \frac{r_0}{\delta_{\text{п}}}, \quad (2.6)$$

де r_0 – початковий радіус;

$\delta_{\text{п}}$ – товщина паперу.

Система рівнянь, що описують рух рулону в процесі розмотування, може бути представлена у вигляді:

$$\begin{cases} \bar{r} = 1 - \bar{\varphi} + f_r(t), \\ T_0 \cdot \frac{d\bar{\varphi}}{dt} = \bar{\omega} = \frac{\bar{v}}{\bar{r}}, \\ \tau_0 \frac{d\bar{\omega}}{dt} + \frac{1}{\bar{r}^4} \rho_0 \bar{\omega} = \frac{\bar{F}}{\bar{r}^3}, \\ \bar{F} = \bar{F}_{\text{н}} - \bar{F}_3. \end{cases} \quad (2.7)$$

У цих рівняннях постійні коефіцієнти:

$T_0 = \varphi_{\text{баз}}/\omega_0$ – умовний (при постійній кутовій швидкості ω_0) час розмотування рулону;

$\tau_0 = J_0 \omega_0 / F_0 r_0$ – умовний (при постійному моменті імпульсу і постійному моменті зовнішніх сил $F_0 r_0$) час розгону рулону;

$\rho_0 = b \omega_0 / F_0 r_0$ – відносне значення моменту в'язкого тертя (b – коефіцієнт тертя).

Періодична функція:

$$f_r(t) = \frac{e}{r_0} \approx \text{const} \quad (2.8)$$

характеризує биття рулону внаслідок наявності ексцентриситету осі обертання e .

Математична модель рулону, побудована відповідно до рівнянь 2.7 (рис. 2.7, б), характеризує зміну параметрів рулону в процесі його розмотування, тобто протягом досить великого проміжку часу (умовний час розмотування становить кілька десятків хвилин). Разом з тим у стрічкоживильному пристрої протікають

і більш швидкі процеси. Частота биття рулону, наприклад, становить 1 – 10 Гц; час проходження стрічки від рулону до друкарського апарату не перевищує кількох секунд.

Для вивчення цих процесів можна скористатися моделлю рулону, в якій радіус залишається практично незмінним протягом розглянутих малих проміжків часу.

У цьому випадку система рівнянь перетворюється до вигляду:

$$\begin{cases} \Delta \bar{r} = f_r(t), \\ \Delta \bar{v} = \Delta(\bar{\omega} \bar{r}) = \bar{r} \Delta \bar{\omega} + \frac{1}{\bar{r}} \Delta \bar{r}, \\ \left(\tau_0 p + \frac{\rho_0}{\bar{r}^4} \right) \Delta \bar{\omega} = \frac{\bar{F}}{\bar{r}^3}. \end{cases} \quad (2.9)$$

Тут враховується зміна радіуса $\Delta \bar{r}$, викликана биттям рулону, проте поточний середній радіус $\bar{r}$ для розглянутих малих проміжків часу вважається незмінним. Вирішуючи систему рівнянь відносно приросту швидкості

$$\Delta \bar{v} = \frac{1}{\bar{r}^2 \tau_0 p + \rho_0 / \bar{r}^2} \Delta \bar{F} + \frac{1}{\bar{r}} f_r(t). \quad (2.10)$$

Запишемо рівняння 2.10 в операторній формі:

$$V(p) = W_p(p, \bar{r}) F(p) + \frac{1}{\bar{r}} F_r(p), \quad (2.11)$$

де $V(p)$, $F(p)$, $F_r(p)$ – зображення за Лапласом функцій $\Delta \bar{v}(t)$, $\Delta \bar{F}(t)$ і $f_r(t)$.

Передавальна функція рулону, що залежить від радіуса $\bar{r}$:

$$W_p(p, \bar{r}) = \frac{1}{\bar{r}^2 \tau_0 p + \rho_0 / \bar{r}^2} \quad (2.12)$$

Вплив члена $\rho_0 / \bar{r}^2$ у знаменнику передавальної функції помітно позначається лише при малих радіусах $\bar{r}$ (оскільки $\rho_0 \ll 1$). Нехтуючи цим членом, отримуємо передавальну функцію рулону в наступному вигляді:

$$W_p(p, \bar{r}) = \frac{1}{\tau_r p}, \quad (2.13)$$

Щоб з'ясувати вплив биття на зміну швидкості в точці розмотування, наведемо збурюючий $f_e(t)$ вплив до входу рулону:

$$f_r(t) = r_0 \varphi(t), \quad |t| = a_1 \sin \omega t. \quad (2.14)$$

де $a_l = J_0 \omega_0^2 / F_0 r_0^2 e$ – амплітуда періодичного збурення на вході в рулон.

Рулон можна розглядати і як окремий випадок стрічкопровідника, що приводиться в рух натягом стрічки (2.1).

Розглянемо i -й провідник (напрямний валик), до якого прикладено натяг F_{i-1} з боку матеріалу, що набігає, та натяг F_i з боку матеріалу, що збігає, і колова швидкість якого v_i (рис. 2.9).

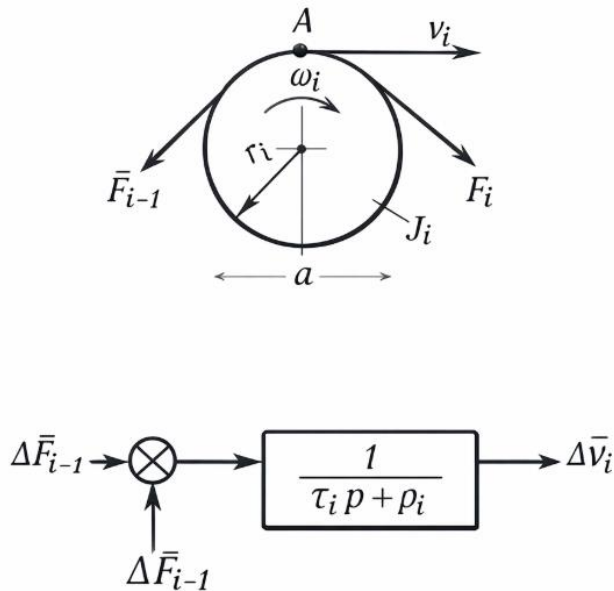


Рисунок 2.9 – Напрямний валик і його математична модель.

Валик має незмінний момент інерції J_i і радіус r_i . Момент опору обертанню валика від сил тертя в цапфах пропорційний першому ступеню швидкості і характеризується коефіцієнтом b_i .

Запишемо рівняння валика у відносних координатах:

$$(\tau_i p + \rho_i) \Delta \bar{v}_i = \Delta \bar{F}_i - \Delta \bar{F}_{i-1}, \quad (2.15)$$

де $\tau_i = J_i \omega_i / F_i r_i$ – час розгону валика;

$\rho_i = b_i \omega_i / F_0 r_i$ – коефіцієнт самовирівнювання.

Здійснюючи перетворення Лапласа, знаходимо:

$$V_i(p) = W_i(p) [F_i(p) - F_{i-1}(p)], \quad (2.16)$$

де $W_i(p) = 1/\tau_i p + \rho_i$ – передавальна функція валика.

Зазвичай самовирівнювання мале ($\rho_i \ll 1$) і ним можна знехтувати.

Зв'язок між натягом стрічки і швидкістю стрічкопровідника встановлюється за допомогою рівняння ділянки стрічки. У стрічці паперу або іншого деформованого матеріалу (плівка, папір тощо), що рухається, протікають процеси утворення і розвитку в часі деформацій і напружень. З одного боку, натягнута стрічка являє собою пружно-пластичне середовище, в якій розвиваються такі реологічні процеси, як релаксація і післядія. З іншого боку, під час руху стрічки в ротаційній машині відбувається процес безперервного заміщення стрічки в проміжках між провідниками або секціями машини; при цьому в стрічці змінюються деформації і натяг, пов'язані вже не з реологічними властивостями, а з умовами масообміну (рис. 2.10).

Крім того, процеси деформації стрічки, що рухається, істотно залежать від руху стрічкопровідників, з якими стрічка пов'язана силою тертя. Якщо тягове зусилля передається від провідника до стрічки, то провідник є ведучою ланкою, а стрічка – веденою, а якщо тягове зусилля передається від стрічки до провідника, стрічка є ведучою ланкою, а провідник – веденою.

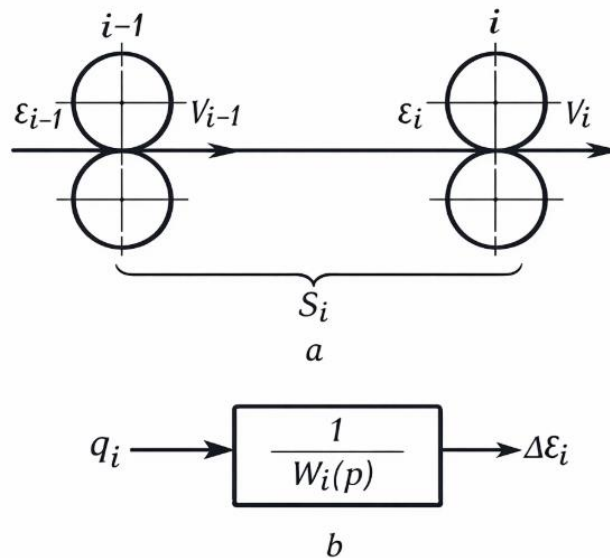


Рисунок 2.10 – Дільниця стрічки і її математична модель.

Окремим випадком веденого провідника є рулон, швидкість розмотування якого залежить від натягу стрічки.

Для вивчення всіх цих складних процесів необхідно насамперед розглянути явища, що протікають на деякій ділянці стрічки, укладеній між двома провідниками, відносно яких стрічка не може проковзувати. Вважається, що проковзування відсутнє при:

- 1) розмотуванні стрічки з рулону або при намотуванні на рулон;
- 2) наявності достатнього тиску в зоні контакту пари провідних циліндрів (валів);
- 3) дії радіальної складової сили натягу в разі охоплення вала стрічкою.

Фактично в зоні контакту стрічки з провідником відбувається більш складне явище: з боку гілки, що набігає, стрічка не деформується, зберігаючи свій первісний натяг, а з боку тієї, що збігає – виникає дуга ковзання у межах якої змінюється натяг стрічки і вона проковзує по провіднику внаслідок пружної деформації. Однак при малій довжині контактної зони порівняно з довжиною шляху стрічки, можна вважати, що зміна деформації (натягу) відбувається практично миттєво в точці сходження з попереднього провідника в зону розтягування між провідниками.

Далі можна вважати, що деформація стрічки та її зміни миттєво поширюються по всій довжині ділянки. І, нарешті, можна припустити, що розтяг одновимірний, тобто знехтувати зменшенням площі поперечного перерізу стрічки в результаті її розтягування.

Враховуючи зазначені припущення, розглянемо довільну ділянку стрічки, що рухається, яка безперервно заміщується по довжині між двома ведучими парами (і-1) – й і і-й колові швидкості яких v_{i-1} і v_i (рис. 2.9, а). Якщо масові надходження і витрата стрічки на розглянутій ділянці рівні, отримуємо рівноважний режим, який характеризується співвідношенням:

$$\frac{v_i - v_{i-1}}{v_i} = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}}{1 + \varepsilon_{i-1}}, \quad (2.17)$$

де ε_{i-1} , ε_i – відносна деформація стрічки відповідно на вході та всередині ділянки.

Вважаючи, що відношення швидкостей стрічковедучих пар близьке до одиниці ($v_i \approx (v_{i-1} \approx v_0)$), на рівноважному режимі маємо:

$$\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1} \approx \frac{v_i - v_{i-1}}{v_i}. \quad (2.18)$$

Відхилення від рівноважного режиму може бути викликано зовнішнім впливом на стрічку, який узагальнено можна представити у вигляді функції:

$$q_i(t) = \Delta\varepsilon_{i-1} + \Delta\bar{v}_i - \Delta\bar{v}_{i-1} + T_i p \Delta\bar{s}_i, \quad (2.19)$$

де $\Delta\varepsilon_{i-1}$ – зміна відносної деформації стрічки на вході в ділянку;

$\Delta\bar{v}_i = \Delta v_i / v_0$; $\Delta\bar{v}_{i-1} / v_0$ – відносне змінення швидкостей стрічковедучих пар;

$\Delta\bar{s}_i = \Delta s_i / s_i$ – відносне змінення шляху стрічки;

$T_i = s_i / v_0$ – стала часу ділянки стрічки (час заміщення).

Зміна пружного стану ділянки стрічки (перехідний процес) описується операторним рівнянням:

$$E_i(p) = W_i(p)Q_i(p), \quad (2.20)$$

Де $E_i(p)$ і $Q_i(p)$, – зображення функцій $\Delta \varepsilon_i(t)$ і $q_i(t)$ за Лапласом;

$W_i(p)$ – передавальна функція моделі руху (заміщення) стрічки на розглянутій ділянці.

У найпростішому випадку, коли стрічка здійснює вільний шлях від початку до кінця ділянки, модель руху відповідає аперіодичній ланці першого порядку [2.3 – 2.11]

$$W_i(p) = \frac{1}{T_i p + 1}. \quad (2.21)$$

Однак часто стрічка на своєму шляху огинає напрямні валики, які, маючи власний момент інерції, ускладнюють структуру динамічної моделі. Введення між стрічковедучими парами тільки одного напрямного валика підвищує порядок моделі до третього (утворюються дві ділянки стрічки, з'єднані через інерційний валик). За наявності кількох напрямних валиків ділянка стрічки являє собою багатомісний об'єкт.

Наступним важливим моментом конструювання математичної моделі є встановлення залежності між деформацією і натягом. Ця залежність впливає з розгляду реологічних властивостей паперової стрічки. В узагальненій операторній формі вона може бути представлена у вигляді:

$$F_i(p) = \frac{1}{\varepsilon_0} K_n(p) E_i(p). \quad (2.22)$$

де $F_i(p)$ – перетворення за Лапласом функції, що характеризує відносне змінення натягу стрічки

$$\Delta F_i(t) = \sigma_i(t) = \Delta F_i / F_0 \cdot K_n(p) \quad (2.23)$$

$K_n(p)$ – оператор середовища (передавальна функція реологічної моделі стрічки).

Поява узгоджувального множника $1/\varepsilon_0$ у рівнянні 2.23 обумовлена використанням відносної координати натягу; при цьому виконується умова:

$$\frac{F_0}{\varepsilon_0} = f_0 E_d, \quad (2.24)$$

де f_0 – площа поперечного перерізу стрічки;

E – статичний модуль пружності стрічки.

Для опису реологічних властивостей стрічки запропоновані (2.8) різні моделі, основними елементами яких є два ідеальних середовища: пружне (середовище Гука) і в'язке (середовище Ньютона). З вельми грубим наближенням реологічні властивості паперу можуть бути описані моделлю Максвелла, що являє собою паралельне з'єднання пружного і в'язкого середовища. Однак після зняття напруги в цій моделі залишається деформація, залежна від часу прикладання навантаження, що практично не спостерігається в папері. Більш точною моделлю пружно-пластичних властивостей паперової стрічки є модель, утворена паралельним з'єднанням моделі Гука і моделі Максвелла. Ця неузгоджена модель отримала назву моделі Пойнтінга – Томсона.

Схеми цих моделей та їхні динамічні характеристики $K(p)$, $\varepsilon(t)$ і $\bar{\sigma}(t)$ представлені в табл. 2.2. Характеристика $\Delta \bar{F}(t) = \bar{\sigma}(t)$ показує зміну деформації при незмінному навантаженні (випробування на післядію). Характеристика показує зміну натягу при незмінній деформації (випробування на релаксацію).

При випробуваннях за короткий проміжок часу, коли експериментальна шкала часу набагато менша часу моделі ($t \ll T$), модель Пойнтінга – Томсона поводить як ідеально пружне тіло з оператором

$$K_s(p) = 1 + \beta, \quad (2.25)$$

де β – динамічний коефіцієнт.

Таким чином, за досить малого часу проходження паперової стрічки в ротаційній машині (в процесі її руху) ділянку стрічки можна розглядати як пружне тіло із введенням поправочного динамічного коефіцієнта β .

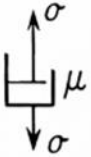
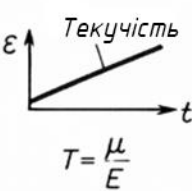
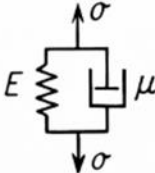
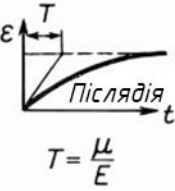
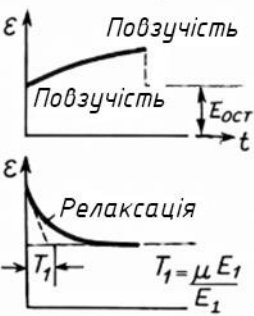
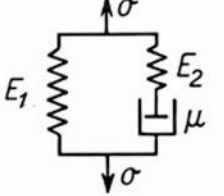
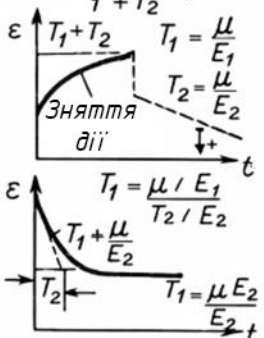
Об'єднуючи модель руху і модель середовища, отримуємо повну динамічну модель ділянки, що описується операторним рівнянням

$$F_i(p) = \frac{1}{\varepsilon_0} K_s(p) W_i(p) Q_i(p). \quad (2.26)$$

Передавальна функція ділянки стрічки має вигляд

$$W_c(p) = \frac{1}{\varepsilon_0} K_s(p) W_i(p). \quad (2.27)$$

Таблиця 2.2 – Механічні моделі паперового полотна

Прості моделі		Складні моделі		
Пружна	В'язка	Паралельне з'єднання	Послідовне з'єднання	Комбіноване з'єднання
 $\bar{\sigma} = \varepsilon$	 $\bar{\sigma} = T_p \varepsilon$ $\varepsilon = \frac{1}{T_p +} \bar{\sigma}$ 	 $\sigma = (1 + T_p) \varepsilon$ $\varepsilon = \frac{1}{T_p + 1} \bar{\sigma}$ 	 $\sigma = \frac{T_p}{T_p + 1} \varepsilon$ $\varepsilon = (1 + \frac{1}{T_p}) \sigma$ 	 $\bar{\sigma} = \frac{(1 + T_1 + T_2) \varepsilon}{T_p + T_1}$ $\varepsilon = \frac{1 + T_1 + T_2}{1 + T_2} \sigma$ 

За умови вільного (без напрямних валиків) руху стрічки і досить малого часу заміщення стрічки (цей час значно менший за час релаксації) її передавальна функція може мати вигляд:

$$W_c(p) = \frac{1 + \beta}{\varepsilon_0} \frac{1}{T_i p + 1}. \quad (2.28)$$

На динамічні властивості ділянки стрічки великий вплив справляє плаваючий валик, який не має жорстко закріпленої опори і переміщується під

дією натягу стрічки, що його охоплює (рис. 2.10, а).

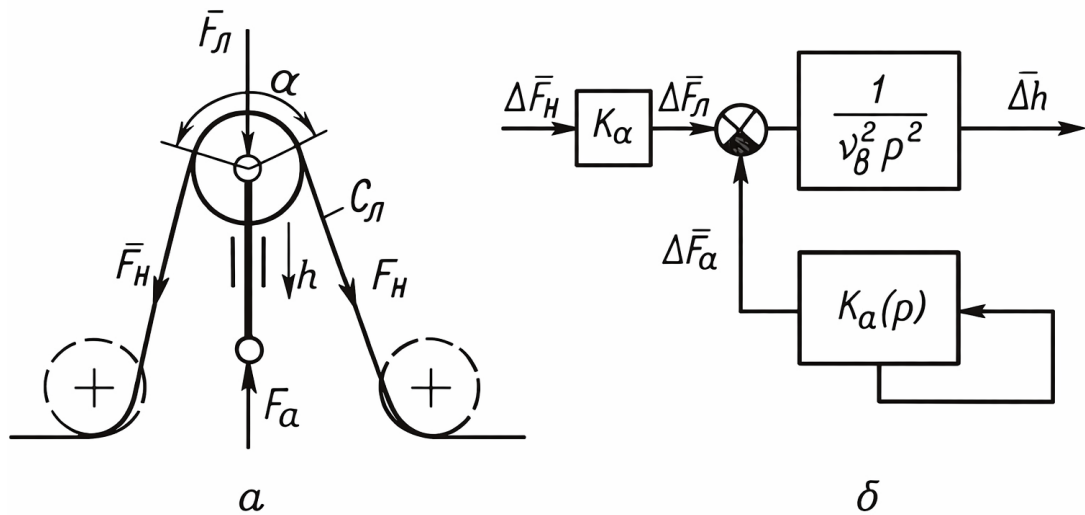


Рисунок 2.11 – Плаваючий валик і його математична модель.

При рівноважному режимі зусилля стрічки врівноважується опором амортизатора $F_l = F_a$.

На перехідних режимах різниця сил визначає поступальне переміщення валика. Рівняння руху у відносних координатах має вигляд:

$$\Delta \ddot{h} = \frac{1}{\nu_c^2 \tau_c^2} (\Delta \bar{F}_H - \Delta \bar{F}_3). \quad (2.29)$$

де

$$\Delta \bar{h} = \Delta h / \Delta l_{ct}; \Delta F = \Delta F / F_0; \quad (2.30)$$

$\nu_B = \sqrt{\frac{c_l}{m_B}}$ – власна частота плаваючого валика;

m_B – маса валика і рухомих частин підвіски;

$c_l = \frac{F_0}{\Delta t_0} = \frac{f_l E_l}{t_0}$ – умовна жорсткість стрічки.

Переходячи до перетворення Лапласа, знаходимо:

$$H(p) = \frac{1}{\nu_c^2 \tau_c^2} [F_H(p) - F_3(p)]. \quad (2.31)$$

Сила опору амортизатора ΔF_a або її зображення $F_a(p)$ визначається законом руху підвіски плаваючого валика:

$$F_a(p) = K_a(p)H(p), \quad (2.32)$$

де – оператор (передавальна функція) амортизатора.

Зусилля стрічки або її зображення залежить від натягу стрічки і кута охоплення валика стрічкою:

$$\Delta F_{\pi} = k_{\pi} \Delta F_{\pi}, \quad (2.33)$$

де $k_{\pi} = 2 \sin \frac{\alpha}{2}$ – коефіцієнт кута охоплення.

Плаваючий валик і амортизатор утворюють зустрічно-паралельне з'єднання, тобто систему зі зворотним зв'язком (рис. 7.4, б), передавальна функція якої має вигляд

$$W_v(p) = \frac{k_{\pi}/(\nu_c^2 \tau_c^2)}{1 + K_a(p)/(\nu_c^2 \tau_c^2 p^2)} = \frac{k_{\pi}}{\nu_c^2 \tau_c^2 p^2 + K_a(p)}. \quad (2.34)$$

Таким чином, динаміка плаваючого валика визначається типом його підвіски (амортизатора). Основними елементами підвіски є упрругий елемент (пружина) і в'язкий елемент (демпфер). Використовуючи різні способи з'єднання цих елементів, можна отримати різноманітні динамічні моделі плаваючого валика. Ці способи наведені в рис. 2.12.

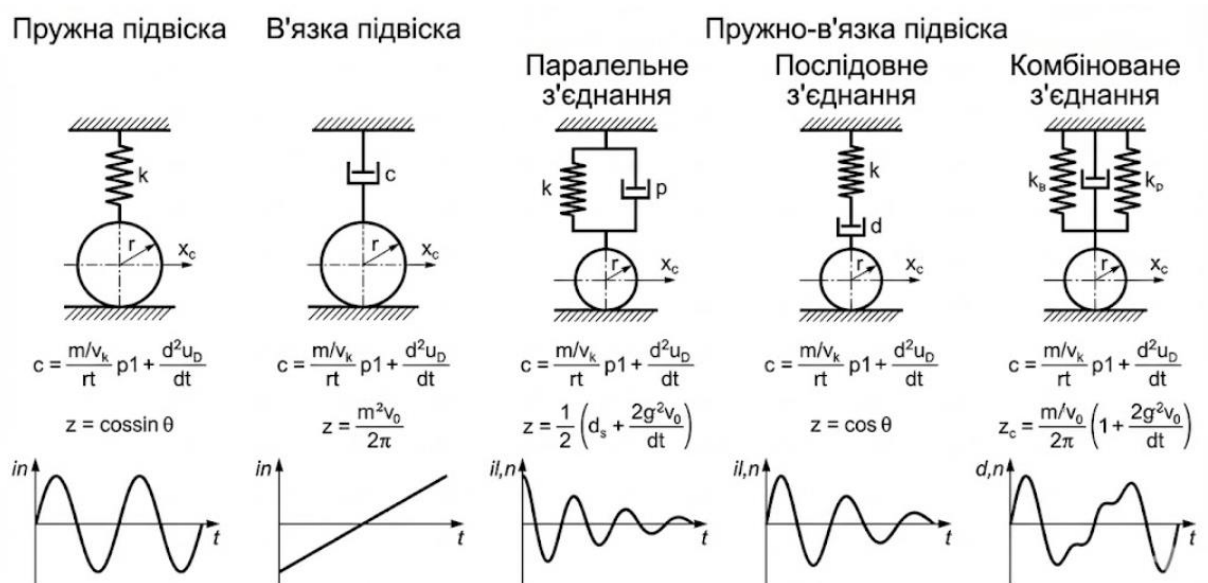


Рисунок 2.12 – Математичний опис плаваючого валика [21].

У разі ідеальної пружної підвіски (силами сухого і в'язкого тертя нехтуємо) валик являє собою коливальну ланку: під дією стрибкоподібної зміни натягу він здійснює коливання з постійною амплітудою. Валик із в'язкою підвіскою являє собою інерційну інтегруючу ланку; при дії на нього стрибкоподібної зміни натягу переміщення валика відбувається за інтегральним законом і супроводжується явищем перехідного запізнення.

Паралельне з'єднання пружини і демпфера утворює пружнов'язку підвіску з ПД-законом передачі сигналу. Плаваючий валик з амортизатором цього типу являє собою ланку 2-го порядку, характер руху якого залежить від відносної ступеня демпфірування ξ_v . В інтервалі значень $0 < \xi_v < 1$ мають місце згасаючі коливання валика; при $\xi_v > 1$ перехідний процес набуває аперіодичного характеру.

Послідовне з'єднання пружини і демпфера відповідає пасивній диференціюючій ланці, включення якої як зворотного зв'язку в систему «валик – амортизатор» створює ПІ-закон руху валика. Комбіноване послідовно-паралельне з'єднання двох пружин і демпфера дасть можливість отримати ПД-закон руху.

У системах прямого регулювання закон регулювання натягу стрічки фактично визначається законом переміщення плаваючого валика, що використовується як вимірювальна ланка. Тому реалізація типових законів регулювання шляхом вибору відповідної конструкції підвіски плаваючого валика має велике практичне значення.

На основі математичних моделей типових елементів (рулону, стрічки, напрямних валиків) може бути складена математична модель стрічкоживильного пристрою в цілому. Побудова такої моделі, що відображає основні риси реального технологічного процесу, має визначальне значення для вирішення завдань автоматизації: складання алгоритму керування і попереднього вибору параметрів керуючої системи.

Відповідно до структурної схеми СПП (стрічкопротяжного пристрою) і на основі математичного опису типових елементів, можна скласти схему математичної моделі СПП (рис. 2.13).

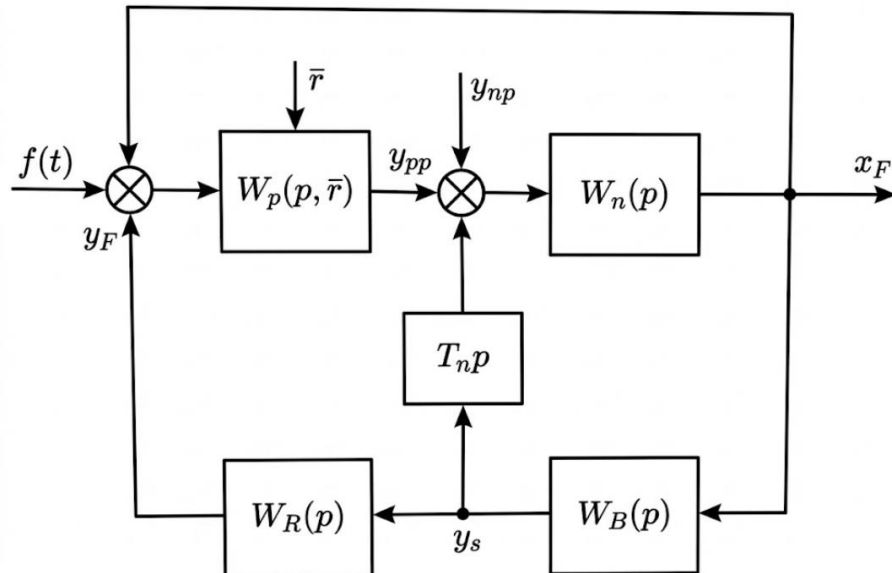


Рисунок 2.13 – Математична модель стрічкоживильного пристрою.

Для зручності зв'язку між елементами використовуються нормовані відносні координати, які виражаються відношенням відхилень (від рівноважних значень) фізичних координат до деяких базових відхилень. Базові відхилення вибираються таким чином, щоб межі змін нормованих відносних координат не перевищували одиниці. При використанні цих координат можна отримати рівняння елементів системи в нормованому вигляді, а коефіцієнти цих рівнянь набувають ясного фізичного змісту і легко підраховуються за вихідними параметрами системи.

До складу математичної моделі входить регулюючий пристрій, в якому формується регулюючий гальмівний вплив на рулон за сигналом вимірювального (плаваючого) валика і відповідно до прийнятого закону регулювання, описуваного передавальною функцією $W_{rp}(p)$.

З аналізу математичної моделі випливає, що система СПП-САР (система автоматичного регулювання) має досить складну динамічну структуру, яка

містить ряд зворотних зв'язків (з урахуванням місцевих зворотних зв'язків всередині елементів).

Загальний порядок системи, що визначається сумою порядків структурних елементів, може досягати 10-15 (залежно від кількості напрямних валиків).

В окремих елементах системи (рулон, регулятор, амортизатор) можуть бути наявні нелінійності (наприклад, сухе тертя, люфти), які ускладнюють динаміку системи й можуть відігравати роль дестабілізуючих факторів.

Робота системи відбувається в умовах зміни радіуса рулону $\bar{r}$, биття рулону f_e та дії на стрічку й друкарський апарат різного роду збурень.

Незважаючи на зазначену складність, математична модель стрічкоживильного пристрою, будучи реалізованою у відповідних програмах на ЕОМ, дає можливість досліджувати динаміку процесів зміни натягу стрічки за будь-яких вхідних впливів, а також за різних значень параметрів рулону, провідників і стрічки, за різних законів регулювання натягу та різних типів підвісок плаваючого валика.

Можливе також і аналітичне дослідження моделі, яке може бути проведене за деяких її спрощень, але зі збереженням суттєвих особливостей динаміки системи.

Висновок по розділу 2

У другому розділі проведено аналіз методики моделювання стрічкопровідної системи, що дозволило детально розглянути принципи проведення матеріалу у сучасних рулонних флексографічних машинах. Встановлено, що стабільність натягу паперового полотна – важливий фактор, який безпосередньо впливає на точність суміщення фарб, відсутність механічних пошкоджень стрічки та загальну якість друку на високих швидкостях. Розглянута механіка подачі матеріалу засвідчила складну залежність між динамічними параметрами рулону, що є об'єктом змінної маси, та роботою

систем гальмування і стабілізації. Особливу увагу приділено функціональній ролі плаваючих валиків та амортизаційних пристроїв, які компенсують нерівномірність розмотування, спричинену ексцентриситетом або деформацією рулонів. Сформована комплексна математична модель вузла, яка базується на передавальних функціях рулону, напрямних валиків та ділянок стрічки з урахуванням реологічних властивостей паперу за моделлю Пойнтінга-Томсона. Отримана модель дозволяє враховувати інерційні навантаження та перехідні процеси в системі, що створює необхідне теоретичне підґрунтя для розробки ефективних алгоритмів автоматичного керування натягом та оптимізації роботи стрічкопровідного тракту в умовах реального виробничого циклу.

РОЗДІЛ 3 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ВИРІВНЮВАННЯ ПОЛОТНА ФЛЕКСОДРУКАРСЬКОЇ МАШИНИ

3.1 Проектний розрахунок

Удосконалення системи вирівнювання полотна друкарських машин має бути спрямована на:

- підвищення точності положення полотна або аркуша;
- автоматизацію та інтеграцію сенсорного контролю з приводами валиків;
- адаптацію до різних розмірів і властивостей матеріалу;
- плавність руху і стабільний натяг полотна;
- зменшення інерційних та механічних навантажень на матеріал;
- використання цифрових систем управління для зворотного зв'язку та корекції в реальному часі.

Розрахунок зубчастої передачі.

Зубчасті передачі – найбільш розповсюджений тип механічних передач, які служать для передачі обертового руху, перетворення обертового руху в поступальний чи навпаки. В системі подачі листового матеріалу зубчаста передача передає обертальний рух циліндрам провідки.

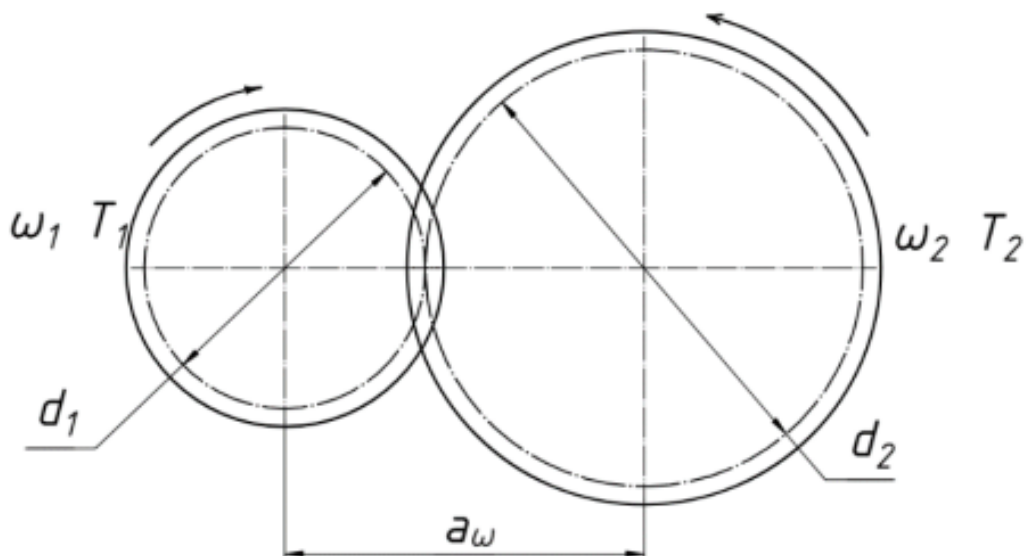


Рисунок 3.1 – Схема зубчастої передачі

Вихідні дані:

$$\omega_1 = 10,5 \text{ рад/с;}$$

$$\omega_2 = 5,25 \text{ рад/с;}$$

$$T_1 = 38,5 \text{ Н·м;}$$

$$T_2 = 73,15 \text{ Н·м;}$$

$$u = \omega_1/\omega_2 = 2,0;$$

Строк служби $h = 18\,000$ годин.

1) Параметри навантаження.

Визначаємо сумарне число циклів навантаження зубців:

$$N_{\Sigma 1} = \frac{1800 \cdot \omega_1 \cdot h}{\pi} = \frac{1800 \cdot 10,5 \cdot 18000}{3,14} = 1,08 \cdot 10^8 \text{ циклів}$$

$$N_{\Sigma 2} = \frac{N_{\Sigma 1}}{u} = \frac{1,08 \cdot 10^8}{2} = 0,54 \cdot 10^8 \text{ циклів}$$

Еквівалентні числа циклів (N_{HE} – контактна втома, N_{FE} – втома при згині).

Для режиму навантаження СН приймаємо $\mu_{HE} = 0,25$; $\mu_{FE} = 0,16$:

$$\text{Шестерня: } N_{HE1} = 1,08 \cdot 10^8 \cdot 0,25 = 2,7 \cdot 10^7 \text{ циклів;}$$

$$\text{Колесо: } N_{HE2} = 0,54 \cdot 10^8 \cdot 0,25 = 1,35 \cdot 10^7 \text{ циклів;}$$

Матеріали зубчатих коліс (Сталь 45)

Шестерня: термообробка – поліпшення, твердість $H_1 = 200\text{HB}$ ($\sigma_{T1} = 340$ МПа, $\sigma_{B1} = 600$ МПа).

Колесо: термообробка – поліпшення, твердість $H_2 = 170\text{HB}$ ($\sigma_{T2} = 260$ МПа, $\sigma_{B1} = 560$ МПа).

3) Допустимі напруження

а) Допустима напруга на контактну втому ($\sigma_{H \lim} = 2H + 70$):

$$\sigma_{H \lim 1} = 2 \cdot 200 + 70 = 470 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{H \lim 2} = 2 \cdot 170 + 70 = 410 \text{ МПа;}$$

б) Розрахункові допустимі напруження (при $S_H = 1,1$):

$$[\sigma]_{H1} = \frac{470}{1,1} = 427 \text{ МПа;}$$

$$[\sigma]_{H2} = \frac{410}{1,1} = 372 \text{ МПа.}$$

Приймаємо розрахункове напруження:

$$[\sigma]_H = 0,45([\sigma]_{H1} + [\sigma]_{H2}) = 0,45(427 + 372) = 360 \text{ МПа.}$$

в) Допустиме напруження на згин ($\sigma_F \lim b = 1,8H$; $S_F = 1,75$)

$$[\sigma]_{F1} = \frac{1,8 \cdot 200}{1,75} = 205 \text{ МПа;}$$

$$[\sigma]_{F2} = \frac{1,8 \cdot 170}{1,75} = 175 \text{ МПа.}$$

Геометричний розрахунок

Міжосьова відстань:

$$a \geq 49,5(u + 1) \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot 1,05}{[\sigma]_H^2 \cdot u \cdot 0,3}} \approx 74,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо стандартне значення $a = 75 \text{ мм.}$

Модуль та число зубців (при $m = 2,5 \text{ мм}$):

Сумарне число зубців: $Z_\Sigma = 2,75/2,5 = 60$.

Число зубців шестерні: $Z_1 = 60/3 = 20 \text{ шт.}$

Число зубців колеса: $Z_2 = 20 \cdot 2 = 40 \text{ шт.}$

Геометричні розміри:

Ділильні діаметри: $d_1 = 50 \text{ мм; } d_2 = 100 \text{ мм.}$

Діаметри вершин: $d_{a1} = 55 \text{ мм; } d_{a2} = 105 \text{ мм.}$

Діаметри впадин: $d_{f1} = 43,75 \text{ мм; } d_{f2} = 93,75 \text{ мм.}$

Ширина вінця: $b_2 = 25 \text{ мм; } b_1 = 28 \text{ мм.}$

5) Перевірочний розрахунок на згин

Колова сила:

$$F_t = \frac{2 \cdot 38,5 \cdot 1000}{50} = 1540 \text{ Н.}$$

Питома колова сила:

$$\omega_{Ft} = \frac{1540}{25} \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 74,5 \text{ Н/мм}$$

Напруження згину ($Y_{F1} = 4,1$; $Y_{F2} = 3,7$):

$$\sigma_{F1} = 4,1 \cdot 1 \cdot \frac{74,5}{2,5} = 122 \text{ МПа} < 205 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{F2} = 3,7 \cdot 1 \cdot \frac{74,5}{2,5} = 110 \text{ МПа} < 175 \text{ МПа}.$$

Висновок: умова міцності виконується.

Розрахунок ланцюгової передачі.

Ланцюгова передача використовується для передачі руху без проковзування між валами на значній відстані.

Вихідні дані: $n_1 = 100$ об/хв; $u = 1$.

Обираємо крок ланцюга $t = 12,7$ мм (ПР-12,7).

Міжосьова відстань:

$$a = 40 \cdot t = 40 \cdot 12,7 = 508 \text{ мм}.$$

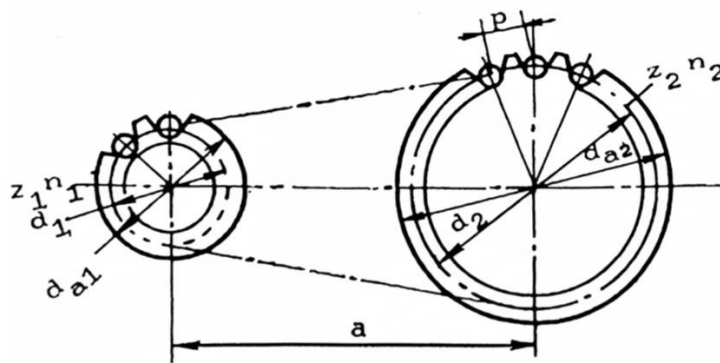


Рисунок 3.2 – Схема ланцюгової передачі

Діаметр зірочки (при $Z_1 = 25$):

$$d_1 = \frac{t}{\sin(180^\circ/Z_1)} = \frac{12,7}{0,1253} = 101,3 \text{ мм}.$$

Швидкість ланцюга:

$$v = \frac{n_1 \cdot Z_1 \cdot t}{60 \cdot 10^3} = \frac{100 \cdot 25 \cdot 12,7}{60000} = 0,53 \text{ м/с}.$$

Число ланок ланцюга:

$$W = \frac{2a}{t} + \frac{Z_1 + Z_2}{2} = \frac{1016}{12,7} + 25 = 105 \text{ ланок}.$$

Довжина ланцюга: $L = 105 \cdot 12,7 = 1333,5$ мм.

Перевірка на тиск у шарнірах:

Колова сила ($N = 120 \text{ ВТ}$): $P = 120/0,53 = 226$ Н.

Тиск ($k=1,4$; $F_{\text{он}} = 75,96 \text{ мм}^2$):

$$p = \frac{1,4 \cdot 226}{76,96} = 4,16 \text{ МПа} < [p] = 26 \text{ МПа}$$

Висновок: умова виконується.

Розрахунок пружини.

В системі подачі пружина використовується для силового замикання кінематичної пари.

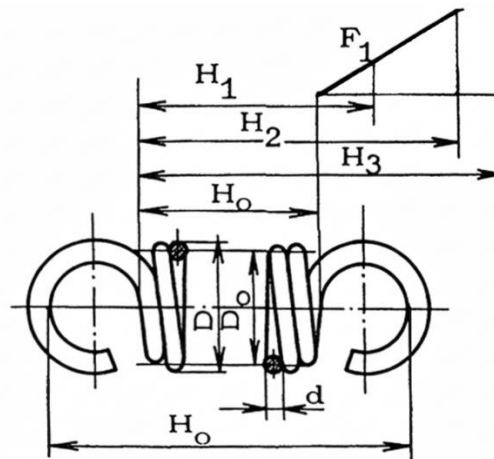


Рисунок 3.3 – Схема пружини розтягу

Вихідні дані:

Попередня сила $F_1 = 8 \text{ Н}$;

Робоча сила $F_2 = 15 \text{ Н}$;

Робочий хід $h = 80 \text{ мм}$.

Максимальна сила: $F_3 = 1,05 \cdot F_2 = 15,75 \text{ Н}$.

Вибір пружини: дрiт $d = 1,6 \text{ мм}$, зовнішній діаметр $D = 14 \text{ мм}$.

Жорсткість пружини:

$$Z = \frac{F_2 - F_1}{h} = \frac{15 - 8}{80} = 0,0875 \text{ Н/мм}$$

Кількість робочих витків (при $z_1 = 4,5$):

$$n = \frac{4,5}{0,0875} \approx 51 \text{ виток}$$

Деформації:

Попередня: $\omega_1 = 91 \text{ мм};$

Робоча: $\omega_2 = 171 \text{ мм};$

Максимальна: $\omega_3 = 180 \text{ мм}.$

Геометрія пружини:

Висота в вільному стані: $H_0 = (51+1) \cdot 1,6 = 83,2 \text{ мм}.$

Довжина розтягнутої пружини: $H_3 = 83,2 + 180 = 263,2 \text{ мм}.$

Перевірка напружень ($C = 7,75; K = 1,2$):

$$\tau = 1,2 \cdot \frac{8 \cdot 15,75 \cdot 12,4}{3,14 \cdot 1,6^3} \approx 146 \text{ МПа}$$

Це менше допустимих напружень для пружинної сталі.

3.2 Удосконалення плаваючого валу стрічкопровідної системи

Плаваючими називають вали, обидві опори яких плавають. У цьому випадку забезпечена можливість самовстановлення плаваючого вала відносно іншого вала, зафіксованого від осьових переміщень. Таке самовстановлення необхідне, наприклад, у шевронних або косозубих зубчастих передачах, що являють собою розділений шеврон. При виготовленні коліс таких передач неминуча похибка кутового розташування зуба одного напівшеврона відносно зуба іншого.

Внаслідок цієї похибки спочатку в зачеплення входять зуби тільки одного напівшеврона. Осьова сила, що виникає в зачепленні, прагне змістити колесо разом із валом уздовж осі вала. Якщо опори дозволяють, то вал переміщується в таке положення, при якому в зачеплення входять зуби обох напівшевронів, а осьові сили, що виникають у них, зрівноважені.

Осьову фіксацію вала в цьому випадку здійснюють не в опорах, а зубами шевронних коліс.

Як опори плаваючих валів застосовують радіальні підшипники. Найчастіше використовують підшипники з короткими циліндричними роликами. У разі застосування цих підшипників значно зменшується сила, необхідна для осьового переміщення вала. Усувається зношування корпусної деталі в місці встановлення підшипника, оскільки осьове плавання вала забезпечене за рахунок зміщення внутрішніх кілець підшипників спільно з комплектами роликів відносно зовнішніх кілець.

Однією з поширених є конструктивна схема, показана на рис. 3.4 (а). Тут внутрішні кільця підшипників закріплені на валу, а зовнішні – у корпусі. Осьове плавання вала забезпечують тим, що внутрішні кільця підшипників із комплектом роликів можуть зміщуватися в осьовому напрямку відносно нерухомих зовнішніх кілець. Осьове плавання вала відбувається в процесі його обертання. При цьому сила, необхідна для переміщення вала, дуже мала, що є перевагою цієї схеми.

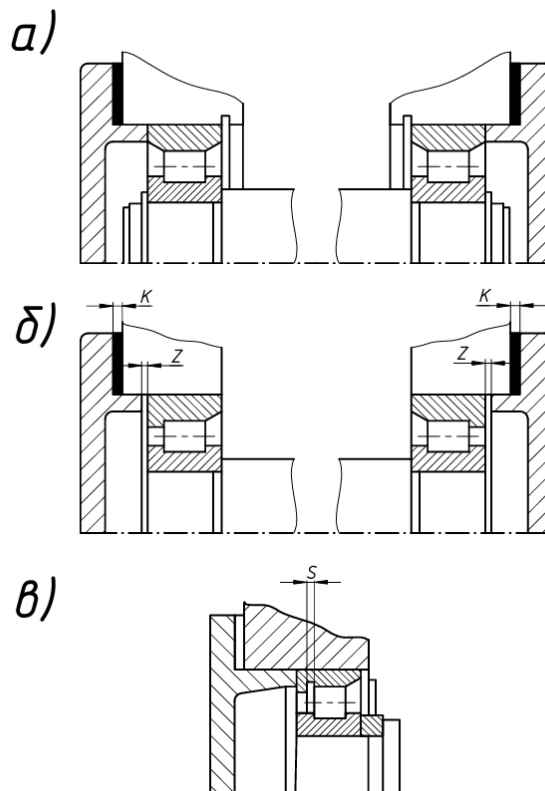


Рисунок 3.4 – Конструктивна схема опор плаваючого валу

Одним із недоліків є необхідність виготовлення канавок у корпусі для встановлення кілець, що утворюють штучний упорний заплічок. Цього недоліку

позбавлена схема, представлена на рис. 3.4 (б). У цій схемі внутрішні кільця підшипників закріплені упором у заплічок вала. Зовнішні кільця мають свободу осьового переміщення на величину зазору z у бік кришки підшипника. Значення зазору $z = 0,5 - 0,8$ мм залежить від розмірів вузла і точності виготовлення зубів спряжених шевронних коліс, точності їх складання. Показана на рис. 3.4 (б) схема відповідає моменту складання передачі.

У початковий момент осьового плавання вала ролики підшипників зміщують зовнішні кільця на деяку величину в бік кришок. При цьому зазор z зменшується і надалі за рахунок теплових деформацій вибирається повністю. Кільця знаходять таким чином своє положення і надалі залишаються нерухомими.

При осьовому плаванні вала внутрішні кільця підшипників із комплектами роликів зміщуються відносно зовнішніх кілець. На рис. 3.5, в показано положення деталей підшипника під час роботи передачі. При цьому між роликами та бортом зовнішнього кільця при плаванні вала має місце осьовий зазор S , який у процесі роботи змінюється в деяких межах, що визначаються точністю виготовлення зубів зубчастих коліс.

Важливою перевагою цієї схеми є можливість регулювання початкової величини осьового зміщення зовнішнього та внутрішнього кілець підшипника. Регулювання здійснюють набором металевих компенсаторних прокладок K , що встановлюються під фланці обох кришок підшипників. У результаті регулювання можна досягти точного взаємного розташування зовнішнього та внутрішнього кілець підшипників. При цьому розміри деталей вузла, що впливають на осьове положення кілець, можуть бути виконані за вільними допусками.

Об'єктом модернізації є опорний вузол (підшипникова опора) вала системи автоматичного вирівнювання полотна флексодрукарської машини. Даний вал виконує функцію виконавчого органу, який здійснює осьові мікропереміщення для корекції траєкторії руху матеріалу перед входом у друкарську секцію.

У базовій конструкції вузла (до модернізації) осьове переміщення вала забезпечується за рахунок ковзання зовнішнього кільця радіального підшипника в посадковому місці корпусу («плаваюча посадка»).

На рисунку 3.5 наведено 3-D модель вузла до модернізації.

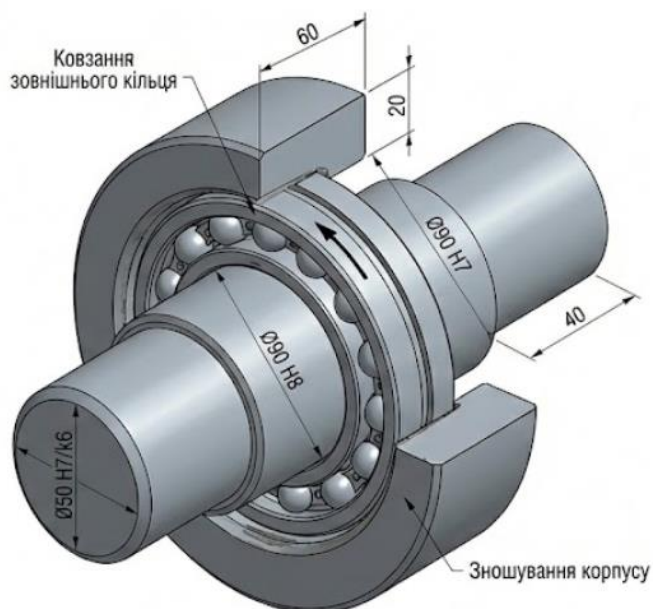


Рисунок 3.5 – Вузол до модернізації

Така конструкція має суттєві технічні недоліки:

- високий опір осьовому переміщенню: для зсуву вала виконавчому механізму (актуатору) необхідно подолати силу тертя ковзання між зовнішнім кільцем підшипника та корпусом, це призводить до інерційності системи, зниження швидкості реакції на зміщення полотна та неточності суміщення фарб (регістру);
- зношування корпусних деталей: постійні зворотно-поступальні рухи зовнішнього кільця призводять до розбивання посадкового місця в корпусі (фреттинг-корозія, виробка);
- ризик заклинювання: при тепловому розширенні вала або забрудненні посадкового зазору можливе заклинювання опори, що унеможливорює коректну роботу системи рівняння.

Модернізація полягає у зміні конструктивної схеми опор шляхом переходу на «плаваючі» вали на циліндричних роликопідшипниках.

За основу взято конструктивну схему, де внутрішні кільця підшипників жорстко закріплені на валу, а зовнішні – у корпусі, але саме «плавання» (осьове зміщення) відбувається всередині підшипника.

Ключові технічні рішення модернізації:

- заміна типу підшипників: встановлення підшипників із короткими циліндричними роликами (типу N або NU), це дозволяє внутрішньому кільцю з комплектом роликів вільно зміщуватися відносно зовнішнього кільця;

- зміна кінематики руху: осьове плавання забезпечується за рахунок кочення, а не ковзання, сила, необхідна для переміщення вала, стає значно меншою, що знижує навантаження на привід системи вирівнювання;

- компенсація теплових деформацій: конструкція передбачає початковий зазор z (0,5 – 0,8 мм) між торцем зовнішнього кільця та кришкою, який вибирається при нагріванні вала, запобігаючи заклинюванню;

- можливість регулювання: впровадження набору металевих компенсаторних прокладок (К) під фланці кришок дозволяє точно налаштувати взаємне розташування кілець та компенсувати похибки виготовлення деталей.

Вихідні дані для розрахунку:

- діаметр вала під підшипник $d = 50$ мм;
- зовнішній діаметр підшипника $D = 90$ мм.
- радіальне навантаження на опору F_r : прийmemo середнє експлуатаційне навантаження від натягу полотна та ваги вала: $F_r = 2000$ Н(приблизно 200 кгс);
- швидкість осьового вирівнювання $v_{ax} = 10$ мм/с.

Розрахунок опору осьовому переміщенню до модернізації (базова конструкція)

У базовій конструкції використовується радіальний шарикопідшипник. Плавання вала забезпечується ковзанням зовнішнього кільця підшипника по посадковій поверхні корпусу (посадка H7/h6 або подібна з зазором).

Сила опору переміщенню (F_{ax1}) визначається силою тертя спокою (або ковзання при малих швидкостях) між сталлю (кільце підшипника) та чавуном/сталлю (корпус).

Нормальна сила (N), що притискає кільце до корпусу: дорівнює радіальному навантаженню:

$$N = F_r = 2000 \text{ Н}$$

Коефіцієнт тертя ковзання (μ) для пари «сталь по сталі/чавуну» за умов непостійного змащування та можливого забруднення коефіцієнт тертя спокою становить $\approx 0,15 \dots 0,30$.

Прийmemo для розрахунку середнє значення: $\mu = 0,25$.

Необхiдне осьове зусилля (F_{ax1}):

$$F_{ax1} = N \cdot \mu = 2000 \cdot 0,25 = 500 \text{ Н.}$$

Потужність приводу (P_1), необхідна для подолання тертя:

$$P_1 = F_{ax1} \cdot v_{ax} = 500 \cdot 0,01 = 5,0 \text{ Вт.}$$

Для початку руху вала приводу (актуатору) необхідно подолати значну силу тертя спокою в 500 Н. Це створює ефект «ривка», знижує точність позиціонування та викликає зношування корпусу.

Розрахунок опору осьовому переміщенню після модернізації (проектна конструкція)

У модернізованій конструкції використовується радіальний підшипник із короткими циліндричними роликами (типу N або NU). Зовнішнє кільце жорстко

зафіксоване в корпусі. Осьове плавання відбувається за рахунок зміщення внутрішнього кільця з роликами відносно доріжки кочення зовнішнього кільця.

Опір переміщенню визначається втратами на кочення роликів (тертя кочення).

Радіальне навантаження $F_r = 2000$ Н.

Коефіцієнт опору коченню (приведений коефіцієнт тертя) (μ): для циліндричних роликотітшипників цей коефіцієнт дуже малий і становить $\mu = 0,002 - 0,004$.

Приймемо для розрахунку: $\mu = 0,003$.

Необхідне осьове зусилля (F_{ax2}):

$$F_{ax2} = F_r \cdot \mu = 2000 \cdot 0,003 = 6 \text{ Н.}$$

Потужність приводу (P_2), необхідна для подолання опору:

$$P_2 = F_{ax2} \cdot v_{ax} = 6 \cdot 0,01 = 0,06 \text{ Вт.}$$

На рисунку 3.6 наведено 3-D модель вузла після модернізації.

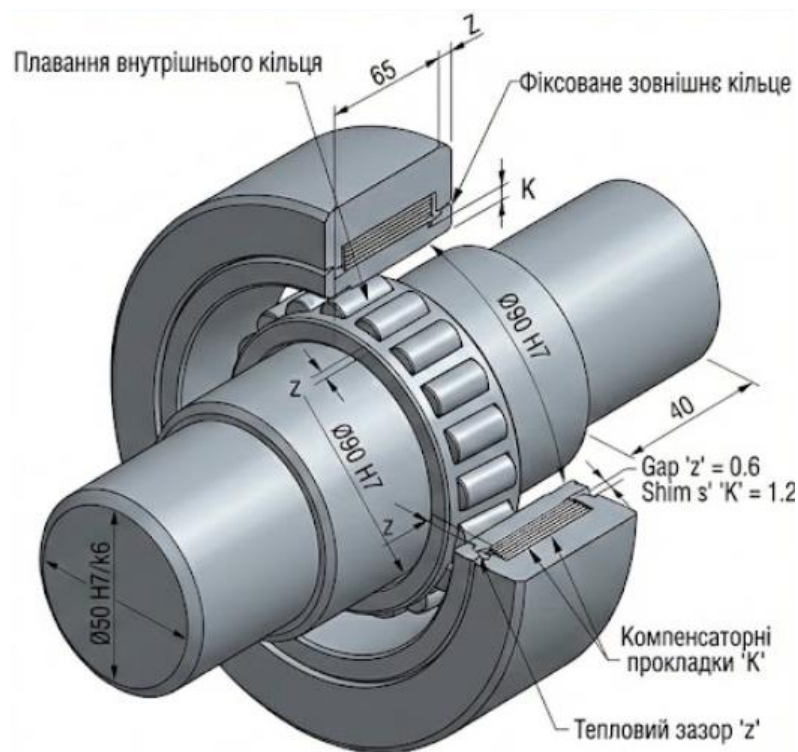


Рисунок 3.6 – Вузол після модернізації

Зменшення необхідного зусилля приводу:

$$K_F = \frac{F_{ax1}}{F_{ax2}} = \frac{500}{6} \approx 83,3 \text{ рази.}$$

3.3 Порівняльна характеристика проєктованого вузла

В таблиці 3.1 наведена порівняльна таблиця параметрів опор вала до та після модернізації.

Таблиця 3.1 – Порівняльна таблиця параметрів опор вала.

Параметр	До модернізації (базова конструкція)	Після модернізації (проектна конструкція)	Обґрунтування
Тип підшипників	Радіальні шарикопідшипники (серія 2xx)	Радіальні підшипники з короткими циліндричними роликами (тип N або NU)	Це дозволяє внутрішньому кільцю зміщуватися відносно зовнішнього
Схема осевого плавання	Ковзання зовнішнього кільця підшипника в корпусі («плаваюча посадка»)	Внутрішнє конструктивне зміщення (ролики рухаються по доріжці кочення)	У новій схемі плавання забезпечується за рахунок зміщення кілець самого підшипника, а не посадки в корпусі
Сила опору осевому переміщенню (F _{ос})	Висока (визначається тертям ковзання кільця об корпус, $\mu \approx 0.1-0.3$)	Низька (визначається тертям кочення роликів, $\mu \approx 0.002-0.005$)	Сила, необхідна для переміщення вала, стає "дуже малою", що підвищує чутливість системи вирівнювання
Зношування посадкових місць (корпусу)	Присутнє (через постійне мікропереміщення зовнішнього кільця в корпусі)	Відсутнє / Усунуто	Зовнішні кільця жорстко зафіксовані в корпусі, тертя об корпус немає
Регулювання осевого положення	Ускладнене або відсутнє (залежить від допусків виготовлення)	Можливе (компенсаторними прокладками К)	Дозволяє досягти точного взаємного розташування кілець за допомогою прокладок під фланці кришок (схема на рис. 3.5, б).

Чутливість до теплових деформацій	Висока (може призвести до заклинювання при розширенні вала)	Низька	Конструкція передбачає тепловий зазор z , який вибирається при нагріванні без створення навантажень на опори.
-----------------------------------	---	--------	---

Проведені розрахунки показують, що заміна схеми плавання з ковзання зовнішнього кільця на внутрішнє плавання в роликопідшипнику дозволяє зменшити силу опору осьовому переміщенню вала приблизно у 83 рази.

Реалізація модернізованої схеми усуне зношування корпусів, підвищить чутливість системи вирівнювання полотна за рахунок зменшення сил тертя та забезпечить надійну роботу вузла при теплових навантаженнях.

Висновок по розділу 3

Проведений інженерний аналіз дозволив оптимізувати кінематичні та силові характеристики вузлів для забезпечення необхідного запасу міцності. Реалізація розробленої конструкції гарантує безвідмовну роботу механізму та сприяє мінімізації браку при виготовленні продукції.

Запропоноване конструктивне рішення комплексно підвищує ефективність та надійність роботи механізму вирівнювання полотна. Підвищення плавності та точності осьового переміщення вала безпосередньо впливає на стабільність суміщення фарб (регістр), що покращує загальну якість друкованої продукції. Усунення вузла тертя ковзання «підшипник-корпус» дозволяє значно збільшити міжремонтні інтервали та знизити експлуатаційні витрати на обслуговування обладнання. Впровадження можливості регулювання початкового положення робить конструкцію більш технологічною та адаптивною до умов роботи. Отже, розроблене удосконалення вирішує поставлені технічні завдання та усуває недоліки базової конструкції опорного вузла.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ

4.1. Інформаційна карта проекту

Таблиця 4.1 – Інформаційна карта проекту

1. Назва проекту	Флексодрукарська машина з удосконаленим провідним механізмом
2. Автори проекту	Панасюк В.В.
3. Коротка анотація	Проект присвячений модернізації системи вирівнювання полотна та механізмів стабілізації натягу у флексографічних машинах. Впровадження нових конструктивних рішень (мінімізація тертя в опорних вузлах) та алгоритмів керування дозволяє підвищити точність суміщення фарб (приведення), зменшити кількість макулатури та забезпечити стабільну роботу на високих швидкостях друку.
4. Термін реалізації проекту	4 міс. – розробка проекту
5. Необхідні ресурси	Фінансові: 1. Виплати заробітної плати розробникам (конструктор, програміст): 17 000 грн/міс. 2. Дослідні матеріали, комплектуючі (сенсори, механічні деталі): 20 000 грн/міс. Матеріально-технічні: лабораторне обладнання, вимірювальні прилади, програмне забезпечення для моделювання.
6. Опис проблеми, яку вирішує проект	Удосконалення: усунення люфтів та надмірного тертя в системі проведення стрічки.

	Запропоновані покращення: використання модернізованих опорних вузлів та інтелектуальної системи контролю положення кромки полотна. Інтелектуальні витрати: розробка власних алгоритмів на основі моделі Пойнтінга-Томсона, що підвищує адаптивність системи до різних типів матеріалів (плівки, папір). Людські ресурси включають в себе різні ролі у команді розробників, від керівника проекту та розробників до спеціалістів із забезпечення якості. Це забезпечить високий рівень експертизи та координацію зусиль для успішної реалізації удосконалень у роботі провідних механізмів друкарських машин.
7. Очікуванні результати	Очікувані результати від удосконалення провідного механізму флексографської друкарської машини: 1. Підвищення точності суміщення: зменшення похибки приводки до мінімальних значень навіть на еластичних матеріалах. 2. Економічний ефект: зменшення кількості макулатурних відбитків під час налаштування тиражу на 10-15%. 3. Надійність: збільшення міжремонтного ресурсу провідного механізму за рахунок покращеної конструкції вузлів тертя.

Етапи створення стартапу:

- 1) Маркетинговий аналіз: дослідження ринку поліграфічного обладнання для підтвердження попиту на системи високоточного вирівнювання полотна.
- 2) Техніко-економічне обґрунтування: визначення оптимальних термінів та шляхів інтеграції модернізованих вузлів у чинні друкарські лінії.

3) Формування концепції MVP (мінімально життєздатного продукту): визначення базового набору функцій системи вирівнювання, необхідних для виходу на ринок.

4) Маркетингова стратегія: розробка плану просування технології серед виробників пакування та етикетки.

5) Інвестиційний пошук: залучення фінансування для створення промислового прототипу.

6) Формування проектної групи: підбір спеціалістів (конструкторів, програмістів, технологів) та делегування повноважень.

7) Технічне проектування: розробка кінематичних схем вузла та формування детального технічного завдання на проектування.

8) Математичне та програмне забезпечення: розробка алгоритмів стабілізації натягу та керування позиціонуванням стрічки.

9) Апробація та верифікація: тестування роботи алгоритмів на базі математичних моделей та стендових випробувань.

10) Комерційний запуск: виведення модернізованої системи на ринок та старт продажів.

11) Правовий супровід: патентування конструкторських рішень та юридичне оформлення інтелектуальної власності.

12) Пост-маркетинговий моніторинг: аналіз зворотного зв'язку від друкарень після перших місяців експлуатації обладнання.

13) Сервісна підтримка: організація технічного обслуговування та гарантійного супроводу впроваджених механізмів.

14) Стратегічне планування: оцінка результатів та прийняття рішення щодо масштабування проєкту або його модернізації.

15) Організація співпраці між членами команди.

Розглянемо підхід до розподілу обов'язків в стартапі серед команди та побудуємо таблицю, що відображає важливість факторів за методикою Демлера, яку представлено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Визначення важливості факторів щодо їх вкладу у створення та реалізацію стартапу

Фактор	Вага (важливість)
Ідея	7
Підготовка бізнес плану	5
Компетентність	9
Залученість і ризики	8
Обов'язки	6

Тепер розподілимо серед цих факторів особистий внесок кожного члена команди в проект, як показано у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Оцінювання особистого внеску кожного партнера у створенні та реалізації стартапу

Фактор	Генератор ідей	Координатор (Менеджер)	Дослідник (Аналітик)	Експерт (Технолог)	Реалізатор (Інженер)
Ідея	10	4	7	6	3
Підготовка бізнес плану	3	9	8	4	2
Компетентність	6	5	7	10	9
Залученість і ризики	8	8	6	7	9
Обов'язки	5	10	6	8	8

Враховуючи важливість кожного фактору, порахуємо дольову участь у проекті кожного учасника роботи, що зведено у таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Оцінювання важливості кожного фактору і внеску кожного учасника

Фактор	Вага (бали)	Генератор ідей	Координатор (Менеджер)	Дослідник (Аналітик)	Експерт (Технолог)	Реалізатор (Інженер)
Ідея	7	10	4	7	6	3
Підготовка бізнес плану	5	4	10	8	3	2
Компетентність	9	6	5	7	10	9
Залученість і ризику	8	7	8	6	8	10
Обов'язки	6	5	10	6	7	9

4.2 Опис ідеї проекту

Стартап-проект спрямований на впровадження технічних рішень з удосконалення системи вирівнювання полотна та провідних механізмів флексографських друкарських машин. Основою ідеї є використання результатів теоретичних і проектних досліджень, виконаних у магістерській роботі, для створення модернізованого вузла автоматичного бокового вирівнювання рулонного матеріалу, який забезпечує стабільне положення полотна та рівномірний натяг у динамічних режимах друку.

Запропоноване рішення дозволяє зменшити осьові зміщення матеріалу, покращити точність суміщення фарб і підвищити якість друку при високих швидкостях роботи флексографічних машин. Оптимізація конструкції опорних елементів і кінематичних параметрів вузла сприяє зниженню тертя, підвищенню плавності роботи механізму та збільшенню його експлуатаційної надійності.

Реалізація стартап-проекту орієнтована на поліграфічні підприємства, що працюють у сегменті гнучкої упаковки та етикеткової продукції, і дозволяє зменшити кількість технологічних відходів, простоїв обладнання та витрат на

переналагодження. Це відповідає сучасним вимогам підвищення енерго- та ресурсоефективності виробництва, а також принципам сталого розвитку.

У результаті впровадження проєкту створюються передумови для підвищення конкурентоспроможності флексографічних друкарських машин вітчизняного та імпортного виробництва за рахунок покращення якості друку, стабільності технологічного процесу та зниження експлуатаційних витрат.

Таблиця 4.5 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Мій проєкт (Модернізований вузол)	Конкуренти (Базові системи BST/Fife)	W (слабка)	N (нейтральна)	S (сильна)
1	Динамічна точність вирівнювання на високих швидкостях	+	-			+
2	Мінімальне тертя в опорних вузлах (довговічність)	+	n/a			+
3	Адаптивність до еластичних плівок (модель Пойнтінга-Томсона)	+	-			+
4	Простота інтеграції в існуючі друкарські лінії	+	+		+	
5	Вартість сервісного обслуговування та запчастин	+	-			+
6	Енергоефективність вузла осьового переміщення	-	+	+		

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Загалом ринок друкарських машин в останні роки спостерігав стабільне зростання. При цьому серед основних ринкових загроз можливо виділити потужну конкуренцію, та перенасиченість ринку.

Таблиця 4.6 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Розробка нових продуктів	Кінцеві споживачі, приватні особи	Різні потреби до продукту та якості	Простота та мала складність процесу, висока якість, тощо.

Таблиця 4.7 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Ціна	Ціна вища ніж у конкурентів	Зменшити ціну або запропонувати більше можливостей
2	Змінні витрати	Запасні запчастини можуть бути дорогими для клієнтів	Запропонувати дешеві запасні частини та гарантійний термін їх заміни, послугу оперативної заміни з виїдом техніки
3	Лояльність споживачів	Споживачі можуть надати перевагу дешевшій продукції, відомішим брендам	Впевнити покупців у якості товару та його продукції, дати певні гарантії
4	Розмір капіталовкладень	Проект може не окупитись при великих партіях через відсутність продажів	Спочатку виготовляти невеликі партії, провести рекламну кампанію

Таблиця 4.8 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Лояльність споживачів	Велика кількість покупців	Збільшити виробництво товару.
2	Прихильність споживачів	Клієнтам сподобалася продукція	Модернізувати, розробити новий товар.
3	Змінні витрати постачальників	Можуть збільшити або зменшити вартість деталей, сировини та інше.	Закупити за меншою ціною на майбутнє, зробити контракт на стару ціну при збільшенні.
4	Прибутки	Накопичення грошей	Впровадити гроші в розробки, модернізацію.

Таблиця 4.9 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони (S)	Слабкі сторони (W)
1. Висока точність вирівнювання полотна завдяки використанню математичної моделі Пойнтінга-Томсона. 2. Зниження енерговитрат та зносу деталей через модернізацію опорних вузлів (зменшення тертя). 3. Нижча вартість порівняно з повною заміною системи від іноземних брендів (BST, Fife). 4. Можливість адаптації під специфічні еластичні матеріали та тонкі плівки.	1. Необхідність індивідуального підгону вузлів під різні моделі друкарських машин. 2. Відносно довгий цикл тестування прототипу на реальному виробництві. 3. Обмежені фінансові ресурси на початковому етапі розробки (стадія стартапу). 4. Відсутність широкої впізнаваності бренду серед великих поліграфічних холдингів.

Продовження табл. 4.9

Можливості (О)	Загрози (Т)
1. Зростання попиту на якісну гнучку упаковку, що вимагає модернізації старого парку машин. 2. Імпортозаміщення: можливість замінити дорогі європейські комплектуючі вітчизняною розробкою. 3. Розширення функціоналу системи (додавання оптичних датчиків контролю дефектів). 4. Вихід на ринки сусідніх країн з пропозицією сервісного обслуговування та модернізації.	1. Поява на ринку дешевших китайських аналогів з базовим функціоналом. 2. Економічна нестабільність, що може призвести до скорочення інвестиційних бюджетів друкарень. 3. Стрімкий розвиток цифрового друку, що може знизити частку флексографії в певних сегментах. 4. Підвищення цін на металопрокат та електронні компоненти (мікроконтролери, сенсори).

Визначимо альтернативні стратегії виходу продукту на ринок (табл. 4.10).

Таблиця 4.10 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Продаж ліцензії на конструкторську документацію виробникам обладнання (OEM)	Середня. Потребує підтвердженої патентної чистоти та успішних результатів промислових випробувань, але забезпечує стабільний дохід без витрат на власне виробництво.	6–12 місяців (період переговорів та сертифікації).
2	Участь у галузевих виставках (напр., Drupa) та науково-технічних конференціях	Висока. Публічна демонстрація точності вирівнювання полотна дозволяє знайти прямих клієнтів (друкарні) та зацікавити венчурних інвесторів у галузі машинобудування.	До 1 року (залежно від графіку проведення виставок).
3	Прямі контракти на модернізацію існуючого парку машин (Retrofitting) для друкарень	Висока. Існує великий запит на оновлення старих машин. Це дозволяє отримати швидкі обігові кошти, хоча потребує наявності власної мобільної інженерної команди.	3–6 місяців (за наявності запиту від конкретного підприємства).

4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Враховуючи обрану ринкову стратегію, ми розробляємо докладну маркетингову стратегію для нашого продукту. Основною метою цієї маркетингової стратегії є підкреслення та виголошення переваг нашого товару порівняно з конкурентами. Під час цього процесу ми також визначаємо нашу цінову політику та проводимо аналіз прибутковості проекту.

Ця маркетингова стратегія не лише визначає, як ми будемо представляти наш продукт на ринку, але й визначає, яким чином ми будемо виділятися серед конкурентів та якими способами будемо залучати та утримувати клієнтів. Аналіз прибутковості проекту допомагає визначити, як проект вплине на фінансовий результат та які перспективи приносить.

Цей підхід дозволяє нам створити послідовний та обґрунтований маркетинговий план, який враховує унікальні особливості нашого продукту та потреби нашої цільової аудиторії.

Таблиця 4.11 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба клієнта (друкарні)	Вигода, яку пропонує ваш продукт	Ключові переваги перед конкурентами
1	Висока точність суміщення фарб (приводка)	Гарантоване утримання полотна по осі з мінімальною похибкою завдяки алгоритму на базі моделі Пойнтінга-Томсона.	Вища динамічна точність на еластичних плівках порівняно зі стандартними системами; просте налаштування.
2	Надійність та швидкий сервіс	Зменшення простоїв за рахунок модернізованих опорних вузлів та оперативного постачання запчастин.	Наявність виїзної інженерної команди для адаптації вузла та прямий канал зв'язку з розробниками для виправлення зауважень.
3	Універсальність (сумісність з парком машин)	Можливість інтеграції вузла вирівнювання у флексографічні машини різних типів (ярусні, планетарні) та брендів.	Гнучкість конструкції: розробка індивідуальних перехідних плит та кріплень для швидкої модернізації (ретрофіттингу) без капітальної перебудови машини.

Цей проект передбачає аналіз ринку, визначення стратегії виходу на ринок, розробку продукту та маркетингову стратегію. Також важливими є аспекти фінансування та ресурсів, робота над конкурентними перевагами та плани подальшого розвитку.

Зважаючи на всі ці кроки та аспекти, цей проект має потенціал стати успішним.

Висновки до розділу 4

В розділі проведено розробку та аналіз стартап-проекту. Визначено, що є можливість ринкової комерціалізації проекту, оскільки наявний попит і рентабельність. Є перспектива впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів (обрано великі поліграфічні підприємства). Немає бар'єрів входження. Прямих конкурентів, які пропонують таку технологію, немає. Конкурентоспроможність проекту висока. Обрано стратегію спеціалізації. Обґрунтовано, що подальша імплементація проекту є доцільною.

Отже, розроблений стартап відповідає сучасним вимогам до технічних рішень і вносить внесок у покращення роботи друкарських машин. Його рішення сприяють ефективній та якісній роботі друкарських машин, а також відкривають перспективи для їх розвитку.

Зазначимо, що цей стартап виступає не лише як технологічний проект, але і як важлива ланка в створенні стійкого, ефективного виробництва друкарської продукції.

Усі ці кроки визначають стратегію розвитку та запуску стартап-проекту. Ретельна розробка і планування допоможуть проекту знайти своє місце на ринку та успішно втілити ідею в реальність. Аналіз ринку та розробка ефективної маркетингової стратегії допоможуть привернути увагу цільової аудиторії та забезпечити успішний запуск проекту.

Важливим аспектом розробки стартапу є інноваційність та здатність пристосовуватися до змін на ринку.

ВИСНОВКИ

Сучасний ринок поліграфічної продукції вимагає від флексографічного друку високої швидкості виробництва при збереженні бездоганної точності суміщення фарб. Основним дестабілізуючим фактором у цьому процесі є динамічні коливання та бічне зміщення полотна, особливо під час роботи з еластичними плівками. Удосконалення систем вирівнювання та стабілізації натягу стрічки є важливою для мінімізації браку, підвищення якості продукції та забезпечення конкурентоспроможності поліграфічних підприємств.

За результатами виконаної роботи зроблено наступні висновки:

1. Підтверджено переваги флексографічного друку для пакувальної індустрії. Визначено, що стабільність роботи стрічкопровідної системи (розмотування, натяг, ведення) є визначальною для якості друку. Обґрунтовано доцільність удосконалення системи вирівнювання полотна для підвищення точності приводки на високих швидкостях.

2. Розроблено комплексну математичну модель стрічкопровідного тракту на основі моделі Пойнтінга-Томсона. Встановлено залежність між динамікою рулону та роботою стабілізуючих пристроїв. Це дозволило врахувати інерційні навантаження та реологічні властивості матеріалу для створення ефективних алгоритмів керування.

3. Розроблено модернізований вузол вирівнювання, де усунення тертя ковзання («підшипник-корпус») та впровадження регулювання осьового переміщення дозволили підвищити плавність ходу. Запропоноване рішення забезпечує стабільність реєстра, збільшує міжремонтні інтервали та знижує експлуатаційні витрати.

4. Аналіз ринку підтвердив конкурентоспроможність проекту з потенційною рентабельністю 20–30%. Відсутність прямих конкурентів у даному сегменті та орієнтація на великі поліграфічні підприємства роблять комерціалізацію розробки доцільною та перспективною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чехман Я. І. Друкарське устаткування / Я. І. Чехман. – Львів : УАД, 2018. 468 с.
2. Шостачук Ю. О. Техніка і технологія сучасного поліграфічного виробництва : навч. посіб. / Ю. О. Шостачук. – Київ : НТУУ «КПІ», 2019. 244 с.
3. Ярема С. М. Видавничі поліграфічні технології та обладнання / С. М. Ярема. – Київ : Університет «Україна», 2020. 320 с.
4. Хмілярчук О. І. Роз'ємні конструкції паперово-білової продукції: сфера поширення, види, класифікація / О. І. Хмілярчук, М. О. Клішина // Технологія і техніка друкарства. – 2020. – № 4(70). – С. 15–24.
5. Маїк, Л.Я. (2001). Аналіз тенденцій розвитку технологій, устаткування і матеріалів СтР. Комп'ютерні технології друкарства, (6), 322-327.
6. Маїк, В.З., Дудок, Т.Г., & Опотяк, Ю.В. (2012). Дослідження якості флексографічних друкарських форм з використанням розробленого програмно-апаратного комплексу. Поліграфія і видавнича справа, 4(60), 108-116.
7. Маїк, В.З., Дудок, Т.Г., & Опотяк, Ю.В. (2012). Новітні засоби оцінки якості параметрів друкованої продукції. Квалілогія книги, 1(21), 114-122.
8. Шевчук, А.В., & Пінчук, М.В. (2005). Цифрові технології – подальший напрям розвитку формних процесів флексографічного друку. Технологія і техніка друкарства, 3-4(9-10), 4-13.
9. Шибанов, В.В. (2011). Флексографічні фотополімерні форми. Львів: УАД.
10. Никируй, В.Е., & Маїк, В.З. (2012). Технологічні можливості СтР-пристроїв при виготовленні флексографічних друкарських форм. Комп'ютерні технології друкарства, (28), 311-317.
11. Козік, О.М. (2014). Флексографічний друк. Шлях від негатива на плівці до «Hgh Defnton Flexo». Технологія і техніка друкарства, 4(46), 29-34.

12. Обладнання видавничо-поліграфічного виробництва [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до лабораторних робіт для студентів спеціальності 186 "Видавництво та поліграфія" першого (бакалаврського) рівня / уклад. А. С. Гордєєв. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2022. 53 с.

13. Шостачук О. П. Особливості експлуатації пневматичних систем у флексографічних друкарських машинах // Чернігів, Журнал «Технічні науки та технології», 2019, С.27.

14. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11–12 грудн. 2013.) / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2013. 376 с.

15. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. Х Міжнар. наук.-техн. конф. (14-17 травня 2025, м. Харків) / редкол.: І.Б. Чеботарьова, О.В. Вовк, Ж.В. Дейнеко. Київ: ТОВ «Видавництво Ліра-К», 2025. Т. 1. 306 с.

16. Ткаченко В. П. Оперативні та спеціальні види друку. Технологія, обладнання / В. П. Ткаченко, В. П. Манаков, О. В. Шевчук. – Х. : ХНУРЕ, 2005. – С. 42–82.

17. Apparatus for feeding sheets to a sheet fed printing press : pat. 1200037 Great Britain : C07C 17/00. / Maclean A. F., Stautzenberger A. L. ; applicant British Petroleum Co Ltd. № 10793/68 ; filed 05.03.1968 ; publ. 22.07.1970.

18. Обладнання видавничо-поліграфічного виробництва. Навчально-методичне забезпечення навчальної дисципліни на сайті ПНС [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://pns.hneu.edu.ua/course/view.php?id=2020> (дата звернення 18.12.2025).

19. Компанія Zhuxin. Лідируючі виробники флексографських друкарських машин. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.zhuxinpapermachine.com/uk/application/flexographic-printer-manufacturers> (дата звернення 18.12.2025).

20. Day, B.P.F. Consumer Acceptability of Active and Intelligent Packaging // Proceeding of the «Active and Intelligent Packaging». Conference, 2000, 18 April. Zeist, The Netherlands: TNO, 2000.
21. Braun, D. Polymer synthesis: theory and practice. Fundamentals, methods, experiments / D. Braun, H. Cherdon, M. Rehahn, H. Ritter, B. Voit. - Springer, 2004. 400 p.
22. John R. Wagner Jr. Multilayer Flexible Packaging. - Oxford, UK: Elsevier Science & Technology, 2010. 300 p.
23. Aaron L. Brody. Active packaging for food application/ Aaron L. Brady, Eugene R. Strupinsky, Lauri R. Kline. - Boca Raton: CRC Press LLC, 2001. 224 p.
24. Massey, Liesl K. Permeability properties of plastics and elastomers : a guide to packaging and barrier materials / Liesl K. Massey. - Norwich: Plastics Design Library, 2003. 592 p.
25. Pizzi, A. Handbook of Adhesive Technology, Revised and Expanded / A. Pizzi, K.L. Mittal. - New York: Basel, 2003. 998 p.
26. Fink D., Transport Processes in Ion Irradiated Polymers and Applications, Springer Series in Materials Science, Vol. 65, Springer-Verlag, 2004.
27. Kang, H., Jang, B., Jeong, Y., & Song, Y. (2020). Mechanical Reliability of Printed Electronics Under Repeated Bending Conditions. Materials, 13(21), 4860. <https://doi.org/10.3390/ma13214860>.
28. Паспорт на машину SonderMaschinen SMB FD2/1432/UV
29. Паспорт на машину ЕМВА-244.
30. Паспорт на машину ФДР-1200/6.
31. Паспорт на машину ТПФ 850.