

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

НН Видавничо-поліграфічний інститут

Кафедра МАШИН ТА АГРЕГАТИВ ПОЛІГРАФІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

«На правах рукопису»
УДК 681.62.066

«До захисту допущено»

В. о. завідувача кафедри
_____ Андрій ІВАНКО
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності _____ 133 Галузеве машинобудування

на тему: _____ Дослідження листовивідних пристроїв листових друкарських машин

Виконав (-ла): студент (-ка) 2(6) курсу, групи ВМ - 41мп
(шифр групи)

_____ Мирончук Денис Юрійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник Доцент, кандидат наук, Шостачук Ю.О. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант економ. частина Доцент, к.т.н. Макатьора Д.А. _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент Доцент каф. ТПВ, к.т.н., доцент Коротенко О. В. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Видавничо-поліграфічний інститут

Кафедра Машини та агрегати поліграфічного виробництва

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною (освітньо-науковою) програмою «Комп'ютеризовані поліграфічні системи»

Спеціальність 133 - Галузеве машинобудування

«Затверджую»

В. о. завідувача кафедри

_____ Микола ЗЕНКІН

« ____ » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію**

студенту Мирончуку Денису Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема дисертації Дослідження листовивідних пристроїв листових друкарських машин

Науковий керівник дисертації Шостачук Юрій Олександрович, кандидат наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

1. Затверджена наказом по університету від «__» ____ .20__ р. № ____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження Процес транспортування та укладання аркушів у приймально-вивідних пристроях високошвидкісних листових друкарських машин

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньою програмою Закономірності руху аркуша на ділянці гальмування та засоби активного керування його швидкістю за задню кромку для забезпечення точності стапелювання

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Проаналізувати недоліки існуючих систем викладу аркушів, Дослідити динаміку руху аркуша на ділянці гальмування, Розробити математичну модель процесу зупинки аркуша, Запропонувати конструкцію системи активного гальмування за задню кромку, Оцінити економічну ефективність модернізації

6. Орієнтований перелік ілюстративного матеріалу Науковий апарат дослідження, аналіз існуючих конструкцій та схема сил, математична модель руху аркуша, кінематична схема модернізованого пристрою, конструкція вузла активного гальмування, циклограма роботи пристрою, техніко-економічні показники

7. Орієнтовний перелік публікацій Мирончук Денис Юрійович, Особливості аеродинаміки аркуша при високошвидкісному друці // Молодь і поліграфія: матеріали наук. конф. — Львів: УАД, 2025. — С. 12–13

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1.	Шостачук Ю.О., доцент		

9. Дата видачі завдання _____

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літератури та патентний пошук	01.09 – 20.09	Виконано
2	Теоретичні дослідження (Розділи 1-2)	21.09 – 15.10	Виконано
3	Розробка інженерного рішення (Розділ 3)	16.10 – 10.11	Виконано
4	Економічне обґрунтування (Розділ 4)	11.11 – 25.11	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	26.11 – 10.12	Виконано

Студент
(підпис)

(ініціали, прізвище)

Мирончук Д.Ю._____

Науковий керівник дисертації
(підпис)

(ініціали, прізвище)

Шостачук Ю.О._____

РЕФЕРАТ

Мирончук Д. Ю. Дослідження листовивідних пристроїв листових друкарських машин.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, ВПІ, кафедра МАПВ, 2025.

ПЗ: 82 стор., 26 рис., 2 табл.

Проведено аналіз існуючих конструкцій приймально-вивідних пристроїв сучасних листових друкарських машин. Розглянуто основні фактори, що впливають на якість укладання відбитків у стапель на високих швидкостях роботи.

Досліджено кінематику та динаміку руху листа на ділянці виведення.

Визначено вплив аеродинамічних сил на поведінку аркуша під час вільного польоту та гальмування.

Запропоновано методи удосконалення процесу викладу для запобігання деформації та відмарювання відбитків. Обґрунтовано техніко-економічну доцільність впровадження розроблених рішень.

Ключові слова: листова друкарська машина, приймальний стапель, вивідний пристрій, гальмування листа, аеродинаміка викладу, точність укладання.

ABSTRACT

Myronchuk D. Y. Research on sheet-fed devices of sheet-fed printing machines.

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Institute of Publishing and Printing, Department of Printing Machines and Automated Complexes, 2025.

Thesis: 82 pages, 26 figures, 2 tables.

An analysis of existing designs of delivery devices of modern sheet-fed printing machines is conducted. The main factors influencing the quality of stacking prints at high operating speeds are considered.

The kinematics and dynamics of sheet movement in the delivery section are investigated. The influence of aerodynamic forces on the sheet behavior during free flight and braking is determined.

Methods for improving the delivery process to prevent deformation and offsetting of prints are proposed. The technical and economic feasibility of implementing the developed solutions is substantiated.

Keywords: sheet-fed printing machine, delivery pile, delivery device, sheet braking, delivery aerodynamics, stacking precision.

Зміст

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1.....	7
1.1. Призначення та вимоги до пристроїв виведення.....	7
1.2. Конструктивні побудови приймально-вивідних пристроїв.....	8
1.3. Різновиди приймально-вивідних пристроїв та їх класифікація.....	11
1.4. Варіанти побудови та порівняльний аналіз вивідних транспортерів.....	14
1.5. Склад та особливості кінематики сучасних листовивідних систем.....	17
1.6. Огляд сучасних систем виведення та укладання провідних світових виробників.....	20
Висновки до розділу 1.....	25
РОЗДІЛ 2.....	27
2.1 Склад та функціональна схема приймально-вивідної системи.....	27
2.2. Дослідження процесу передачі листа в захоплення каретки листовивідного транспортера.....	29
2.3. Аналіз динаміки транспортування листа до приймального столу.....	32
2.4. Аналіз впливу приймально-укладальних пристроїв на формування стопи.....	36
2.5. Вплив допоміжних пристроїв на процес викладу та формування стопи.....	38
Висновки до розділу 2.....	43
РОЗДІЛ 3.....	44
3.1. Аналіз умов переміщення та гальмування листа.....	44
3.2. Визначення основних конструктивних і технологічних параметрів оптимального листосповільнювального пристрою.....	46
3.3. Дослідження нових конструкторських розробок, застосованих у провідних друкарських машинах.....	49
3.4. Обґрунтування вибору способу модернізації приймального пристрою.....	52
Висновки до розділу 3.....	55
РОЗДІЛ 4.....	56

4.1. Вихідні дані та обґрунтування вибору бази порівняння.....	56
4.2. Розрахунок річної виробничої потужності.....	57
4.3. Розрахунок собівартості продукції.....	60
4.4. Розрахунок показників економічної ефективності проекту.....	62
Висновки до розділу 4.....	65
Загальні висновки.....	66
Список використаної літератури.....	68
Додатки	

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасному поліграфічному виробництві одним із головних напрямків розвитку є підвищення продуктивності друкарського обладнання при збереженні високої якості продукції. Продуктивність листових офсетних машин значною мірою обмежується роботою приймально-вивідного пристрою, який є завершальною ланкою технологічного циклу.

Від надійності роботи модуля виведення та укладання залежить не лише швидкість роботи машини, але й якість готових відбитків. На сучасних швидкохідних машинах (зі швидкістю друку понад 15 000 арк./год) процес викладу супроводжується значними аеродинамічними навантаженнями та дією інерційних сил. Це може призводити до деформації аркушів, зминання їх передньої кромки, неточного стапелювання та відмарювання фарби через недостатній час для її закріплення.

Актуальним завданням є вдосконалення процесу транспортування та гальмування аркуша на ділянці виведення, що дозволить мінімізувати брак, забезпечити рівне формування стопи та підвищити загальну ефективність роботи друкарської машини.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності та якості процесу викладу листів у стапель шляхом дослідження кінематичних та аеродинамічних параметрів руху аркуша і вдосконалення механізмів його гальмування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Провести аналіз сучасного стану та конструктивних особливостей модулів виведення та укладання листових друкарських машин провідних світових виробників.
2. Дослідити вплив швидкісних режимів та характеристик паперу на процес транспортування аркуша від друкарської секції до приймального столу.
3. Провести теоретичне дослідження умов гальмування листа та визначити фактори, що впливають на точність його укладання у стапель.

4. Розробити рекомендації щодо вдосконалення конструкції або режимів роботи аркушесповільнювальних пристроїв для забезпечення стабільного викладу на високих швидкостях.

Об'єкт дослідження: процес виведення, гальмування та укладання віддрукованих листів у стапель листових друкарських машин.

Предмет дослідження: методи та засоби стабілізації руху аркуша та параметри модулів виведення (зокрема, гальмівних та аеродинамічних пристроїв).

Методи дослідження: У роботі використано методи теоретичного аналізу технічної літератури та патентної документації; аналітичні методи механіки для розрахунку кінематики руху листа; методи математичного моделювання для дослідження процесу гальмування.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Удосконалено математичну модель руху листа на ділянці гальмування з урахуванням аеродинамічного опору та змінних сил тертя.
2. Визначено залежність точності укладання від параметрів роботи вакуумних сповільнювальних роликів та їх взаємодії з повітряними потоками.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень можуть бути використані при модернізації існуючих приймально-вивідних пристроїв та розробці нових систем керування викладом, що дозволить зменшити кількість відходів паперу та підвищити експлуатаційну швидкість друкарських машин.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИВЕДЕННЯ ТА УКЛАДАННЯ ВІДДРУКОВАНИХ ЛИСТІВ

1.1. Призначення та вимоги до пристроїв виведення

Вивідні та приймальні пристрої в аркушевих ротаційних машинах є критично важливою ланкою технологічного процесу. Їхнє основне призначення — надійне виведення відбитків із друкарського апарата та їх акуратне укладання у стопу (стапель) для подальшої обробки. Якість роботи цих вузлів визначає не лише продуктивність машини, але й товарний вигляд продукції, оскільки саме на цьому етапі існує найбільший ризик пошкодження свіжого відбитка .

До сучасних приймально-вивідних пристроїв висуваються такі основні вимоги :

- 1. Надійність транспортування:** пристрій повинен стабільно працювати з широким спектром матеріалів (від тонкого паперу до жорсткого картону) на максимальних швидкостях машини без зминання передньої кромки або розривів.
- 2. Якість укладання:** формування рівної стопи з точністю до міліметра, що є необхідною умовою для подальших операцій різання та фальцювання.
- 3. Відсутність відмарювання:** запобігання контакту задрукованої поверхні з деталями машини або зворотним боком наступного аркуша (перетискування фарби).
- 4. Ергономічність:** можливість візуального контролю якості друку та виймання пробних відбитків без зупинки машини (системи Non-Stop).

Для забезпечення цих вимог до складу типового модуля входять: ланцюговий транспортер, механізми гальмування, розгладжувальні пристрої (декурлери), системи подачі повітря (роздуви) та стапельний стіл з автоматичним опусканням.

1.2. Конструктивні побудови приймально-вивідних пристроїв

Конструкція приймально-вивідного пристрою визначається форматом друкарської машини, її швидкістю та призначенням. У сучасній поліграфії прийнято розрізняти два основні типи побудови модулів викладу: з низьким та високим стапелем.

Найпростіші вивідні пристрої (роликові). На машинах малого формату та спрощеної конструкції (наприклад, для оперативної поліграфії) іноді реалізується найпростіше технологічне рішення — вивідний пристрій без ланцюгового транспортера. У такій схемі відбиток подається на приймальний стіл за допомогою системи вивідних роликів. Така конструкція є доцільною лише для машин зі швидкістю друку до 8 тис. відб./год та при роботі з малими тиражами. Відсутність складних механізмів (ланцюгів, кареток) зменшує вартість та навантаження на привід. Проте при збільшенні швидкості або формату використання такої схеми стає проблематичним, оскільки практично неможливо отримати рівний стапель — листи "вилітають" за інерцією і не встигають осідати.

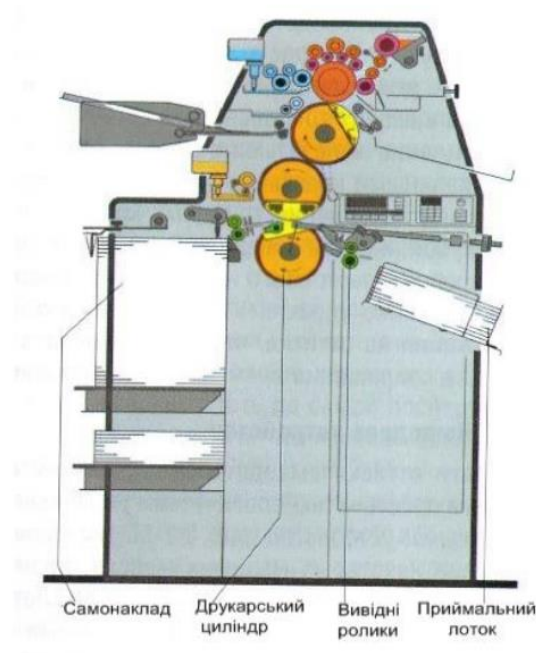


Рисунок 1.1. Офсетна машина малого формату з подачею відбитка роликами на приймальний стіл.

Низькостапельні приймальні пристрої. Цей тип пристроїв є стандартом для малоформатних машин (клас GTO, формат A3/B3). Висота стопи тут зазвичай становить не більше 50 см, що достатньо для накладів у межах 1000–5000 відбитків. Конструктивно такий пристрій є компактним: короткий ланцюговий транспортер переміщує аркуш від друкарського циліндра до стапеля по прямій горизонтальній траєкторії. Переваги: Компактність, низька вартість, зручність для оператора (легко виймати малі наклади). Приклад: Приймальний пристрій машини Heidelberg GTO 52.

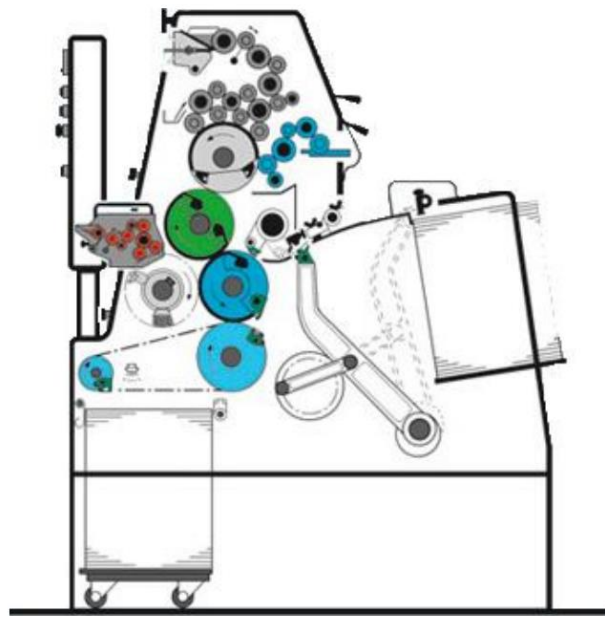


Рисунок 1.2. Низькостапельний приймальний пристрій офсетної листової машини Heidelberg GTO 52.

Високостапельні приймальні пристрої. Використовуються на машинах форматів від A2 і вище. Висота стапеля сягає 0,9–1,2 м, що дозволяє працювати з великими накладами без частих зупинок на заміну палети. Конструкція таких пристроїв значно складніша через необхідність вирішення низки аеродинамічних проблем:

Проблема швидкості: Аркуш надходить у вивідний пристрій на робочій швидкості машини. Відстань між останньою секцією та стапелем долається за частки секунди (менше 1 с), що створює ризик відмарювання фарби, яка ще не встигла закріпитися.

Деформація паперу: На високих швидкостях легкий папір схильний до деформацій під дією повітряних потоків, викликаних рухом захватів. Це може призвести до контакту задрукованої поверхні з деталями машини.

Аеродинаміка укладання: Для швидкого опускання листа на стопу використовуються роздувачі (вентилятори), розташовані над стапелем між гілками ланцюга. Подача повітря має бути відрегульована так, щоб лист прогинався посередині — це дозволяє витиснути повітряну подушку з-під листа в боки ("ефект човника"), забезпечуючи рівне укладання.

Типовий склад високостапельного пристрою включає: ланцюговий транспортер, вивідний барабан, сушильний модуль (ІЧ або УФ), систему роздування листа, гальмівні ролики та механізм автоматичного опускання стапеля.

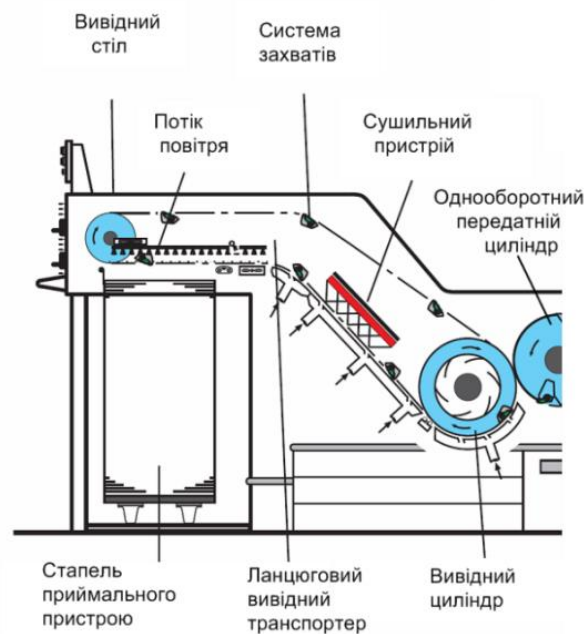


Рисунок 1.3. Високостапельний приймальний пристрій машини Heidelberg Speedmaster SM

74.

Подовжені вивідні пристрої (Extended Delivery). Для друку на складних матеріалах (картон, металізований папір) або при використанні товстих шарів фарби та лаку застосовують подовжені конструкції виводу. Збільшення довжини горизонтальної ділянки транспортера дозволяє:

Встановити додаткові секції сушіння.

Дати більше часу на охолодження відбитка або полімеризацію лаку.

Зменшити ризик скручування листа, яке виникає через липкість фарби при відриві від офсетного полотна.

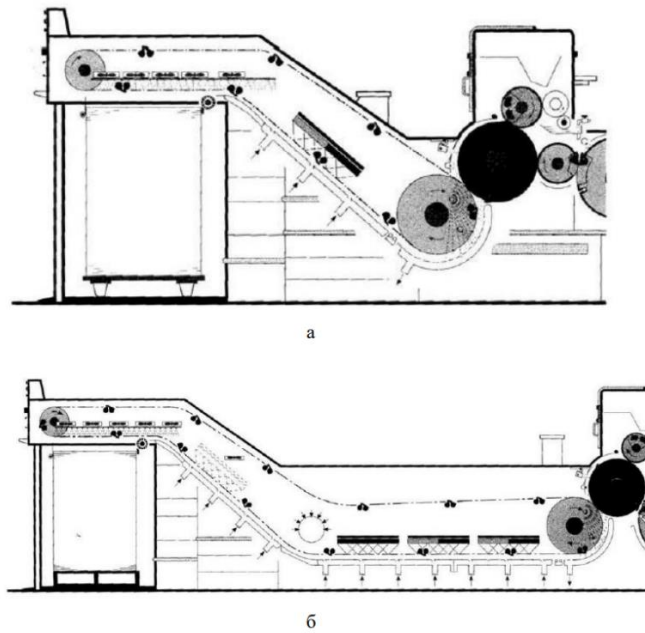


Рисунок 1.4. Варіанти стандартного (а) та подовженого (б) приймально-вивідного пристрою.

1.3. Різновиди приймально-вивідних пристроїв та їх класифікація

Для забезпечення технологічного процесу друку на машинах різної конфігурації (однофарбових, багатофарбових, з пристроями перевероту) використовуються різні схеми побудови вивідних пристроїв. Їх класифікують за двома основними ознаками: напрямком виведення відбитків та способом їх транспортування до стапеля.

Класифікація за напрямком виведення. Залежно від того, куди спрямований рух листа при викладі відносно руху в друкарській машині, розрізняють два типи пристроїв:

1. Пристрої зі зворотним виводом (у бік самонакладу). У цій схемі лист виводиться у протилежному напрямку до подачі паперу.

- **Особливості:** Для того щоб відбитки уклалися зображенням вгору, їх необхідно перевертати в процесі транспортування.
- **Недоліки:** Така схема ускладнює застосування високостапельних приймальних пристроїв, оскільки зона приймання знаходиться над друкарськими секціями або поруч із самонакладом. Це обмежує доступ для

обслуговування та ускладнює візуальний контроль якості відбитків на ходу машини. Крім того, додаткові маніпуляції з листом (перевертання) підвищують ризик змазування зображення та відмарювання фарби.

- **Застосування:** Зустрічається переважно на старих моделях машин або спеціалізованому обладнанні.



Рисунок 1.5. Схема виводу відбитків зі зворотним виводом.

2. Пристрої з фронтальним (прямим) виводом. Лист рухається в тому ж напрямку, що й крізь друкарські секції, і викладається в кінці машини.

- **Переваги:** Ця схема є домінуючою у сучасному машинобудуванні. Вона забезпечує вільний доступ до приймального стапеля з трьох боків, дозволяє легко інтегрувати сушильні модулі та системи контролю якості. Лист викладається природним чином (зображенням вгору) без зайвих перегинів, що мінімізує деформацію паперу.
- **Особливості:** Дозволяє використовувати стапелі будь-якої висоти та системи автоматизованої логістики палет.

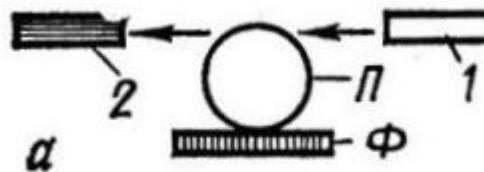


Рисунок 1.6. Схема виводу відбитків із фронтальним виводом.

Класифікація за способом транспортування (формування потоку). Залежно від того, як листи надходять на приймальний стіл, розрізняють чотири основні способи:

1. Послідовне виведення (один за одним). Листи рухаються з інтервалом, що відповідає циклу машини. Кожен наступний лист приходить на стапель тільки після того, як попередній був покладений.

- **Застосування:** Найбільш поширений спосіб у ланцюгових вивідних пристроях офсетних машин. Він забезпечує чітку синхронізацію та точне позиціонування кожного аркуша.

2. Виведення з перекриттям (каскадним потоком). Листи транспортуються із взаємним перекриттям (накладанням) у горизонтальній або похилій площині, подібно до того, як вони подаються на самонакладі.

- **Переваги:** Дозволяє значно знизити швидкість руху листів при підході до передніх упорів, не зменшуючи продуктивність машини. Це забезпечує більш м'яке укладання.

- **Застосування:** Використовується рідше, переважно в спеціальних швидкісних лініях або лакувальних машинах.

3. Виведення підібраними комплектами. На приймальний стіл надходить не один лист, а відразу підібраний комплект (наприклад, у газетних агрегатах або машинах для друку бланків). Це специфічне рішення для вузького сегмента обладнання.

4. Виведення у вертикально підвішеному положенні. Листи сушаться і транспортуються вертикально. Такий спосіб характерний для машин глибокого друку або спеціального сушіння, де контакт із поверхнею транспортера є неприпустимим до повного висихання фарби.

У сучасних листових офсетних машинах абсолютним стандартом є фронтальне послідовне виведення за допомогою ланцюгового транспортера, оскільки воно забезпечує найкращий баланс між швидкістю, якістю укладання та зручністю обслуговування.

1.4. Варіанти побудови та порівняльний аналіз вивідних транспортерів

Вивідний транспортер є ключовим вузлом, що забезпечує переміщення відбитка від останнього друкарського циліндра до приймального стапеля. Залежно від конструктивного виконання та способу утримання листа, вивідні транспортери поділяються на чотири основні групи: тасьмові, вакуумні, поличкові та ланцюгові.

Тасьмові (стрічкові) транспортери Це один із найстаріших типів транспортерів, який сьогодні зустрічається переважно на тихохідних машинах або в спеціалізованому обладнанні.

- **Принцип дії:** Аркуш виводиться на систему рухомих нескінченних тасьм (стрічок), що огинають шківів. Утримання листа відбувається лише за рахунок сили тертя між папером і тасьмою.
- **Недоліки:** Головною проблемою є відсутність жорсткої фіксації листа. Це призводить до проковзування відбитків, їх перекосу та неточної синхронізації з роботою зіштовхувачів на стапелі. Крім того, при виведенні відбитків зображенням вниз (що іноді трапляється), тасьми контактують зі свіжою фарбою, розмазуючи її ("змазування") та забруднюючись самі.
- **Сфера застосування:** Машини малих форматів із низькою швидкістю друку.

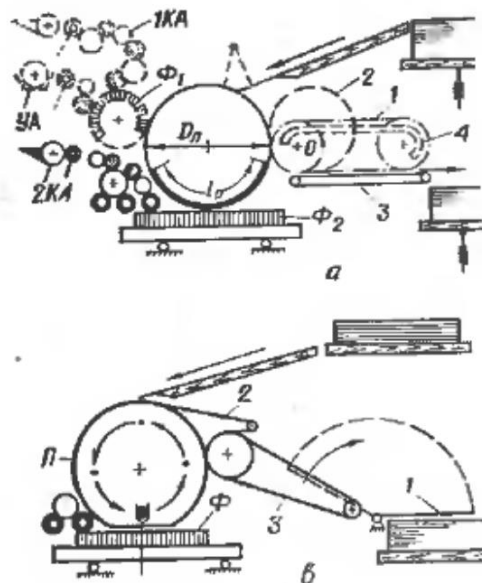


Рисунок 1.7. Схеми застосування тасьмових транспортерів у друкарських машинах.

Вакуумні транспортери Є вдосконаленою версією тасьмових систем. Вони створені для усунення недоліку проковзування листа.

- **Принцип дії:** Конструктивно базуються на тасьмах або широких перфорованих ремнях. Між гілками тасьм розташовані вакуумні камери, підключені до насоса. Через отвори або проміжки між стрічками створюється розрідження, яке надійно присмоктує лист до транспортера.
- **Переваги:** Забезпечують щільне прилягання відбитка, що виключає його зміщення чи проковзування. Завдяки сильній фіксації такі транспортери можуть переміщувати листи навіть у вертикальній площині або "вниз головою" (на нижній гілці).
- **Сфера застосування:** Спеціальні друкарські машини, лінії сортування відбитків, цифрові друкарські машини, де важлива точність позиціонування без механічних захватів.

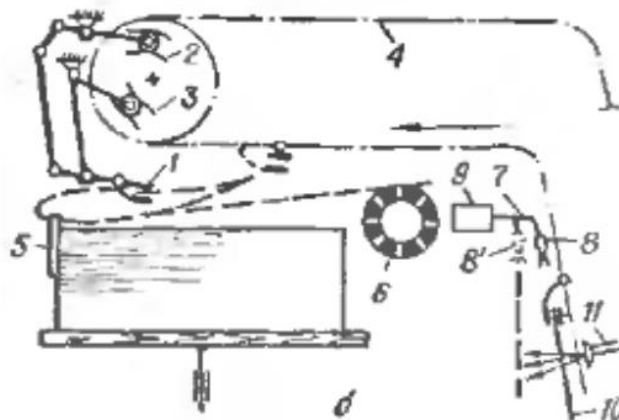


Рисунок 1.8. Схема вакуумного листоприймального пристрою (1 — сортувальні комірки, 2 — тасьми, 4 — вакуумні камери).

Поличкові транспортери Специфічний вид транспортерів, розроблений для умов, де контакт аркушів один з одним або з деталями машини є критичним.

- **Принцип дії:** Транспортер складається з ланцюга, на якому закріплені спеціальні полиці або рамки. Кожен відбиток потрапляє на окрему полицю і рухається ізолювано від інших. Часто такий транспортер проходить крізь теплоізольовану камеру сушіння.

- **Недоліки:** Громіздкість конструкції та придатність лише для роботи з жорсткими матеріалами або аркушами малого формату. Механізм ефективний лише на малих швидкостях.
- **Сфера застосування:** Трафаретний друк (шовкографія), друк на жерсті, виготовлення друкованих плат, де потрібен тривалий час сушіння товстого шару фарби без контакту.

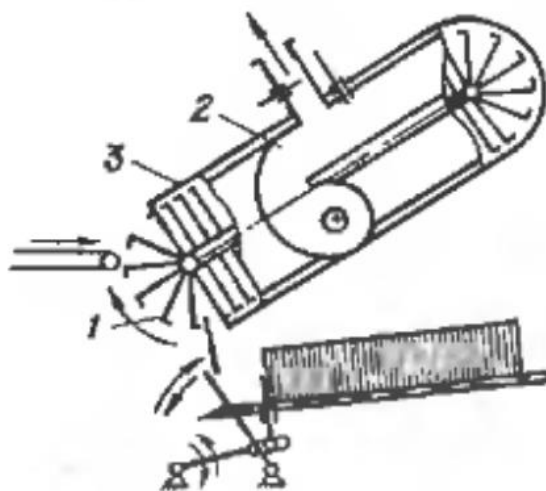


Рисунок 1.9. Схема поличкового листовивідного пристрою (1 — поличці, 2 — сушильний пристрій).

Ланцюгові транспортери Це "золотий стандарт" для сучасних офсетних листових машин, оскільки вони позбавлені більшості недоліків попередніх типів.

- **Принцип дії:** Основою є два паралельні втулково-роликові ланцюги, що рухаються в замкнутих напрямних шинах. Між ланцюгами з певним кроком закріплені поперечні штанги — каретки. На каретках встановлені підпружинені захвати (клапани), які механічно затискають передню кромку листа.
- **Кінематика процесу:** Ведучі зірочки транспортера жорстко синхронізовані з друкарським циліндром через зубчасту передачу.
- У момент передачі листа (точка А на схемі) захвати каретки закриваються під дією пружин. Відкриття захватів для скидання листа на стапель

відбувається при набіганні ролика каретки на спеціальну профільну гірку (ексцентрик).

Переваги:

1. Жорстка фіксація передньої кромки гарантує ідеальну синхронізацію руху листа з циклом машини.
2. Можливість роботи на будь-яких швидкостях (до 18-20 тис. відб./год).
3. Здатність реалізовувати складні траєкторії руху (обхід сушок, підйом стопи).
4. Можливість регулювання моменту відпускання листа залежно від формату та товщини паперу.
5. Саме ланцюгові транспортери є об'єктом вдосконалення у провідних виробників (Heidelberg, KBA, Manroland) і будуть основним об'єктом дослідження у цій роботі.

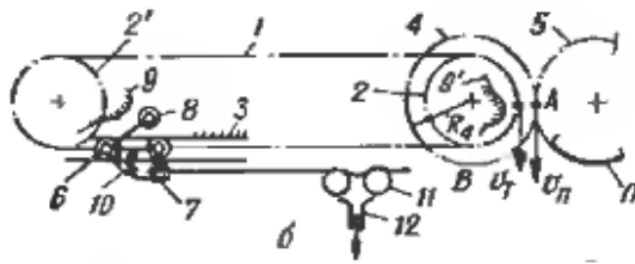


Рисунок 1.10. Кінематична схема ланцюгового листовивідного пристрою

1.5. Склад та особливості кінематики сучасних листовивідних систем

У сучасних друкарських машинах середнього та великого форматів (від A2 до A0+) листовивідні системи є складними інженерними комплексами. На відміну від простих прямих транспортерів, вони мають нелінійну траєкторію руху, що зумовлено технологічними вимогами: необхідністю обходу фарбових апаратів, забезпеченням зони обслуговування та розміщення сушильного обладнання.

Типовий склад модуля виведення. Узагальнена схема сучасного високостапельного пристрою включає такі функціональні вузли:

Транспортувальна система:

1. Ланцюги: Два безкінечних втулково-роликів ланцюги, що рухаються у спеціальних напрямних шинах.

Каретки (штанги): З'єднують ланцюги та несуть на собі систему підпружинених захватів. Для зменшення інерційних навантажень на високих швидкостях (понад 3 м/с) корпуси кареток виготовляють із легких сплавів (алюмінієвих або титанових), а їхню форму роблять аеродинамічною (схожою на крило літака) для зменшення турбулентності.

Зірочки: Ведучі (приводні) зірочки синхронізовані з головним валом машини, а натяжні (пасивні) зірочки забезпечують необхідний натяг ланцюгів.

2. Система керування захватами:

Механізм захватів утримує передню кромку листа. Відкриття захватів у точці скидання відбувається при набіганні ролика захвату на нерухому профільну гірку (кулачок). Положення цього кулачка регулюється залежно від формату та маси паперу.

3. Аеродинамічні засоби:

Вентиляторні модулі та сопла: Розташовані над траєкторією руху листа для створення притискного зусилля.

Екрани (щитки): Встановлюються на поворотах траєкторії для запобігання контакту листа з деталями машини.

4. Система формування стопи:

Гальмівні пристрої: Вакуумні ролики або стрічки, що перехоплюють хвостову частину листа.

Зіштовхувачі (рівняльники): Бічні та задні планки, що вібрують і вирівнюють стопу.

Передні упори: Обмежують рух листа за інерцією.

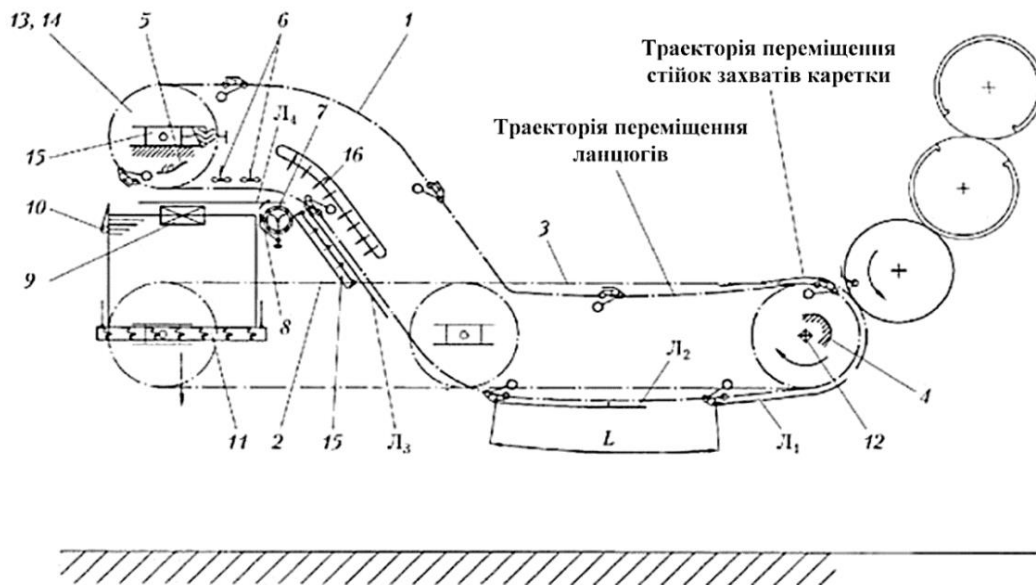


Рисунок 1.11. Узагальнена схема листовивідних та приймальних пристроїв

Кінематика руху та динамічні навантаження. Траєкторія руху листовивідної каретки у високостапельних машинах є складною. Вона включає висхідну ділянку (підйом від циліндра), горизонтальну ділянку ("політ" над зоною обслуговування) та низхідну ділянку (опускання до стапеля).

Під час руху виникають специфічні кінематичні ефекти, які впливають на стабільність листа:

- 1. Коливання швидкості (Нерівномірність ходу).** При переході ланцюга з криволінійної траєкторії (на зірочці) на прямолінійну виникає миттєва зміна швидкості. Це пов'язано з різницею радіусів: радіус руху захватів ($R1$) зазвичай більший за радіус ділильного кола зірочки ($R3$). Коефіцієнт нерівномірності швидкості може досягати $\beta = R1/R3 \approx 1,1-1,2$.
- 2.** Це означає, що при сходженні з повороту каретка різко сповільнюється, що може викликати інерційний зсув листа вперед б.
- 3. Дія відцентрових сил ("Ефект батога").** На криволінійних ділянках (особливо при підйомі вгору) на хвостову частину листа діють значні відцентрові сили. Оскільки лист закріплений лише за передню кромку, його "хвіст" намагається рухатися по дотичній, що призводить до сильного удару об напрямні або наступні каретки. Це явище називають ефектом

"батога". Для боротьби з ним використовують спеціальні напрямні дуги та повітряні притискачі, що утримують лист у безпечній зоні.

- 4. Аеродинамічний опір.** При швидкостях понад 3 м/с лист поводить як аеродинамічне крило. Підйомна сила може дестабілізувати його політ ("злітання"). Тому важливою частиною конструкції є перфоровані екрани, крізь які відсмоктується повітря (створення розрідження під листом) або подається притискний потік зверху.

Розуміння цих процесів є критичним для налаштування машини: оператор повинен регулювати силу роздувів та момент відкриття захватів так, щоб компенсувати інерційні сили та забезпечити плавне входження листа в зону гальмування.

1.6. Огляд сучасних систем виведення та укладання провідних світових виробників

Аналіз ринку поліграфічного устаткування показує, що провідні виробники (Heidelberg, KBA, Ryobi) у своїх флагманських моделях зосереджують увагу не лише на механіці транспортування, а на комплексній аеродинамічній стабілізації листа. Оскільки робочі швидкості машин досягли 15 000–18 000 відб./год, традиційні методи вже не гарантують якісного укладання. Розглянемо детальніше інженерні рішення, реалізовані в сучасних машинах.

Інноваційні рішення компанії Heidelberg (Німеччина). Концерн Heidelberger Druckmaschinen AG є законодавцем мод у галузі листового офсету. У машинах серій Speedmaster (SM 74, CD 74, XL 75/105) застосовуються найбільш передові технології керування рухом листа.

Для машин малого та середнього форматів стандартними є низькостапельні пристрої, проте для високопродуктивних машин використовуються високостапельні модулі зі складною траєкторією ланцюгів.

Система Venturi. У моделі Speedmaster CD 74, розробленій для друку етикетки та упаковки, впроваджено революційну технологію проводки листа Venturi. Суть технології полягає у використанні спеціальних напрямних листів

під вивідними гілками ланцюга. У цих напрямних виштампувані сопла особливої форми, через які подається повітря. Згідно із законом Бернуллі, це створює зону зниженого тиску, що змушує лист «прилипати» до повітряної подушки, але не торкатися металу.

Переваги:

- Лист рухається стабільно та паралельно напрямній на будь-якій швидкості.
- Виключається контакт зворотного боку відбитка з напрямними, що критично при двосторонньому друці.
- Система автоматично компенсує подачу повітря залежно від швидкості машини та щільності картону/паперу.

Для покращення аеродинаміки самі ланцюги транспортера закриті гладкими пластмасовими кожухами, що зменшує турбулентність повітря всередині приймального пристрою.



Рисунок 1.12. Приймальний пристрій Heidelberg CD-74 з аеродинамічною системою Venturi.

Система Preset Plus. Це нове покоління подовжених приймальних пристроїв. Головною інновацією тут є відмова від жорстких гальмівних барабанів на користь динамічних вакуумних стрічок (тасьм). Принцип роботи: Гальмівний модуль складається з кількох рухомих вакуумних стрічок. Центральна стрічка зазвичай нерухома або рухається прямо, а бічні стрічки можуть змінювати кут нахилу. У момент перехоплення листа стрічки рухаються зі швидкістю машини, а потім плавно сповільнюються. Завдяки нахилу бічних стрічок відбувається ефект поперечного розтягування листа ("розгладжування" від центру до країв). Це повністю усуває проблему зминання задньої кромки та забезпечує ідеально рівну стопу.



Рисунок 1.13. Подовжений приймальний пристрій Preset Plus (довжина подовження 160 см) машини Heidelberg CD-74.

Високошвидкісні рішення компанії КВА (Koenig & Bauer, Німеччина).

Компанія КВА традиційно лідирує у сегменті друку пакування та картону. Машини серії Rapida 74 та Rapida 105 розраховані на екстремальні навантаження та швидкості до 18 000–20 000 відб./год.

Особливістю приймальних пристроїв КВА є широке використання пневматичних систем. Передача листа від останньої секції до транспортера, а також його рух по траєкторії підтримуються потужними повітряними потоками. Це дозволяє працювати з матеріалами широкого діапазону товщин без переналагодження механіки. Керування всіма параметрами виводу (сила вакууму на гальмівних роликах, інтенсивність роздування, момент відкриття захватів) здійснюється дистанційно з центрального пульта ErgoTronic. Це дозволяє зберігати налаштування (профілі) для тиражів, що повторюються.

Також машини КВА часто оснащуються системами логістики, які дозволяють підняти фундамент машини на 250–500 мм для збільшення ємності стапеля, що важливо при друку на товстому картоні.



Рисунок 1.14. Високостапельний приймальний пристрій машини КВА Rapida 74.

Окремо варто відзначити серію КВА Performa 66 (виробництва КВА-Grafitec, Чехія). Це машини формату А2, орієнтовані на середні підприємства. Їхні приймальні пристрої, хоч і простіші за серію Rapida, оснащені поворотними пультами керування з сенсорними дисплеями, що забезпечує високу ергономіку праці друкаря.



Рисунок 1.15. Приймально-вивідний пристрій машини КВА Performa 66 з пультом керування.

Технологічні особливості машин Ryobi (Японія) Японський виробник Ryobi (зокрема модель Ryobi 780E). Фокусується на універсальності та економічності. Концепція цих машин передбачає якісний друк коротких тиражів на широкому спектрі матеріалів: від надтонкого паперу (0,04 мм) до картону (0,6 мм).

Робота з тонким папером на високій швидкості є найскладнішим завданням для виводу, оскільки такий папір схильний до електризації та "зависання" в повітрі. Для вирішення цієї проблеми Ryobi застосовує:

Потужні деіонізатори: Пристрої для зняття статичного заряду, встановлені безпосередньо перед зоною скидання листа.

Регульована система роздування ("Повітряний душ"): Над стапелем розташована матриця вентиляторів, які примусово притискають легкий лист до стопи, не дозволяючи йому деформуватися.

Вакуумні гальмівні барабани: Забезпечують м'яке перехоплення листа після відкриття захватів, що гарантує відсутність пошкоджень кромek навіть на максимальній швидкості.

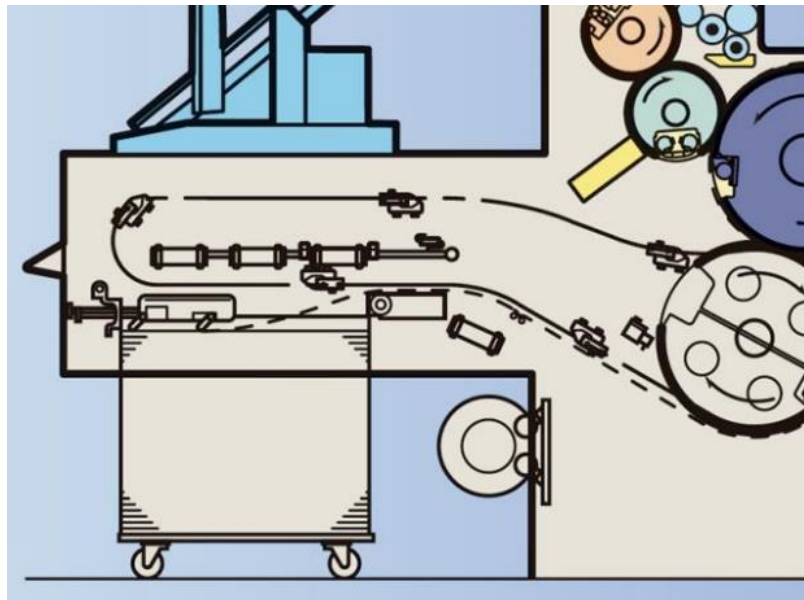


Рисунок 1.16. Схема приймально-вивідного пристрою машини Ryobi 780E з елементами роздування та зняття статичного заряду.

Висновки до розділу 1

У даному розділі проведено комплексний аналіз сучасного стану та конструктивних особливостей пристроїв для виведення та укладання віддрукованих аркушів. Розглянуто основні схеми побудови модулів (низько- та високостапельні), їхні варіанти виконання (фронтальний та зворотний вивід) та типи транспортувальних систем.

В результаті огляду технічної документації та рішень провідних виробників (Heidelberg, KBA, Ryobi) встановлено, що найбільш ефективним для сучасних офсетних машин є використання ланцюгових транспортерів у поєднанні з вакуумними та аеродинамічними системами керування рухом листа.

Було виділено та систематизовано основні етапи, які проходить віддрукований лист від останньої секції друкарської машини до приймального столу:

- 1. Передача листа:** перехоплення передньої кромки із захватів друкарського циліндра в захвати листовивідної каретки та виведення аркуша із зони друкарського контакту.
- 2. Транспортування:** переміщення листа по складній траєкторії до приймального стапеля, яке супроводжується дією відцентрових сил та аеродинамічних навантажень.
- 3. Гальмування:** примусове уповільнення швидкості листа (гасіння кінетичної енергії) за допомогою вакуумних роликів або стрічок перед моментом скидання.
- 4. Вільний політ:** рух листа за інерцією з моменту відкриття захватів до моменту удару об передні упори.
- 5. Укладання (стапелювання):** опускання листа на приймальний стіл під дією власної ваги та притискних повітряних потоків, формування рівної стопи за допомогою зіштовхувачів.

Аналіз показав, що кожен етап переміщення пов'язаний зі специфічними проблемами, особливо на високих швидкостях друку. До основних дефектів, що виникають у процесі викладу, відносяться: надрив передніх крамок, змазування фарбового зображення (відмарювання), гофрування листа та скручування його

задньої кромки ("ефект локонів"). Вирішення цих проблем потребує детального дослідження кінематики та динаміки руху листа, що буде розглянуто в наступних розділах.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ЕТАПІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА УКЛАДАННЯ АРКУШІВ

2.1. Склад та функціональна схема приймально-вивідної системи

Сучасний модуль виведення та укладання відбитків є складним автоматизованим комплексом, який повинен забезпечити миттєве гасіння швидкості листа та його точне позиціонування. Для аналізу роботи системи доцільно розглядати її як сукупність функціональних підсистем, що взаємодіють синхронно з циклом друкарської машини.

До складу типового приймально-вивідного пристрою входять такі основні вузли:

1. Аркушесповільнювальні пристрої (Система гальмування) Це критично важливий елемент для швидкісних машин. Його функція — зменшити лінійну швидкість листа в момент його звільнення із захватів каретки.

Конструкція: Зазвичай це порожнисті вакуумні ролики (барабани) або набір вакуумних стрічок. Внутрішня порожнина з'єднана з насосом, а на поверхні є отвори для присмоктування листа.

Принцип дії: Ролики обертаються зі швидкістю, що становить 30–50% від швидкості каретки. Коли хвостова частина листа потрапляє в зону дії вакууму, виникає сила тертя, яка гасить кінетичну енергію листа. Це дозволяє уникнути сильного удару передньої кромки об упори та запобігає її зминанню .

2. Повітродувні (аеродинамічні) пристрої Призначені для керування траєкторією польоту листа та його примусового опускання на стапель. Без цих пристроїв легкий аркуш під дією опору повітря міг би "злетіти" або хаотично планувати.

Верхні вентилятори: Розташовані блоками над стапелем. Вони створюють потік повітря, спрямований вниз, який "прибиває" лист до стопи.

Роздуви на напрямних: Створюють повітряну подушку під листом під час його руху, що мінімізує тертя та запобігає відмарюванню фарби .

3. Аркушеукладальні та зіштовхувальні пристрої (Механізм рівняння)

Після падіння на стіл лист лягає з певною похибкою. Для формування ідеально рівної стопи використовуються механічні рівняльники.

Бічні зіштовхувачі: Планки, що здійснюють зворотно-поступальні (вібраційні) рухи поперек напрямку друку. Вони вирівнюють бічні кромки стопи.

Задні зіштовхувачі: Підбивають лист по ходу руху, притискаючи його передню кромку до нерухомих передніх упорів.

Передні упори: Обмежувачі, які зупиняють рух листа за інерцією. Часто вони мають можливість відкидатися для зручності виймання пробного відбитка .

4. Приймальні столи та їх приводи Це платформа, на якій формується стапель. Стіл підвішується на чотирьох ланцюгах або тросах.

Автоматика опускання: Стіл оснащений приводом, який автоматично опускає його по мірі накопичення продукції. Керування здійснюється за сигналами оптичних або ємнісних датчиків, які контролюють верхній рівень стопи. Точність роботи цього механізму важлива для підтримки постійної висоти падіння листа.

5. Пристрої для розвантаження на ходу машини (Non-Stop)

Використовуються для підвищення коефіцієнта корисного використання обладнання (ККД).

Принцип дії: У момент заповнення основного стапеля в зону приймання вводиться тимчасова решітка (або допоміжний стіл), на яку продовжують укладатися відбитки. Це дозволяє оператору вивезти повну палету і встановити нову без зупинки друку. Потім решітка прибирається, і стопа об'єднується.

6. Допоміжні системи фінішної обробки Сюди відносяться вбудовані модулі, що впливають на якість продукції безпосередньо у приймальному пристрої:

Противідмарювальні апарати: Розпилюють порошок для створення проміжку між листами.

Деіонізатори: Знімають статичний заряд, що покращує укладання синтетичних матеріалів та тонкого паперу.

Взаємодія всіх цих вузлів повинна бути строго синхронізована. Будь-яке відхилення в роботі одного з елементів (наприклад, слабкий вакуум у гальмівних роликах або збій датчика висоти стопи) призводить до зупинки машини або браку продукції.

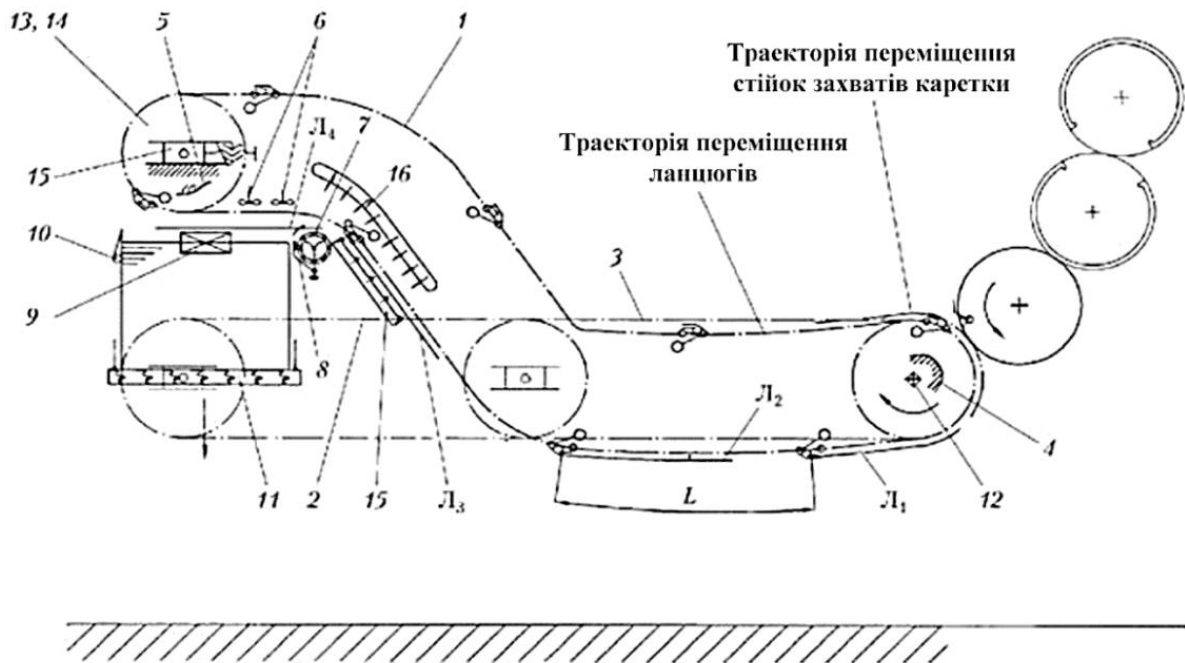


Рисунок 2.1. Узагальнена схема листовивідного та приймального пристрою, де показано розміщення основних вузлів (1-3 — транспортер, 6 — повітродувні пристрої, 7 — гальмівний пристрій, 8-9 — зіштовхувачі, 11 — стапель).

2.2. Дослідження процесу передачі листа в захоплення каретки листовивідного транспортера

Передача задрукованого листа від останнього друкарського циліндра до листовивідного транспортера є початковим і одним із найбільш критичних етапів процесу виведення. Надійність цієї операції визначається точністю синхронізації швидкостей, силою утримання листа у захватах та умовами його відриву від липкої поверхні офсетного полотна.

Конструктивні умови передачі

Основним транспортувальним механізмом є ланцюговий транспортер, що складається з двох втулково-роликових ланцюгів, з'єднаних каретками із

захватами. Ланцюги рухаються у профільованих напрямних, які задають траєкторію руху.

Кінематичний зв'язок здійснюється через зубчасту передачу від головного валу машини до валу ведучих зірочок транспортера.

Обов'язковою умовою безударної передачі листа є рівність колових швидкостей захватів друкарського циліндра ($v_{\text{др}}$) та захватів листовивідної каретки ($v_{\text{к}}$) у точці контакту (точці перехоплення):

$$v_{\text{др}} = v_{\text{к}} \quad (2.1)$$

Це досягається за умови, що радіус траєкторії руху стійок захватів каретки на зірочці (R_1) дорівнює радіусу друкарського циліндра по носках захватів.

Аналіз процесу відриву листа від офсетного полотна

У момент передачі листа на нього діють значні сили, зумовлені в'язкістю фарби. Аркуш, проходячи зону друкарського контакту, "прилипає" до офсетного полотна.

Процес відриву характеризується такими етапами 2:

Зона супроводу: Після виходу з друкарського контакту лист продовжує рухатися разом з поверхнею офсетного циліндра, утримуючись силами адгезії.

Точка відриву: Захвати каретки, які вже зафіксували передню кромку листа, починають відводити його від поверхні циліндра. Відрив відбувається під певним кутом α (кут відриву).

Сила натягу листа T , що виникає при цьому, залежить від швидкості друку (v), в'язкості фарби (η), площі задруковування (S) та властивостей паперу. Якщо сила адгезії перевищить силу тертя в захватах каретки, лист може бути висмикнутий, що призведе до аварійної зупинки. Тому зусилля пружин захватів каретки розраховується із запасом на утримання.

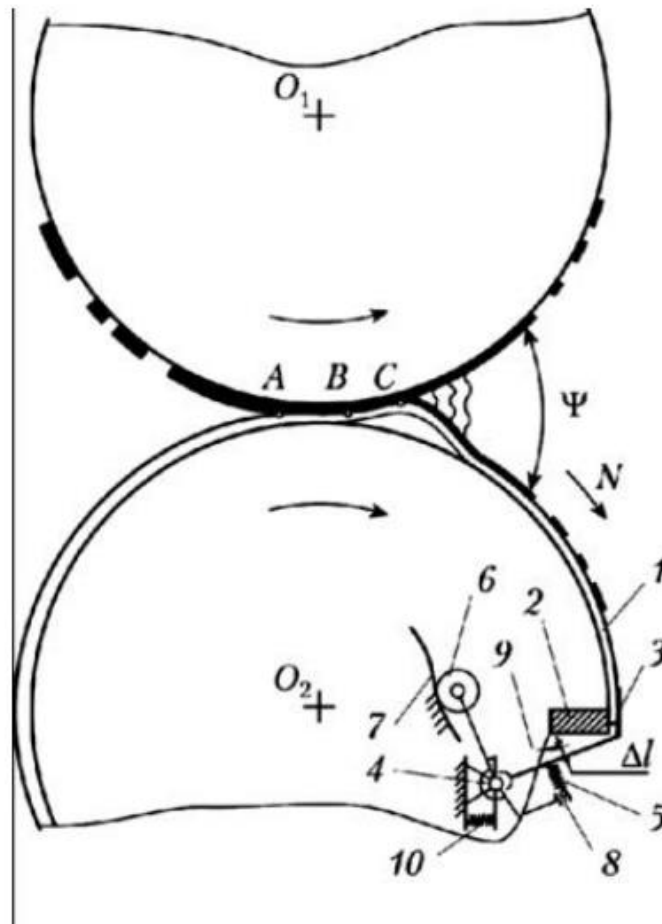


Рисунок 2.1. Процес відриву листа від офсетного полотна: показано кут відриву α та силу натягу T .

Кінематика руху каретки на ділянці виведення

Траєкторія руху каретки в зоні передачі складається з двох характерних ділянок: криволінійної (рух по радіусу зірочки) та перехідної до прямолінійної.

Рух по дузі: Від моменту перехоплення (точка D на схемі) передня кромка листа рухається по колу радіусом R_1 . У цей час задня частина листа ще знаходиться в зоні друку.

Вихід на пряму: Після повороту зірочки на певний кут каретка сходить з радіусної ділянки на прямолінійні напрямні. Тут виникає кінематичний парадокс ланцюгової передачі — нерівномірність швидкості.

Лінійна швидкість ланцюга на прямій ділянці ($v_{\text{л}}$) визначається радіусом ділильного кола зірочки (R_3), тоді як на повороті захвати рухалися з радіусом

R_1 ($R_1 > R_3$). Коефіцієнт нерівномірності швидкості (уповільнення) β становить:

$$\beta = \frac{v_{\text{др}}}{v_{\text{л}}} = \frac{R_1}{R_3} \approx 1,1 - 1,2 \quad (2.2)$$

Це означає, що в момент виходу каретки на пряму ділянку її швидкість різко падає (приблизно на 10-20% від швидкості друку).

Наслідки зміни швидкості:

Оскільки "хвіст" листа в цей момент ще може утримуватися в зоні друку або на офсетному полотні, а передня кромка вже сповільнилася, відбувається короткочасне провисання або деформація листа. Це явище є особливо небезпечним для тонкого паперу, оскільки може викликати "гофрування" або утворення хвиль у хвостовій частині 5.

Для компенсації цього ефекту в сучасних машинах застосовують спеціальні демпфери в приводі ланцюгів або профілюють напрямні так, щоб зміна швидкості відбувалася максимально плавно. Також важливу роль відіграють опорні елементи (сегменти або диски) на валу зірочок, які підтримують лист у зоні переходу.

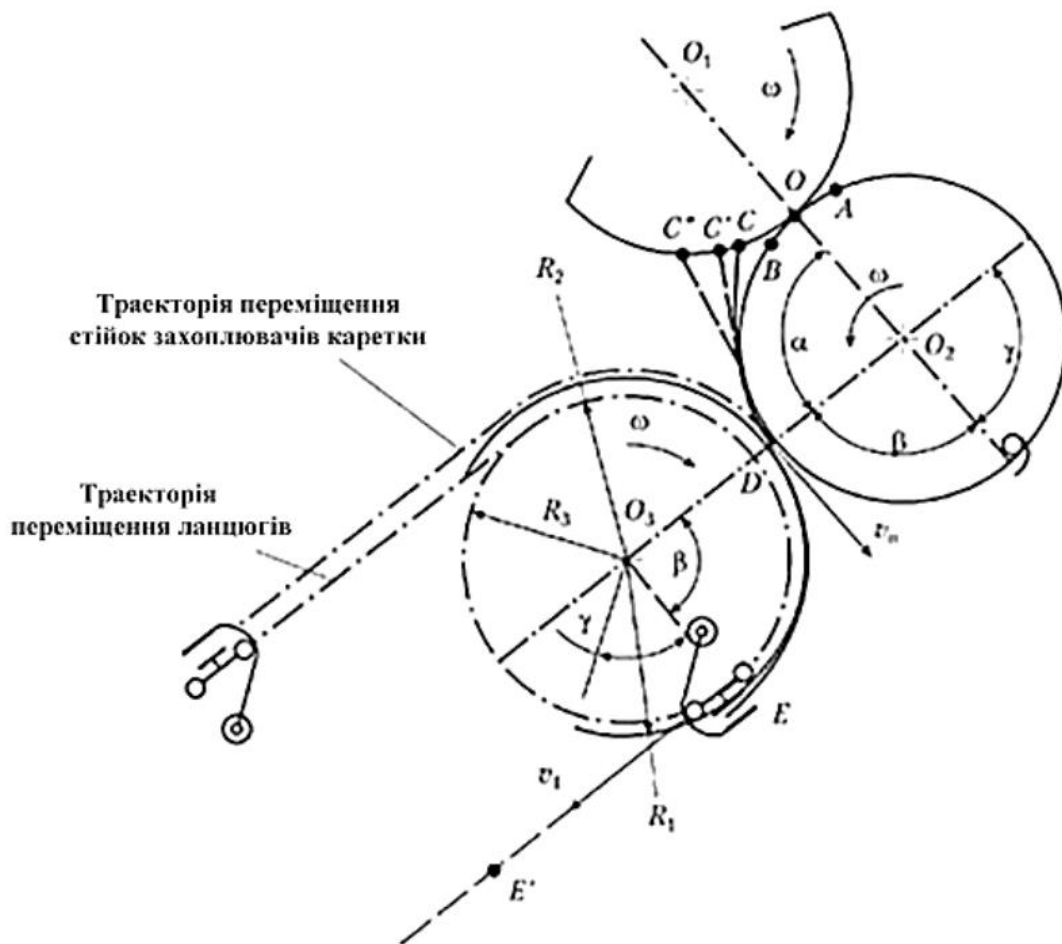


Рисунок 2.2. Кінематична схема виведення відбитка (показано радіуси R_1 , R_3 та зони зміни швидкості).

2.3. Аналіз динаміки транспортування листа до приймального столу

Після виходу листовивідної каретки на горизонтальну ділянку починається етап вільного транспортування листа до зони стапелювання. На цьому етапі аркуш, утримуваний лише за передню кромку, перетворюється на складну аеродинамічну систему, поведінка якої залежить від швидкості руху, траєкторії та властивостей паперу.

Вплив траєкторії руху на стабільність листа

У сучасних високостапельних машинах траєкторія руху ланцюгів рідко буває суто горизонтальною. Часто вона має висхідні та низхідні ділянки для обходу сушильних пристроїв.

Зміна швидкості та інерція: Як було зазначено в п. 2.2, при сходженні каретки з радіусної ділянки (зірочки) на прямолінійну відбувається різке падіння

лінійної швидкості. Внаслідок цього задрукований лист за інерцією зсувається вперед відносно захватів. Це може викликати "набігання" паперової маси на передню кромку та її гофрування.

Ефект «батога» (Whip effect): При проходженні кареткою криволінійних ділянок (особливо при підйомі вгору по радіусу $R_1 > R_3$) на хвостову частину листа діють значні відцентрові сили. Оскільки хвіст листа не закріплений, він прагне рухатися по дотичній до траєкторії, що призводить до різкого захльостування. Це явище небезпечне тим, що хвостова частина може вдаритися об деталі машини або "відлетіти" вгору, що порушує аеродинаміку потоку. Для стабілізації хвоста використовують профільовані напрямні та повітряні екрани.

Аеродинамічні сили під час транспортування.

При швидкостях друку понад 3 м/с лист взаємодіє з повітряним середовищем як гнучке крило. На нього діє результуюча аеродинамічна сила R , яку можна розкласти на дві складові (див. Рисунок 2.3, а):

Підйомна сила (Y): Вертикальна складова, яка залежить від кута атаки α (кута нахилу листа до потоку) та квадрата швидкості. Якщо $Y > m \cdot g$ (вага листа), хвіст листа починає підніматися ("злітати").

Сила лобового опору (X): Горизонтальна складова, яка перешкоджає руху і створює натяг листа.

Для компенсації підйомної сили та запобігання контакту листа з елементами конструкції використовуються повітряні екрани (поз. 15 на схемі загальної будови). Через отвори в екранах відсмоктується повітря, створюючи зону розрідження (ефект Бернуллі), яка "притягує" лист до безпечної траєкторії руху.

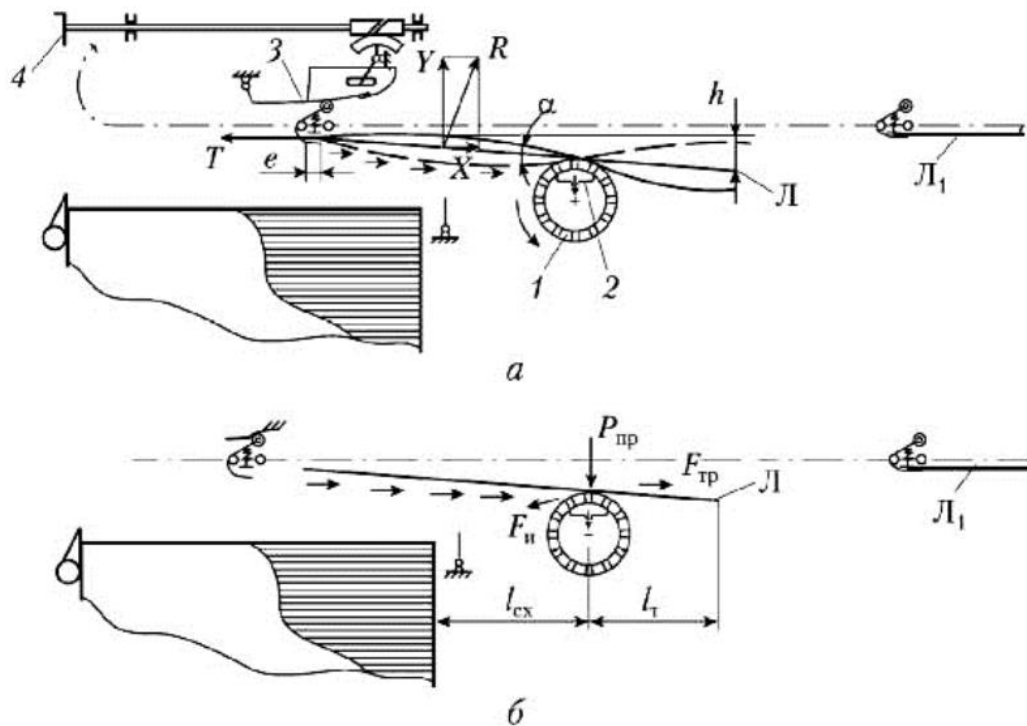


Рисунок 2.3. Схема дії сил на лист під час транспортування захватами (Т — сила тяги, R — аеродинамічна сила, X, Y — її складові).

Динаміка гальмування та укладання.

Процес укладання вимагає зменшення швидкості листа від робочої (v_k) до безпечної швидкості зіткнення з упорами ($v_p \approx 0,5...1$ м/с). Це реалізується за допомогою вакуумних гальмівних роликів.

Процес гальмування можна описати таким рівнянням балансу сил (після відкриття захватів):

$$F_H = F_{rp} + F_B \quad (2.3)$$

де:

- F_H — сила інерції листа, яку необхідно погасити;
- F_{rp} — сила тертя між листом та гальмівними роликами ($F_{rp} = P_{\text{вак}} \cdot S \cdot \mu$, де $P_{\text{вак}}$ — вакуум, S — площа контакту, μ — коефіцієнт тертя);
- F_B — сила аеродинамічного опору.

Час гальмування t_T є критичним параметром. Він має бути меншим за час циклу машини (t_{cx}), щоб наступний лист, який веде каретка, не наздогнав попередній і не пошкодив його задню кромку.

$$t_T < t_{cx}$$

Ця умова накладає обмеження: чим вища швидкість машини, тим інтенсивнішим має бути гальмування (більший вакуум, більша площа контакту).

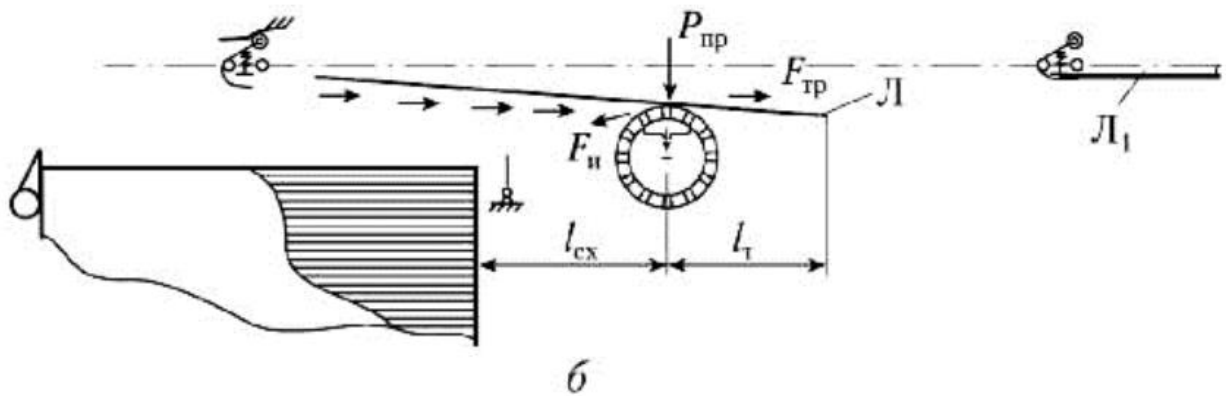


Рисунок 2.4., Схема сил під час гальмування листа вакуумними роликами (F_H — інерція, $F_{тр}$ — сила тертя).

Проблема деформації задньої кромки

Специфічною проблемою транспортування є залишкова деформація паперу. При відриві від офсетного циліндра лист зазнає різкого перегину, що призводить до скручування його хвостової частини вгору або вниз (утворення "локонів"). Це унеможлиблює рівне укладання в стопу.

Для усунення цього дефекту на шляху транспортування встановлюють розгладжувачі аркушів (декурлери). Це вакуумні планки з роликом, через які протягується лист. Завдяки створенню зворотного прогину під дією вакууму механічна напруга в волокнах паперу знімається, і лист випрямляється перед потраплянням на гальмівні ролики.

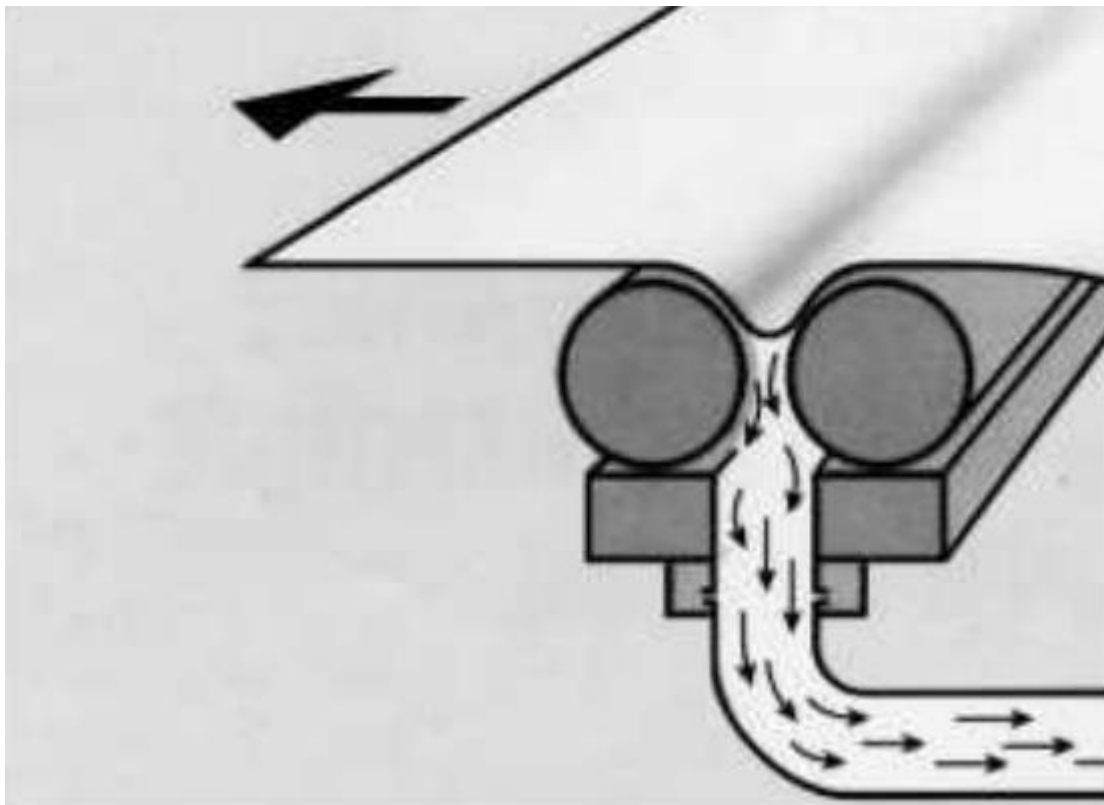


Рисунок 2.5. Принцип дії вакуумного розгладжувального пристрою (декурлера).

2.4. Аналіз впливу приймально-укладальних пристроїв на формування стопи

Після того як лист був сповільнений гальмівними роликами і відпущений захватами, він переходить у фазу вільного падіння на стапель. На цьому етапі критично важливим є забезпечення контрольованого опускання та точного вирівнювання аркуша відносно стопи. Для цього використовується комплекс аеродинамічних та механічних пристроїв.

Повітродувні пристрої (Системи примусового опускання) В умовах швидкісного друку (коли час циклу становить менше 0,3 с) лист не встигає опуститися на стопу під дією власної ваги. Крім того, під листом великого формату утворюється повітряна подушка, яка довго виходить з-під нього, викликаючи "плавання" листа. Для вирішення цих проблем застосовують повітродувні пристрої, які за способом впливу поділяються на дві групи :

Пристрої верхньої дії (Притискні): Найбільш поширена група. Це блоки вентиляторів або ряди сопел, розташовані над стапелем.

Зони встановлення: Над радіусною ділянкою виходу кареток, у зоні гальмування, над серединою столу та біля передніх упорів .

Принцип дії: Створюють спрямований вниз потік повітря. Важливим є налаштування розподілу потоку: на середню частину листа подається більше повітря, ніж на краї. Це змушує лист прогинатися в центрі (утворюючи "жолоб"), що сприяє ефективному витісненню повітря з-під листа в боки. Це запобігає утворенню "повітряного купола" або бульбашки в центрі стопи, яка заважає рівному укладанню .

Конструкція: Можуть бути вертикальними (пряма дія) або похилими (діють під кутом, підганяючи лист до упорів).

Пристрої нижньої дії (Підтримувальні): Подають повітря знизу під лист у момент його сходження з гальмівних роликів.

Функція: Створення контрольованої повітряної подушки, яка зменшує тертя листа об попередній відбиток і полегшує його долітання до передніх упорів. Це також знижує ризик відмарювання зображення на звороті .

Механізми вирівнювання стопи (Зіштовхувачі). Для забезпечення точності стапелювання (допуски в межах ± 1 мм) використовуються механічні рівняльники, які "збивають" стопу після падіння кожного листа .

Бічні зіштовхувачі: Розташовані з обох боків приймального столу.

Кінематика: Здійснюють зворотно-поступальні (вібраційні) рухи. Частота коливань може сягати трьох циклів за один оберт машини, що забезпечує якісне вирівнювання. Амплітуда коливань регулюється залежно від формату.

Особливості: Мають змінні планки (довгі або короткі) залежно від довжини бічної кромки листа .

Задні зіштовхувачі: Зазвичай об'єднані в один блок із гальмівними роликами.

Кінематика: Виконують один коливальний рух за цикл, підштовхуючи задню кромку листа вперед. Їхнє завдання — гарантувати прилягання передньої кромки до нерухомих передніх упорів.

Найбільш ефективними вважаються вібраційні зіштовхувачі з малою амплітудою та високою частотою, оскільки вони краще долають сили тертя між листами, не пошкоджуючи кромки.

Приймальний стіл та система автоматичного опускання Стапельний стіл є основою, на якій накопичується продукція. У високостапельних машинах він підвішений на чотирьох вантажних ланцюгах.

Для підтримки постійної відстані падіння листа (що важливо для аеродинаміки) стіл повинен опускатися автоматично по мірі росту стопи.

Система керування: Використовує датчики рівня (щупові, ємнісні або оптичні). Коли стопа перекриває промінь датчика або піднімає щуп, подається сигнал на привід опускання.

Виконавчий механізм: У сучасних машинах це електродвигун із частотним керуванням, що забезпечує плавне опускання. У старіших моделях використовувалися храпові механізми або електромагнітні муфти, які опускали стіл дискретно (ривками), що могло порушити стійкість високої стопи.

У машинах великого формату або багатофарбових агрегатах іноді використовують системи з двома змінними столами для забезпечення безперервної роботи (Non-Stop логістика).

2.5. Вплив допоміжних пристроїв на процес викладу та формування стопи

Сучасний приймально-вивідний пристрій не обмежується лише функціями транспортування. Для забезпечення високої якості продукції та безперервності виробничого процесу він інтегрує ряд допоміжних систем: протидмарювальні апарати, модулі фінішної обробки в лінію та системи автоматизованої логістики (Non-Stop). Їхня робота безпосередньо впливає на аеродинаміку в зоні приймання та стабільність формування стопи.

Протидмарювальні апарати (Графопили) Однією з головних проблем при стапельюванні свіжих відбитків є відмарювання (перетискування) фарби на зворотний бік наступного листа під дією ваги стопи. Для запобігання цьому використовуються порошкові апарати.

Принцип дії: На поверхню листа перед його падінням на стапель наноситься тонкий шар дрібнодисперсного порошку. Частинки порошку створюють мікроскопічний повітряний прошарок між листами, що прискорює окислення (висихання) фарби та запобігає злипанню.

Характеристики порошку: Використовуються суміші на основі крохмалю, карбонату кальцію або цукру. Розмір частинок варіюється від 10 до 30 мкм залежно від щільності паперу: для картону використовують крупнозернисті порошки, для крейдованого паперу — дрібнозернисті.

Способи нанесення:

Пневматичні форсунки: Найпростіший метод, де порошок розпилюється стисненим повітрям. Форсунки встановлюють на висоті 20–25 см над стапелем.

Електростатичні системи: Частинки порошку заряджаються і притягуються до нейтралізованого листа, що зменшує запилення машини.

Двостороннє нанесення (на прикладі Heidelberg Exatronic Duo Plus): Унікальна система, що дозволяє наносити порошок не тільки зверху (через верхні форсунки), але й знизу (через форсунки, вбудовані в напрямку з тефлоновим покриттям). Це особливо ефективно при двосторонньому друці з великим фарбонасиченням і дозволяє заощадити до 30% порошку.

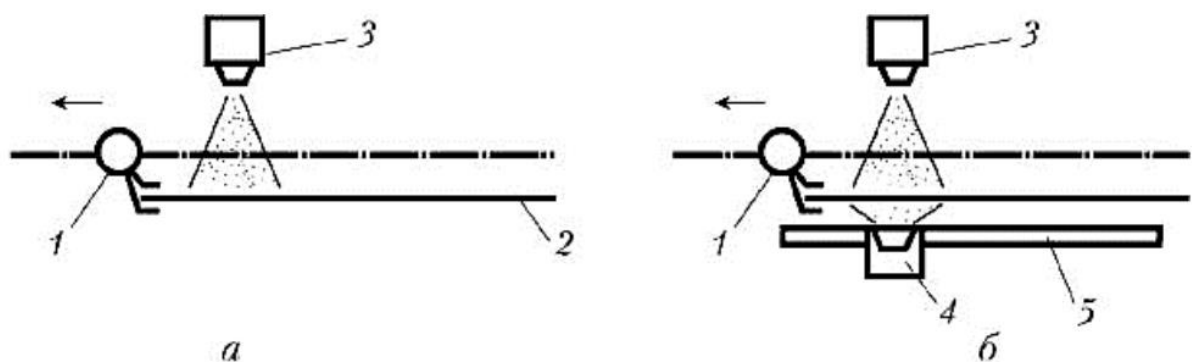


Рисунок 2.6. Принцип роботи противідмарювального апарату: а — односторонньої дії; б — двосторонньої дії (Heidelberg Exatronic).

Пристрої фінішної обробки в лінію (In-line finishing) Сучасні тенденції вимагають скорочення часу на післядрукарську обробку. Тому приймальні пристрої часто оснащуються модулями для виконання операцій безпосередньо в машині.

Пристрої поздовжнього різання: Встановлюються перед приймальним пристроєм (над друкарським циліндром). Дисковий ніж розрізає лист великого формату на дві частини по ходу руху. Це дозволяє формувати на приймальному столі дві окремі стопи продукції, що значно спрощує подальшу логістику.

Системи перфорації та бігування (технологія PPP — Perf Print Plus): На офсетний або друкарський циліндр останньої секції встановлюють спеціальні бігувальні, перфораційні або висікальні ножі на клейовій чи магнітній основі. Використання таких систем вимагає точного налаштування параметрів виводу, оскільки перфорований лист втрачає жорсткість, що може призвести до проблем при транспортуванні та гальмуванні.

Системи автоматичного розвантаження (Non-Stop) Для підвищення продуктивності при друкуванні великих накладів (особливо в пакувальній галузі) критично важливою є можливість заміни стапеля без зупинки машини. Процес зміни стапеля в режимі Non-Stop включає такі етапи:

Введення тимчасового столу: Коли основний стапель заповнено, за командою оператора в зону приймання висувається спеціальна решітка (растра) або допоміжний стіл.

Розділення потоку: Нові відбитки починають укладатися на цю решітку, формуючи тимчасову стопу.

Виведення основного стапеля: Основний стіл із повною палетою опускається до підлоги, і палета вивозиться з машини.

Подача нової палети: На основний стіл встановлюється порожня палета, яка піднімається вгору до рівня тимчасової решітки.

Об'єднання: Решітка прибирається, і тимчасова стопа лягає на нову палету.

Використання систем Non-Stop дозволяє уникнути технологічних зупинок, що не тільки економить час, але й зменшує кількість макулатури, яка зазвичай утворюється при кожному запуску машини (приладкові листи).

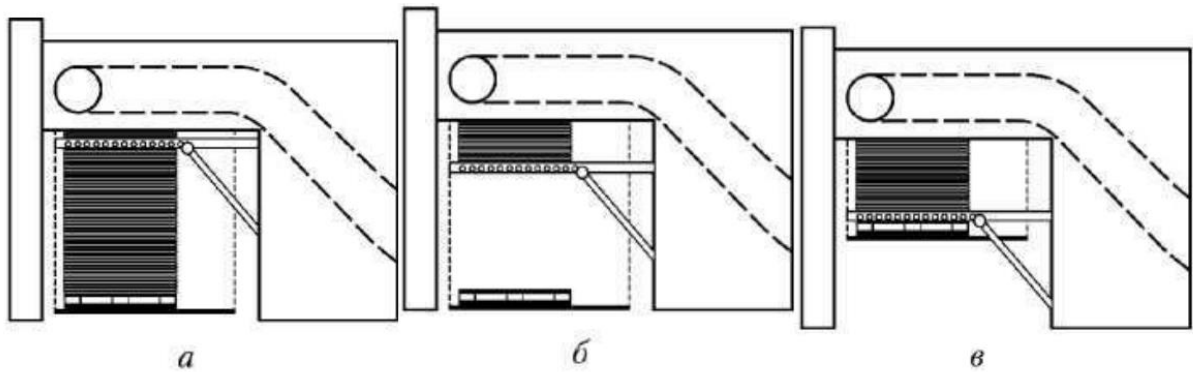


Рисунок 2.6. Схема автоматичного розвантаження приймального стапеля (Non-Stop): а — введення решітки; б — виведення повної палети; в — підйом нової палети.

Висновки до розділу 2

У даному розділі проведено детальне дослідження основних етапів транспортування та укладання віддрукованих аркушів, а також проаналізовано вплив конструктивних елементів приймального пристрою на стабільність цього процесу.

Аналіз складу системи: Встановлено, що сучасний модуль виведення є комплексною системою, яка складається з аркушесповільнювальних (гальмівних) пристроїв, повітродувних (аеродинамічних) систем, механізмів формування стопи (зіштовхувачів), приймальних столів та систем автоматизованої логістики. Чітка синхронізація роботи цих вузлів є обов'язковою умовою якісного друку.

Дослідження кінематики руху: Детально розглянуто етап передачі листа з друкарського циліндра в захвати каретки. Виявлено, що критичними факторами на цьому етапі є сили адгезії (прилипання до офсетного полотна) та нерівномірність швидкості каретки при сходженні з зірочки, що може призводити до деформації передньої кромки листа.

Динаміка транспортування: Досліджено поведінку листа на ділянці вільного польоту. Встановлено, що при русі по криволінійних траєкторіях на хвостову частину листа діють значні відцентрові сили, що викликають ефект "батога" (захльостування). Для компенсації цього явища та забезпечення стабільної аеродинаміки необхідно використовувати системи примусового керування повітряними потоками (створення розрідження або повітряної подушки).

Вплив допоміжних систем: Проаналізовано роль допоміжного обладнання. Визначено, що використання протидмарювальних апаратів є необхідним для запобігання перетискуванню фарби, але вимагає точного налаштування аеродинаміки, щоб не порушити траєкторію падіння листа. Системи Non-Stop та вбудовані модулі фінішної обробки (різання, перфорація) значно підвищують ефективність виробництва, проте створюють додатковий аеродинамічний опір.

Проблема гальмування: Підтверджено, що ключовим моментом для формування рівної стопи є ефективне гасіння кінетичної енергії листа перед контактом з передніми упорами. Недосконалість існуючих методів гальмування на високих швидкостях є основною причиною механічних пошкоджень аркуша, що обґрунтовує необхідність вдосконалення аркушесповільнювальних пристроїв, чому буде присвячено наступний розділ.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ГАЛЬМУВАННЯ ЛИСТА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПТИМАЛЬНОГО ВИКЛАДУ

3.1. Аналіз умов переміщення та гальмування листа

Процес формування приймального стапеля є завершальною стадією руху листа в друкарській машині. Його стабільність визначається тим, наскільки ефективно система здатна погасити кінетичну енергію відбитка після його звільнення із захватів транспортера.

Фізика руху листа після відкриття захватів

У момент, коли ролик захвату набігає на профільну гірку (кулачок) і захват відкривається, зникає сила тяги T , яка до цього моменту забезпечувала рух листа зі швидкістю машини v_k . З цього моменту лист переходить у фазу вільного інерційного руху.

Його кінетична енергія E_k визначається за формулою:

$$E_k = \frac{m \cdot v_k^2}{2} \quad (3.1)$$

де m — маса листа, v_k — швидкість листовивідної каретки.

Очевидно, що зі зростанням швидкості друку кінетична енергія зростає у квадратичній залежності. Це означає, що при збільшенні швидкості машини у 2 рази, навантаження на гальмівну систему зростає у 4 рази. Саме тому традиційні методи гальмування стають неефективними на швидкостях понад 12–15 тис. відб./год.

Вимоги до процесу гальмування.

Головне завдання гальмівного пристрою — зменшити швидкість листа від робочої ($v_k \approx 2...4$ м/с) до безпечної швидкості зіткнення з передніми упорами (v_p). Експериментально встановлено, що для надійного стапелювання та запобігання пошкодженню передньої кромки залишкова швидкість листа v_p не повинна перевищувати 0,8–1,0 м/с.

Ефективність роботи гальмівного пристрою характеризується коефіцієнтом уповільнення β :

$$\beta = \frac{v_k}{u_p} \quad (3.2)$$

Для сучасних швидкісних машин цей коефіцієнт має знаходитися в межах 2...4. Це означає, що колова швидкість вакуумних гальмівних роликів має бути в 2-4 рази меншою за швидкість руху ланцюгового транспортера.

Циклові обмеження

Гальмування відбувається в жорстких часових рамках. Весь процес (захоплення хвоста, уповільнення, скидання) повинен завершитися до моменту приходу наступної каретки.

Існує критична умова працездатності приймального пристрою:

$$t_T < t_{\text{цикл}} \quad (3.3)$$

де:

t_T — час перебування листа на гальмівних елементах;

$t_{\text{цикл}}$ — час одного циклу машини (інтервал між листами).

Якщо ця умова не виконується (тобто лист гальмується занадто довго), наступна каретка, що рухається з повною швидкістю v_k , наздожене попередній лист, який ще знаходиться на стадії уповільнення. Це призведе до удару каретки у хвостову частину листа, її зминання та можливої зупинки машини.

Таким чином, проектування системи гальмування зводиться до пошуку компромісу: необхідно забезпечити достатнє зниження швидкості для точного укладання, але зробити це максимально швидко, щоб звільнити місце для наступного відбитка.

3.2. Визначення основних конструктивних і технологічних параметрів оптимального листосповідільнювального пристрою

Процес гальмування листа є найбільш критичним етапом у роботі приймального пристрою, оскільки саме тут відбувається перетворення кінетичної енергії рухомого аркуша в роботу сил тертя. Для проектування ефективного модуля викладу необхідно побудувати математичну модель цього процесу.

Фази руху листа на ділянці гальмування

Розглянемо кінематику руху листа після відкриття захватів каретки. Весь процес можна розділити на три характерні етапи, представлені на графіку швидкості 1:

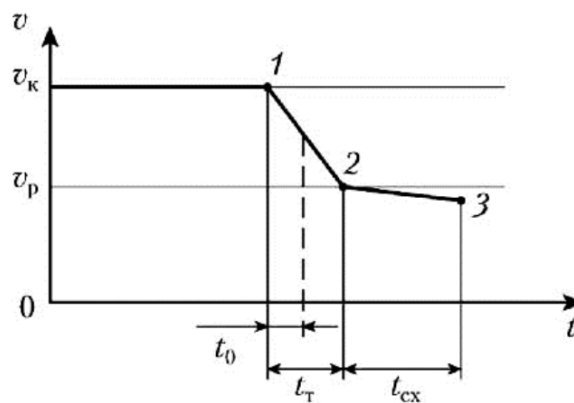


Рисунок 3.1. Графік зміни швидкості відбитка у процесі його уповільнення (v_k — швидкість каретки, v_p — швидкість роликів).

Точка 1 (Початок гальмування): Передня кромка листа звільняється із захватів. У цей момент лист має швидкість машини v_k . Його хвостова частина довжиною l_T потрапляє в зону дії вакуумних роликів.

Ділянка 1–2 (Активне гальмування): Відбувається інтенсивне уповільнення листа за рахунок сили тертя між папером і поверхнею роликів. Вважаємо, що рух на цій ділянці є рівносповільненим.

Точка 2: Швидкість листа вирівнюється зі швидкістю гальмівних роликів v_p .

Ділянка 2–3 (Вільний рух/Сходження): Лист сходить із гальмівних елементів і рухається до передніх упорів із постійною (або незначно спадаючою) швидкістю v_p . Довжина цієї ділянки l_{cx} залежить від налаштування формату.

Математична модель процесу.

Загальний час циклу викладу одного листа ($t_{\text{цикл}}$) лімітований продуктивністю машини.

Час переміщення листа від моменту відкриття захватів до удару об упори складається з часу гальмування (t_T) та часу сходження (t_{cx}).

Рівняння часу руху має вигляд:

$$t_T + t_{cx} = \frac{2l_T}{v_k + v_p} + \frac{l_{cx}}{v_p} \quad (3.4)$$

де $\frac{v_k + v_p}{2}$ — середня швидкість листа на ділянці гальмування (за умови рівносповільненого руху).

Силовий аналіз: На етапі активного гальмування (ділянка 1–2) на лист діють три основні сили:

Сила інерції (F_H): Прагне зберегти рух листа вперед.

Сила тертя ($F_{тр}$): Гальмівна сила, що створюється вакуумними роликами.

$$F_{тр} = p \cdot S_{пр} \cdot \phi \quad (3.5)$$

де:

- p — величина вакууму (розрідження) в камері роликів;
- $S_{пр}$ — сумарна площа отворів присмоктування, перекритих листом;
- ϕ — коефіцієнт тертя ковзання паперу по матеріалу роликів (гума/поліуретан).

Сила аеродинамічного опору (F_B): Залежить від швидкості та кута атаки листа.

Рівняння динамічної рівноваги має вигляд:

$$F_H = F_{тр} + F_B \quad (3.6)$$

Враховуючи, що $F_H = m \cdot a$, де прискорення $a = \frac{v_k - v_p}{t_r}$, отримаємо диференціальне рівняння руху:

$$m \frac{v_k - v_p}{t_T} = pS_{\text{пр}}\phi + F_B \quad (3.7)$$

Розрахунок параметрів гальмування З рівняння (3.2) виводимо формулу для визначення необхідного часу гальмування:

$$t_T = \frac{m(v_k - v_p)}{pS_{\text{пр}}\phi + F_B} \quad (3.8)$$

Підставивши значення часу в рівняння шляху для рівносповільненого руху, отримаємо формулу для визначення мінімальної довжини ділянки гальмування (l_T):

$$l_T \geq \frac{m(v_k^2 - v_p^2)}{2(pS_{\text{пр}}\phi + F_B)} \quad (3.9)$$

Аналіз отриманих залежностей та технологічні регулювання

Аналіз формули (3.4) дозволяє зробити важливі висновки для конструювання та налаштування машини:

Вплив маси (m): Довжина гальмівного шляху прямо пропорційна масі листа. Це означає, що важкий картон потребує значно довшого шляху для зупинки, ніж тонкий папір.

Вплив швидкості (v_k): Залежність від швидкості є квадратичною (v_k^2). Збільшення швидкості машини удвічі вимагає збільшення гальмівного зусилля або шляху в 4 рази.

Технологічна реалізація:

Оскільки конструктивні параметри ($p, S_{\text{пр}}$) є відносно постійними, адаптація машини до різних тиражів здійснюється шляхом зміни параметра l_T (довжини гальмування).

Це реалізується через механізм зміни моменту відкриття захватів:

Для легкого паперу: Захвати відкриваються пізніше (ближче до стопи), шлях гальмування l_T коротший.

Для важкого картону: Захвати відкриваються раніше. Лист раніше потрапляє під контроль гальмівних роликів, що збільшує шлях l_T і дозволяє погасити більшу кінетичну енергію без проковзування.

Регулювання здійснюється поворотом профільної гірки (кулачка) за допомогою спеціального черв'ячного механізму (поз. 3, 4 на Рисунок 2.3, а).

3.3. Дослідження нових конструкторських розробок, застосованих у провідних друкарських машинах

Аналіз тенденцій розвитку друкарського машинобудування, зокрема експонатів виставок drupa, свідчить про те, що подальше збільшення швидкості друку (понад 15–18 тис. відб./год) неможливе без радикальної зміни підходів до транспортування аркуша. Традиційні методи вже не можуть ефективно компенсувати зростаючі аеродинамічні сили.

Провідні виробники (насамперед Heidelberg) впровадили ряд революційних конструкторських рішень, спрямованих на повний контроль над рухом листа.

Аеродинамічна оптимізація транспортувальних кареток.

Зі збільшенням швидкості руху листовивідна каретка створює значні турбулентні потоки, які збурюють повітря навколо листа, викликаючи його вібрацію ("флатер").

Для вирішення цієї проблеми у машинах серії Speedmaster XL 105 було змінено геометрію каретки.

Конструктивне рішення: Профіль каретки спроектовано за аналогією з антикрилом гоночного автомобіля. Така форма забезпечує плавне обтікання повітрям і створює притискну силу замість турбулентності. Це дозволило стабілізувати рух передньої кромки листа на швидкостях до 18 тис. відб./год ¹.

Додаткові елементи: Для підтримки незадрукованих полів листа (особливо при роботі з неповним форматом) каретки оснащують спеціальними опорними елементами — "крильцями". Вони запобігають провисанню кутів листа ("собаких вушок"), що зменшує лобовий опір.

Системи динамічного гальмування (Технологія Preset Plus).

Традиційні нерухомі гальмівні ролики мають суттєвий недолік: у момент контакту з листом, що рухається зі швидкістю машини, відбувається мікроудар і проковзування, що може призвести до пошкодження відбитка (подряпини, відмарювання).

У приймальних пристроях Heidelberg Preset Plus реалізовано принцип динамічного гальмування.

Принцип дії: Замість роликів використовується система з кількох вакуумних стрічок. У момент прийому листа стрічки рухаються зі швидкістю, близькою до швидкості каретки. Після фіксації листа вакуумом стрічки плавно сповільнюються разом з ним до повної зупинки або швидкості скидання.

Поперечне розтягування: Гальмівні модулі встановлені під кутом близько 2° до напрямку руху (розходяться в боки). Під час гальмування це створює поперечний натяг листа, що розпрямляє його, усуває поздовжні хвилі та забезпечує ідеально рівне укладання.

Системи подвійного захвату для надвеликих форматів

У машинах форматів 6 (XL 145) та 7 (XL 162) площа листа настільки велика, що "ефект батога" (захльостування хвостової частини на поворотах траєкторії) стає критичною проблемою. Звичайні аеродинамічні засоби вже не можуть утримати хвіст листа.

Інженерами було розроблено унікальну систему транспортування з фіксацією обох кромки.

Схема роботи:

Основна каретка (1): Веде лист за передню кромку, як у звичайних машинах.

Додаткова каретка (2): Рухається синхронно з основною і тримає лист за задню кромку протягом усього шляху по висхідній та горизонтальній ділянках. Це повністю виключає коливання хвоста.

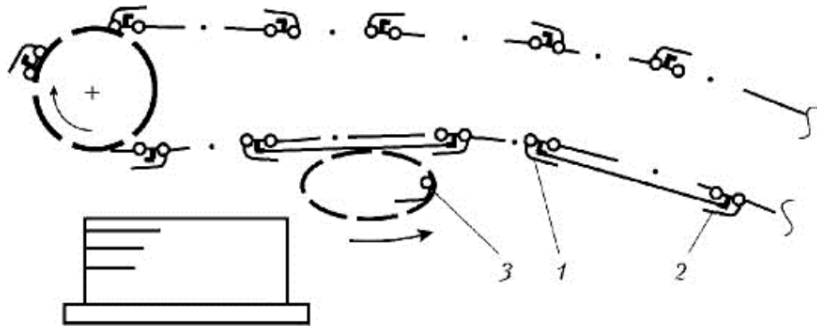


Рисунок 3.2. Схема транспортування відбитків двома системами захватів (фіксація передньої та задньої кромки).

Гальмування "проти ходу" (Реверсивна гальмівна каретка).

Ще одним інноваційним рішенням є відмова від вакуумних роликів на користь активної гальмівної каретки.

Алгоритм:

Лист виводиться на горизонтальну ділянку над стапелем.

Знизу підлітає спеціальна гальмівна каретка (3), яка рухається за складною траєкторією.

Захвати гальмівної каретки перехоплюють задню кромку листа на льоту. Передні захвати відпускають лист.

Гальмівна каретка починає гальмувати, рухаючись у напрямку, протилежному до інерційного руху листа (або просто сповільнюючись, створюючи натяг).

Цей метод дозволяє "розтягнути" лист у повітрі перед укладанням, перетворивши його на жорстку площину, що гарантує точність стапелювання без ударів об передні упори.

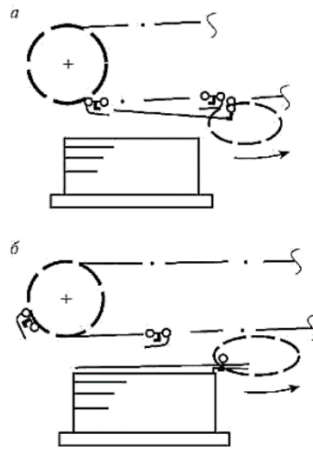


Рисунок 3.3. Схема гальмування відбитка за задній край (а — перехоплення, б — укладання).

3.4. Обґрунтування вибору способу модернізації приймального пристрою

На основі проведеного аналізу умов переміщення, математичного моделювання процесу гальмування та огляду сучасних конструкторських розробок, можна сформулювати основний напрямок удосконалення системи викладу.

Недоліки існуючих схем.

Традиційні схеми гальмування, що базуються на використанні нерухомих вакуумних роликів або барабанів, мають фізичні обмеження продуктивності.

Як показали розрахунки у підрозділі 3.2, шлях гальмування l_T прямо пропорційний квадрату швидкості листа ($v \frac{2}{k}$). При зростанні швидкості друку до 15–18 тис. відб./год необхідний шлях гальмування стає надмірно великим, що конструктивно неможливо реалізувати у габаритах стандартної машини.

Крім того, взаємодія листа, що рухається з великою швидкістю, з нерухомими (або повільними) роликами призводить до:

Механічного удару та проковзування, що пошкоджує нижню сторону відбитка (відмарювання).

Нестабільності передньої кромки, яка вдаряється об упори із залишковою швидкістю.

Неможливості ефективно боротися з аеродинамічним підйомом хвостової частини ("ефектом батога").

Обґрунтування запропонованого рішення.

З огляду на тенденції світового машинобудування (зокрема рішення Heidelberg та КВА), найбільш перспективним є перехід від пасивного гальмування до активного керування задньою кромкою листа.

Для розробки (модернізації) пропонується система гальмування за задню кромку за допомогою спеціальної гальмівної каретки.

Суть пропозиції полягає у введенні в кінематичну схему додаткового ланцюгового контуру з кареткою, яка рухається назустріч або за спеціальною траєкторією під основними вивідними ланцюгами.

Переваги обраного методу:

Повний контроль: Лист не кидається у "вільний політ", а передається з передніх захватів у задні (гальмівні). Це виключає вплив непередбачуваних аеродинамічних факторів.

Розтягування листа: Оскільки гальмівна каретка перехоплює хвіст у момент, коли передня кромка ще утримується (або щойно відпущена), лист розтягується в повітрі. Це перетворює його на жорстку площину, усуваючи провисання та гофрування.

Плавність зупинки: Гальмівна каретка може плавно зменшувати швидкість за заданим законом руху, забезпечуючи "м'яку" посадку листа на стопу без удару об упори.

Універсальність: Така система однаково ефективно працює як з тонким папером (який схильний до зминання), так і з жорстким картоном (який має велику інерцію).

Висновки до розділу 3

У третьому розділі проведено теоретичне дослідження динаміки руху аркуша на ділянці гальмування та обґрунтовано вибір технічного рішення для вдосконалення приймально-вивідного пристрою.

Аналіз фізики процесу: Встановлено, що після відкриття захватів каретки аркуш переходить у фазу інерційного руху, під час якої на нього діє комплекс сил: сила інерції, сила тяжіння, аеродинамічний опір та сила тертя гальмівних елементів. Ефективність гальмування визначається здатністю системи погасити кінетичну енергію листа за обмежений час циклу машини, знизивши його швидкість до безпечного рівня (0,8–1,0 м/с) перед контактом із передніми упорами.

Математичне моделювання: На основі складеного диференціального рівняння руху отримано аналітичні залежності для визначення необхідного часу та шляху гальмування. Розрахунки показали, що довжина гальмівного шляху зростає пропорційно масі аркуша та квадрату швидкості друку. Це доводить, що традиційні пасивні системи (нерухомі вакуумні ролики) мають фізичні обмеження ефективності на швидкостях понад 12–15 тис. відб./год, оскільки вимагають надмірного збільшення сили вакууму, що призводить до пошкодження відбитка.

Дослідження сучасних тенденцій: Аналіз конструкцій провідних світових виробників (Heidelberg, KBA) виявив тенденцію до переходу на активні методи керування рухом листа. Найбільш ефективними рішеннями є використання аеродинамічно профільованих кареток для зменшення турбулентності та систем динамічного гальмування рухомими вакуумними стрічками.

Обґрунтування модернізації: На основі проведеного аналізу запропоновано вдосконалення системи викладу шляхом впровадження активного гальмування за задню кромку за допомогою додаткової гальмівної каретки. Таке рішення дозволяє "розтягнути" аркуш у повітрі, усунути його провисання та гофрування, а також забезпечити плавну зупинку без удару об упори незалежно від швидкості машини та щільності паперу.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРИЙМАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

4.1. Вихідні дані та обґрунтування вибору бази порівняння

Для проведення техніко-економічного аналізу ефективності пропонованих інженерних рішень необхідно порівняти техніко-економічні показники роботи обладнання до та після впровадження змін.

Як базу порівняння (Варіант 1) обрано серійну офсетну листову друкарську машину формату A0 (наприклад, Heidelberg Speedmaster XL 145), яка оснащена стандартним високостапельним приймальним пристроєм з вакуумними гальмівними роликами.

Як проектний варіант (Варіант 2) розглядається та сама друкарська машина, але з модернізованою системою викладу, в якій реалізовано схему активного гальмування листа за задню кромку (додатковий контур із гальмівною кареткою).

Обґрунтування джерел економічного ефекту.

Впровадження модернізації забезпечує економічний ефект за рахунок двох основних факторів:

Підвищення експлуатаційної швидкості друку. У базовому варіанті при друку на максимальних швидкостях (понад 12 000 відб./год) виникає ризик пошкодження листа при гальмуванні, що змушує друкаря знижувати швидкість. Модернізована система забезпечує стабільний виклад, дозволяючи працювати на швидкості, близькій до паспортної (+3–5%).

Зниження рівня технологічних відходів (браку). Стабільне гальмування зменшує кількість зупинок через зминання паперу у приймальному пристрої ("забивання" приймання), що економить папір та час на повторний запуск (приладку).

Розрахунок капітальних витрат на модернізацію.

Вартість модернізації ($K_{\text{мод}}$) включає витрати на проектування вузла, виготовлення або закупівлю комплектуючих та монтажні роботи.

Ринкова вартість базової машини приймається за даними каталогів постачальників (умовно 3 800 000 грн для вживаного обладнання або балансова вартість на підприємстві).

Режим роботи обладнання

Для розрахунку річного фонду часу роботи ($T_{\text{осн}}$) приймаємо такі вихідні дані, характерні для великого поліграфічного підприємства:

- Режим роботи: двозмінний (2 зміни по 8 годин).
- Кількість робочих днів на рік: 250 днів.
- Втрати часу на планово-попереджувальні ремонти (ППР) та технологічні зупинки: 10% від номінального фонду.

Номінальний фонд часу ($T_{\text{ном}}$):

$$T_{\text{ном}} = 250 \text{ дн.} \cdot 2 \text{ зміни} \cdot 8 \text{ год} = 4000 \text{ год/рік} \quad (4.1)$$

Ефективний (основний) фонд часу ($T_{\text{осн}}$):

$$T_{\text{осн}} = T_{\text{ном}} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 4000 \cdot 0,9 = 3600 \text{ год/рік} \quad (4.2)$$

4.2. Розрахунок річної виробничої потужності

Виробнича потужність друкарської машини визначається максимально можливим випуском продукції за рік при заданому режимі роботи та номенклатурі продукції. Для коректного порівняння ефективності модернізації розрахунок проводиться за єдиною методикою для обох варіантів.

Методика розрахунку

Річна потужність ($M_{\text{вир}}$) в облікових одиницях (тисячах відбитків) розраховується за формулою 1:

$$M_{\text{вир}} = \frac{T_{\text{осн}} \cdot N_{\text{ср.накл}}}{t_{\text{ц}}} \quad (4.3)$$

де:

$T_{\text{осн}}$ — ефективний річний фонд часу роботи устаткування (прийнято **3600 год**, див. п. 4.1);

$N_{\text{ср.накл}}$ — середній тираж замовлення. Для розрахунку приймаємо характерний для формату А0 тираж у **10 000 відбитків** (10 тис. відб.);

$t_{\text{ц}}$ — час циклу виготовлення одного тиражу (год), який складається з часу на приладку ($t_{\text{пр}}$) та часу роботи машини на тиражі ($t_{\text{р}}$).

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{р}} = t_{\text{пр}} + \frac{N_{\text{ср.накл}}}{N_{\text{год}}} \quad (4.4)$$

де:

$t_{\text{пр}}$ — норма часу на приладку (переналагодження) машини. Для машин даного класу при складних роботах приймаємо **1,5 год**;

$N_{\text{год}}$ — технічна (експлуатаційна) швидкість роботи машини (тис. відб./год).

Вихідні дані для розрахунку

Основний ефект від модернізації приймального пристрою полягає у можливості підвищити робочу швидкість без втрати якості укладання.

Базовий варіант (I): Стандартна система гальмування обмежує швидкість на рівні **7,8 тис. відб./год** через ризик пошкодження передньої кромки листа.

Проектний варіант (II): Активна система гальмування за задню кромку дозволяє стабільно працювати на швидкості **8,1 тис. відб./год** (+3,8%).

Розрахунок показників

А) Для базового варіанту:

1. Час виконання одного замовлення (тиражу):

$$t_{\text{ц1}} = 1,5 + \frac{10}{7,8} = 1,5 + 1,28 = 2,78 \quad (4.5)$$

2. Кількість замовлень за рік:

$$n_1 = \frac{T_{\text{осн}}}{t_{\text{ц1}}} = \frac{3600}{2,78} \approx 1295 \text{ зам.} \quad (4.6)$$

3. Річна потужність:

$$M_1 = 1295 \cdot 10 = 12950 \text{ тис. відб.} \quad (4.7)$$

Б) Для проектного варіанту:

1. Час виконання одного замовлення:

$$t_{ц2} = 1,5 + \frac{10}{8,1} = 1,5 + 1,23 = 2,73 \text{ год} \quad (4.8)$$

(Зменшення часу циклу на 0,05 год або 3 хв на кожному тиражі)

2. Кількість замовлень за рік:

$$n_2 = \frac{3600}{2,73} \approx 1318 \text{ зам.} \quad (4.9)$$

3. Річна потужність:

$$M_2 = 1318 \cdot 10 = 13180 \text{ тис. відб} \quad (4.10)$$

Аналіз приросту продуктивності

Річний приріст обсягу виробництва (ΔM) за рахунок модернізації складе:

$$\Delta M = M_2 - M_1 = 13180 - 12950 = 230 \text{ тис. відб.} \quad (4.11)$$

У відносному вираженні приріст продуктивності становить:

$$\Delta\% = \frac{230}{12950} \cdot 100\% \approx 1,8\% \quad (4.12)$$

Висновок: Впровадження модернізованої системи гальмування дозволяє збільшити пропускну здатність обладнання на 23 замовлення на рік, що при середньому тиражі дає додаткові 230 тисяч відбитків без залучення додаткових трудових ресурсів чи часу.

4.3. Розрахунок собівартості продукції

Собівартість продукції є ключовим показником, що відображає поточні витрати підприємства на виробництво та реалізацію продукції. Розрахунок проводиться за економічними елементами та калькуляційними статтями витрат для обох варіантів: базового (I) та проектного (II).

Розрахунок змінних витрат

До змінних витрат належать ті, що прямо залежать від обсягу випуску продукції (основні матеріали, електроенергія на технологічні потреби).

Основні матеріали (папір, фарба, зволожуючий розчин):

Витрати розраховуються виходячи з норм витрат на 1000 відбитків.

- Приймаємо середню вартість матеріалів на 1 тис. відб. – **134 грн.**
- Витрати (Варіант I): $12950 \text{ тис.} \times 134 = 1735300 \text{ грн.}$
- Витрати (Варіант II): $13180 \text{ тис.} \times 134 = 1766120 \text{ грн.}$

Електроенергія на роботу устаткування:

Розраховується за формулою: $V_e = P \cdot T_{\text{осн}} \cdot K_e \cdot \text{Ц.}$

- P (потужність) = 20 кВт; $T_{\text{осн}}$ = 3600 год; K_e = 0,85; Ц = 5,5 грн/кВт (актуалізована промислова ціна).
- Для обох варіантів (оскільки час роботи однаковий):
$$20 \cdot 3600 \cdot 0,85 \cdot 5,5 = 336600 \text{ грн.}$$

Розрахунок постійних витрат

Амортизаційні відрахування:

Розраховуються лінійним методом (20% від балансової вартості обладнання) 3.

- Варіант I ($3\,800\,000 \times 0,2$): **760 000 грн.**
- Варіант II ($3\,820\,000 \times 0,2$): **764 000 грн** (зростання через вартість модернізації).

Витрати на ремонт та обслуговування:

Приймаємо як 5% від балансової вартості обладнання.

- Варіант I: **190 000 грн.**
- Варіант II: **191 000 грн.**

Фонд оплати праці (ФОП):

Заробітна плата виробничих робітників (друкар, помічник) залишається незмінною, оскільки модернізація не вимагає додаткового персоналу.

Основна та додаткова ЗП (разом із нарахуваннями ЄСВ 22%): **250 000 грн** (прийнято умовно для розрахунку на рік).

Загальновиробничі та адміністративні витрати:

Приймаються у розмірі 200% від основної заробітної плати.

Сума: **410 000 грн.**

Калькуляція повної собівартості

Зведемо всі розраховані показники у підсумкову таблицю 4.2.

Таблиця 4.2. Калькуляція повної собівартості річного випуску продукції

№ з/п	Стаття витрат	Варіант I (Базовий), грн	Варіант II (Проектний), грн	Відхилення (+/-), грн
1	Основні матеріали	1 735 300	1 766 120	+30 820
2	Електроенергія	336 600	336 600	0
3	Амортизація обладнання	760 000	764 000	+4 000
4	Ремонт та обслуговування	190 000	191 000	+1 000
5	Фонд оплати праці (з ЄСВ)	250 000	250 000	0
6	Загальновиробничі витрати	410 000	410 000	0
7	Повна собівартість ($C_{\text{повн}}$)	3 681 900	3 717 720	+35 820
8	Обсяг продукції (M), тис. відб.	12 950	13 180	+230
9	Собівартість 1 тис. відб., грн	284,32	282,07	-2,25

Аналіз результатів

Як видно з таблиці 4.2, повна собівартість річного випуску у проектному варіанті зросла на 35 820 грн (основна причина — збільшення витрат на матеріали через ріст обсягів друку та незначне зростання амортизації).

Однак, найважливішим показником ефективності є **собівартість одиниці продукції** (1 тис. відбитків). Завдяки тому, що постійні витрати (зарплата, цехові витрати) розподіляються на більший обсяг продукції (13 180 проти 12 950 тис.), собівартість одиниці знизилася:

Базова: 284,32 грн.

Проектна: 282,07 грн.

Зниження собівартості на **2,25 грн** на кожній тисячі відбитків формує додатковий прибуток підприємства, що буде розраховано в наступному підрозділі.

4.4. Розрахунок показників економічної ефективності проекту

Оцінка доцільності впровадження модернізованої системи гальмування базується на порівнянні фінансових результатів роботи обладнання у базовому та проектному варіантах. Основним джерелом покриття витрат на модернізацію є додатковий прибуток, отриманий від збільшення обсягу виробництва та зниження собівартості одиниці продукції.

Розрахунок очікуваного прибутку

Для розрахунку прибутку необхідно визначити оптову ціну за одиницю продукції (1000 відбитків). Ціна формується на основі ринкових умов і повинна забезпечувати підприємству нормативний рівень рентабельності (зазвичай 20–30%).

Прийmemo ринкову ціну реалізації продукції (L_n) на рівні **350 грн** за 1000 відбитків (середня ціна для офсетного друку формату A0).

Річний дохід від реалізації (D) визначається як:

$$D = M \cdot L_n \quad (4.13)$$

Валовий прибуток (Π) розраховується як різниця між доходом та повною собівартістю ($C_{\text{повн}}$):

$$\Pi = D - C_{\text{повн}} \quad (4.14)$$

Розрахунок для Варіанту I (Базовий):

Дохід: $D_1 = 12950 \text{ тис.} \cdot 350 \text{ грн} = 4\,532\,500 \text{ грн.}$

Прибуток: $\Pi_1 = 4\,532\,500 - 3\,681\,900 = 850\,600 \text{ грн.}$

Розрахунок для Варіанту II (Проектний):

Дохід: $D_2 = 13180 \text{ тис.} \cdot 350 \text{ грн} = 4\,613\,000 \text{ грн.}$

Прибуток: $\Pi_2 = 4\,613\,000 - 3\,717\,720 = 895\,280 \text{ грн.}$

Визначення річного економічного ефекту

Річний економічний ефект ($E_{\text{річ}}$) визначається як різниця прибутків до і після модернізації:

$$\begin{aligned} E_{\text{річ}} &= \Pi_2 - \Pi_1 \\ E_{\text{річ}} &= 895\,280 - 850\,600 = 44\,680 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (4.15)$$

Таким чином, впровадження системи активного гальмування дозволяє підприємству отримувати додатково **44 680 грн** чистого прибутку щороку.

Розрахунок терміну окупності та коефіцієнта ефективності

Термін окупності капітальних вкладень ($T_{\text{ок}}$) показує час, за який додатковий прибуток компенсує витрати на модернізацію ($K_{\text{мод}} = 20\,000 \text{ грн.}$).

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{мод}}}{E_{\text{річ}}} \quad (4.16)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{20\,000}{44\,680} \approx 0,45 \text{ року} \quad (4.17)$$

Отриманий результат (менше 6 місяців) свідчить про високу ліквідність інвестицій. Це пояснюється тим, що модернізація є відносно недорогою, але дозволяє "розблокувати" продуктивність дорогого обладнання.

Коефіцієнт економічної ефективності (E):

$$E = \frac{1}{T_{\text{ок}}} = \frac{1}{0,45} \approx 2,22 \quad (4.18)$$

Нормативне значення для машинобудівної галузі становить $E_H = 0,15$.

Оскільки $2,22 > 0,15$, проект є високоефективним.

Зведена таблиця техніко-економічних показників

Результати розрахунків зведені в підсумкову таблицю 4.3.

Таблиця 4.3. Техніко-економічні показники проекту

№ з/п	Показник	Од. виміру	Базовий варіант	Проектний варіант	Зміна (+/-)
1	Річний обсяг випуску	тис. відб.	12 950	13 180	+230
2	Експлуатаційна швидкість	тис. відб./год	7,8	8,1	+0,3
3	Капітальні вкладення	грн	—	20 000	+20 000
4	Повна собівартість річного випуску	грн	3 681 900	3 717 720	+35 820
5	Собівартість 1 тис. відб.	грн	284,32	282,07	-2,25
6	Річний прибуток	грн	850 600	895 280	+44 680
7	Рентабельність продукції	%	23,1	24,1	+1,0

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації приймального пристрою офсетної друкарської машини шляхом впровадження системи активного гальмування листа.

Збільшення продуктивності: Розрахунки показали, що завдяки підвищенню експлуатаційної швидкості друку на 3,8% (з 7,8 до 8,1 тис. відб./год) річна виробнича потужність обладнання зросте на **230 тис. відбитків** (з 12 950 до 13 180 тис. відб./рік) без залучення додаткових трудових ресурсів.

Зниження собівартості: Встановлено, що собівартість виготовлення одиниці продукції (1 тис. відбитків) у проектному варіанті знизиться на **0,8%** (на 2,25 грн). Це досягається за рахунок розподілу умовно-постійних витрат підприємства на більший обсяг випуску продукції¹.

Економічна ефективність: Визначено, що впровадження модернізації забезпечує річний економічний ефект у розмірі **44 680 грн** додаткового чистого прибутку.

Окупність інвестицій: Розрахунковий термін окупності капітальних витрат на модернізацію (20 000 грн) становить **0,45 року** (близько 5,5 місяців). Коефіцієнт економічної ефективності становить 2,22, що значно перевищує нормативний показник для галузі ($E_H = 0,15\$$). Це свідчить про високу інвестиційну привабливість запропонованого технічного рішення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації вирішено актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності та якості процесу викладу листів у стапель листових друкарських машин шляхом вдосконалення системи гальмування. Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

Проведено аналіз сучасного стану проблеми. Встановлено, що існуючі конструкції приймально-вивідних пристроїв, які базуються на пасивних методах гальмування (нерухомі вакуумні ролики), мають фізичні обмеження продуктивності. При швидкостях друку понад 12–15 тис. відб./год аеродинамічні сили та інерція призводять до нестабільності руху листа, що викликає зминання кромки та відмарювання фарби.

Досліджено кінематику та динаміку процесу. Визначено критичні етапи транспортування листа: передача з друкарського циліндра, рух по криволінійній траєкторії та гальмування. Доведено, що при виході каретки на пряму ділянку виникає нерівномірність швидкості, а на поворотах діють значні відцентрові сили, які викликають ефект «батога» (захльостування хвостової частини). Для стабілізації руху обґрунтовано необхідність використання керованих повітряних потоків.

Розроблено математичну модель гальмування. Отримано аналітичні залежності, які пов'язують шлях гальмування з масою листа, швидкістю машини та силою вакууму. Розрахунки показали, що довжина гальмівного шляху зростає пропорційно квадрату швидкості, що унеможливорює ефективне використання традиційних схем на високих швидкостях без ризику пошкодження відбитка.

Запропоновано інженерне рішення. Обґрунтовано доцільність модернізації приймального пристрою шляхом впровадження системи **активного гальмування за задню кромку**. Використання додаткової гальмівної каретки дозволяє розтягнути лист у повітрі, усунути його деформацію та забезпечити плавне зниження швидкості до 0,8–1,0 м/с перед укладанням, незалежно від формату та щільності паперу.

Підтверджено економічну ефективність. Техніко-економічні розрахунки показали, що впровадження розробленої системи дозволяє підвищити

експлуатаційну швидкість машини на 3,8%, що забезпечує річний приріст продуктивності у **230 тис. відбитків**. Розрахунковий річний економічний ефект становить **44 680 грн**, а термін окупності капітальних вкладень на модернізацію не перевищує **0,45 року** (5,5 місяців).

Таким чином, мета роботи досягнута: запропоновані рішення дозволяють підвищити надійність роботи приймального пристрою, зменшити кількість технологічних відходів та збільшити прибутковість поліграфічного виробництва.

Список використаної літератури

1. Гавенко С.Ф. Оцінка якості поліграфічної продукції: навч. посіб. / С.Ф. Гавенко, О.В. Мельников; ред. Е.Т. Лазаренко. — Львів: Афіша, 2000. — 120 с.
2. ДСТУ 3934-99. Матеріали й устаткування поліграфічні: Терміни та визначення. — Введ. 2001.01.01. — Офіц. вид. — К.: Держстандарт України, 2000. — III, 27 с.
3. Жидецький Ю.Ц. Поліграфічні матеріали: Підручник / Ю.Ц. Жидецький, О.В. Лазаренко, Н.Д. Лотошинська та ін.; за ред. Е.Т. Лазаренко. — Львів: Афіша, 2001. — 326 с.
4. Кіпхан Г. Енциклопедія друкованих засобів інформації / Гельмут Кіпхан. — Пер. з нім. — 2003. — 1280 с.
5. Конструкція аркушевих ротаційних друкарських машин. — Львів: УАД, 2005. — 60 с.
6. Кухлінг Х. Довідник з фізики / Горст Кухлінг. — Пер. з нім. — 1982. — С. 42–50.
7. Примаков С.П. Технологія паперу і картону / С.П. Примаков, В.А. Барабаш. — К.: ЕКМО, 2002. — 396 с.
8. Чехман Я.І. Друкарське устаткування: Підручник / Я.І. Чехман, В.Т. Сенкус, В.П. Дідич, В.О. Босак. — Львів: УАД, 2005. — С. 357–367.
9. Шостачук Ю.О. Техніка і технологія сучасного поліграфічного виробництва: навч. посіб. / Ю.О. Шостачук. — К.: НТУУ «КПІ», 2009. — 244 с.
10. Шостачук Ю.О., Мосіюк І.С. Форма паперового листа і його викладення на приймальний стапель листових друкарських машин // Технологія і техніка друкарства. — 2016. — № 4 (54). — С. 49–57.
11. Heidelberg Speedmaster XL 105. Operating Manual / Heidelberger Druckmaschinen AG. — Heidelberg, Germany, 2018. — 240 p.
12. KBA Rapida 106. Sheetfed offset technology / Koenig & Bauer AG. — Radebeul, Germany, 2019. — 18 p.

Вдосконалення процесу викладу аркушів у приймальному пристрої офсетної машини

Виконав: студент гр. ВМ-41мп Мирончук Денис Юрійович
Керівник: Шостачук Ю.О.

Київ – 2025

Актуальність

- Сучасні машини працюють на швидкостях 15 000 – 18 000 відб./год.
- Традиційні системи гальмування (вакуумні ролики) не справляються з інерцією листа.
- Наслідки: Зминання передньої кромки, відмарювання, вимушене зниження швидкості друку.

Мета та задачі роботи

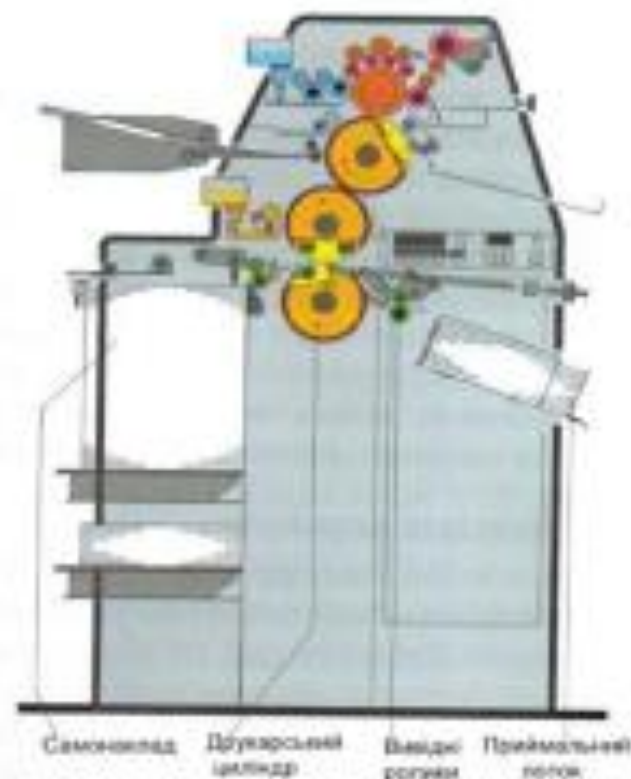
Підвищення якості укладання відбитків та робочої швидкості машини шляхом модернізації системи гальмування.

1. Проаналізувати недоліки існуючих схем викладу.
2. Розробити математичну модель руху листа при гальмуванні.
3. Запропонувати конструкцію системи активного гальмування за задню кромку.
4. Обґрунтувати економічну ефективність.

Аналіз існуючої схеми

Аналіз роботи традиційного приймального пристрою

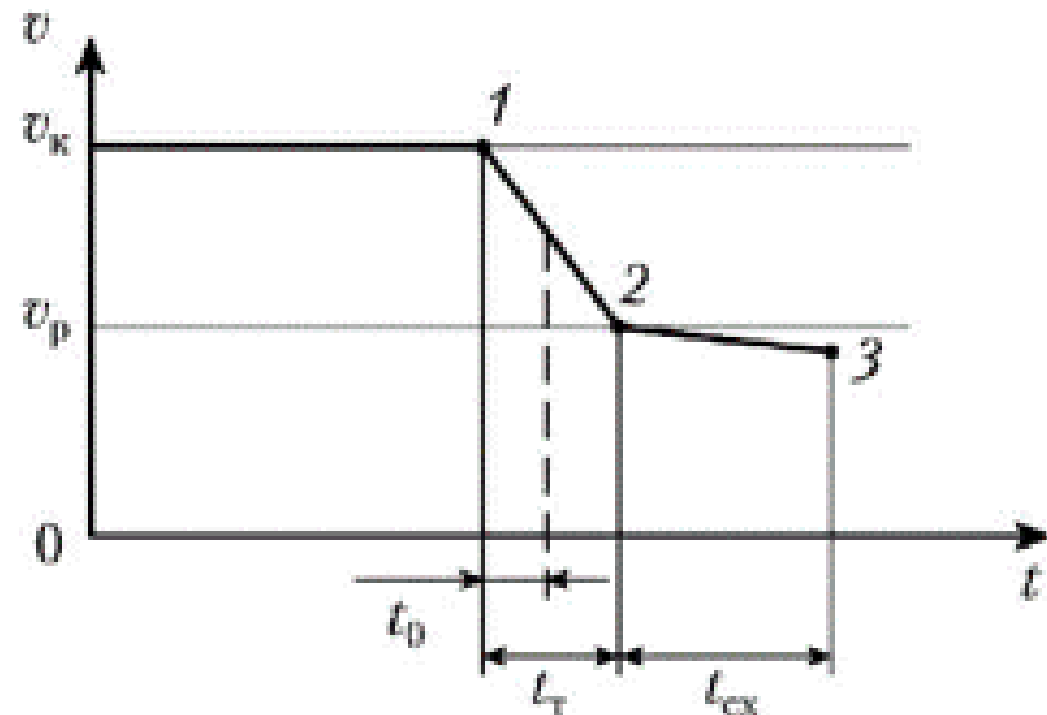
- Використовується пасивне гальмування (вакуумні ролики).
- Сила гальмування залежить від тертя, яке нестабільне.
- На високій швидкості виникає «ефект батога» (захльостування хвоста).



Теоретичне обґрунтування

Математична
модель гальмування

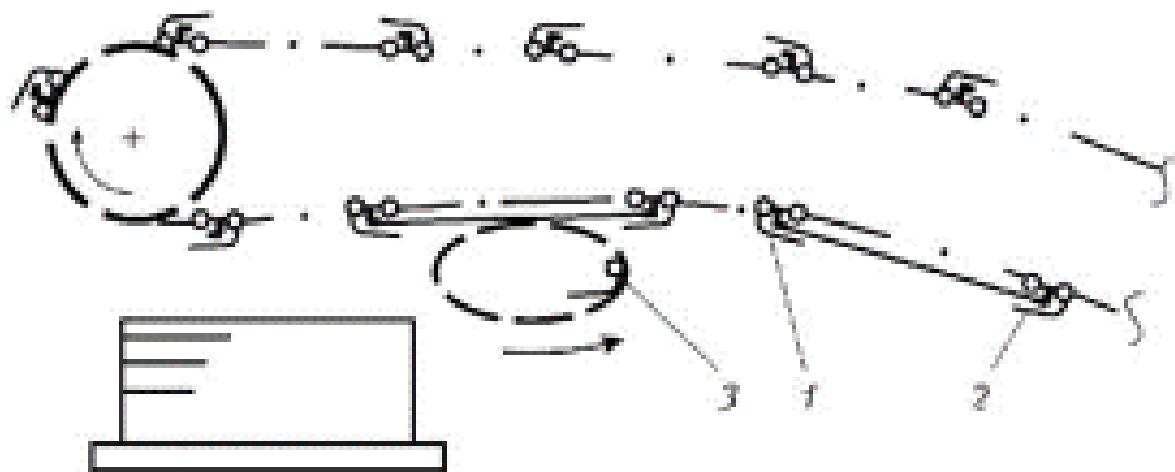
Шлях гальмування
росте пропорційно
квадрату швидкості.
Для збільшення
швидкості у 2 рази,
гальмівне зусилля
треба збільшити у 4
рази, що пошкоджує
папір.



Запропоноване рішення

Модернізація: Система активного гальмування

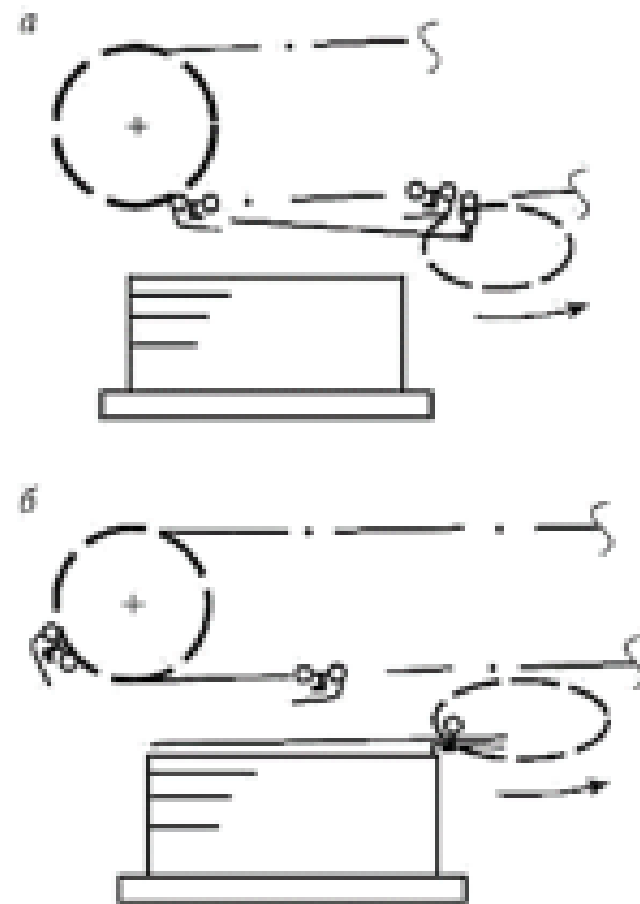
- Перехід від пасивного тертя до жорсткого захоплення.
- Використання додаткової гальмівної каретки.
- Захоплення листа за задню кромку ("хвіст").



Конструкція та принцип дії

Принцип роботи
модернізованого вузла

- Основна каретка веде передню кромку.
- Гальмівна каретка перехоплює задню кромку.
- Лист розтягується в повітрі (зникають хвилі).
- Плавне опускання на стопу.



Алгоритм роботи

Циклограма роботи пристрою



Економічна ефективність

Техніко-економічні показники

1. Приріст продуктивності: **+230 тис. відб./рік**
2. Зниження собівартості: **на 0.8%**
3. Річний економічний ефект: **44 680 грн**
4. Термін окупності: **0.45 року (5.5 місяців)**

Висновки

- Мета роботи досягнута.
- Розроблено систему активного гальмування за задню кромку.
- Це дозволяє збільшити швидкість друку на 3-4% без втрати якості.
- Рішення є економічно вигідним та швидко окупається.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ