

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Навчально-науковий видавничо-поліграфічний інститут
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра машин та агрегатів поліграфічного виробництва
(повна назва кафедри)

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Андрій ІВАНКО
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2025 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою

«Комп'ютеризовані поліграфічні системи»

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: Удосконалення пристрою для комбінованого транспортування картонних розгортки у зону висікання

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

_____ Ярошенко Володимир Павлович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник _____ Доцент, к.т.н., доцент Іванко А. І. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з розробки
стартап проєкту _____ Доцент, к.т.н., доцент Макатьора Д. А. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____ Професор каф. ТПВ, д.т.н., професор Роїк Т.А. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2025 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий видавничо-поліграфічний інститут
Кафедра машин та агрегатів поліграфічного виробництва
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»
Освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані поліграфічні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Микола ЗЕНКІН

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту Ярошенку Володимирі Павловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Удосконалення пристрою для комбінованого транспортування картонних розгорток у зону висікання», науковий керівник дисертації Іванко Андрій Іванович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «31» жовтня 2025 р. № 4719-с.
2. Термін подання студентом дисертації 15 грудня 2025 року.
3. Об'єкт дослідження: система для транспортування картонних розгорток у зону висікання.
4. Вихідні дані: механізми для переміщення аркушевого матеріалу за допомогою стисненого повітря; швидкість транспортування аркуша $V_a = 0.5 \dots 3 \text{ м/с}$; товщина між стінками пневматичної камери $H = 3 \dots 10 \text{ мм}$; довжина транспортувальної камери $L = 0,8 \dots 1,6 \text{ м}$; ширина транспортувальної камери $W = 0,2 \dots 0,4 \text{ м}$.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: огляд літературних та інформаційних джерел, аналіз провідних механізмів для переміщення картону та аркушевого матеріалу, розглянути та порівняти методи удосконалення роботи системи переміщення
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: структурні схеми побудови механізмів проведення. Кінематичні схеми механізмів переміщення матеріалу.

7. Консультанти розділів дисертації*

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

Дата видачі завдання 02.09.2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних та інформаційних джерел щодо транспортування аркушевих матеріалів	02.09.2025-30.09.2025	виконано
2	Вивчення динаміки переміщення аркуша. Кінематичні параметри пристроїв для транспортування аркушів. Параметри, що впливають на силові характеристики транспортування.	01.10.2025-29.10.2025	виконано
3	Дослідження основних параметрів, що впливають на якість позиціонування аркушів. Розробка пневматичної системи для транспортування аркушів в зону обробки.	30.10.2025- 20.11.2025	виконано
4	Стартап проєкт	21.11.2025-05.12.2025	виконано
5	Оформлення магістерської дисертації	06.12.2025-15.12.2025	виконано

Студент

Володимир ЯРОШЕНКО

Науковий керівник

Андрій ІВАНКО

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	8
ABSTRACT	10
Вступ.....	12
1.Огляд існуючого обладнання.....	13
1.1 Система аеродинамічного направлення листа	13
1.1.1 Захоплюючий пристрій та кінематика руху	14
1.1.2. Нижня аеродинамічна база	14
1.2.3. Верхня система стабілізації	15
1.1.3. Векторний аналіз взаємодії потоків	15
1.1.4. Геометрична умова стабільності	15
1.1.5. Регулювання та адаптивність.....	16
1.1.6.Точка фокусування	16
1.1.7 Недоліки	16
1.2Механізм маніпулювання для дуплексного друку	17
1.2.1. Вихід з друкарської пари.....	17
1.2.2. Реверсивна станція:.....	18
1.2.3. Транспорт до другої секції	19
1.2.4.Пневматична система активного керування	19
1.2.5. Синхронізована пульсація.....	19
1.2.6. Взаємодія повітря та картону	20
1.2.7 Недоліки конструкції.....	20
1.3 Система транспортування та викладання листових матеріалів	21
1.3.1 Загальна архітектура транспортної системи машини	21
1.3.2. Транспортування через технологічні зони	22

1.3.3. Конвеєрна система доставки.....	23
1.3.4. Конструкція захоплюючих елементів.....	23
1.3.5. Секціонування транспортного шляху.....	23
1.3.6 Аеродинамічні системи направлення.....	24
1.3.7. Адаптивність довжини направляючих.....	24
1.3.8 Гальмівні системи.....	25
1.3.9 Механіка всмоктуючих ременів.....	26
1.3.10. Поперечний натяг.....	26
1.3.11 Системи формування стосу та допоміжні механізми.....	26
1.3.12 Пневматичні системи притиску.....	27
1.3.13. Спільне налаштування.....	28
1.3.14 Недоліки.....	28
1.4 Аеродинамічна напрямна система з інтегрованими соплами.....	29
1.4.1. Принцип уявної провідної поверхні.....	29
1.4.2 Композитна структура поверхні.....	30
1.4.3. Конструкція та аеродинаміка дуттьового сопла.....	31
1.4.4 Перший вузол.....	32
1.4.5. Другий вузол.....	33
1.4.6 Варіант без рідинного охолодження.....	34
1.4.7. Гнучке з'єднання з повітряною трубою.....	34
1.4.8 Спосіб передачі навантажень від пристрою на станину машини.....	35
1.4.9 Недоліки.....	36
1.5 Пневматичний механізм транспортування та вирівнювання листів	
36	
1.5.1 Конструктивна архітектура "повітряного коридору".....	36

1.5.2 Динаміка руху листа та робота груп сопел	37
1.5.3 Група введення та початкового зміщення	38
1.5.4 Група активного транспортування та бічного зсуву	38
1.5.5 Група розвороту	38
1.5.6 Група стабілізації та виведення	39
1.5.7 Системи подачі повітря	39
1.5.8 Недоліки	41
1.6 Вдосконалений пристрій для транспортування аркушевого матеріалу та банкнот	41
1.6.1 Конструкція закритого каналу	42
1.6.2 Механічна тяга (Ролики)	42
1.6.3 Пневматична система супроводу	43
1.6.4 Інжекція повітря	43
1.6.5 Фізика взаємодії	44
1.6.6. Недоліки	44
Висновок	45
2. Технічна пропозиція щодо удосконалення комбінованого транспортену	46
2.1 Нагнітачі повітря	48
2.2 Вентилятори	49
2.3 Нагнітачі	51
2.4 Компресори	53
Висновок	55
3. Аналітичні дослідження	56
Висновок	66

4 Розробка стартап–проєкту.....	67
4.2 Технічний аудит	68
4.3 Аналіз ринкових можливостей та загроз запуску стартап-проєкту	
69	
4.4 Розробка маркетингової програми стартап проєкту	82
Висновок	84
Висновки	85
Список використаних джерел.....	86

РЕФЕРАТ

Володимир ЯРОШЕНКО. УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОМБІНОВАНОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ КАРТОННИХ РОЗГОРТОК У ЗОНУ ВИСІКАННЯ. НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» НН ВПІ, кафедра МАПВ, 2025 ПЗ: стор 88 , рис.23 , табл.16

Метою даної дисертації є удосконалення процесу транспортування та точного позиціювання картонних напівфабрикатів у зону технологічної обробки (висікання). В роботі вирішується проблема пошкодження поверхні делікатних матеріалів та забезпечення їх надійної зупинки на високих швидкостях.

В дисертації ставиться завдання розробити технологію комбінованого переміщення, що поєднує переваги механічної стабілізації та аеродинамічного принципу «повітряної подушки». Ключовою особливістю розробки є відмова від жорстких механічних упорів на користь системи активного аеродинамічного гальмування зустрічними потоками повітря, що дозволяє уникнути зминання кромek та пошкодження свіжонадрукованого шару.

Для виконання технологічного процесу пропонується конструкція пневматичного транспортера з системою похилих сопел: транспортуючих для створення тяги та левітації, і гальмівних для безконтактної зупинки.

Методи і задачі дослідження. Основною метою дослідження є обґрунтування раціональних геометричних та енергетичних параметрів комбінованого транспортера. Проведення розрахунків газодинамічних процесів, визначення оптимальних кутів нахилу сопел, їх діаметру та кількості для забезпечення стабільного руху картону заданої щільності.

Об'єкт дослідження. Система для транспортування картонних розгорток у зону висікання.

Предмет дослідження. Параметри пневматичної системи комбінованого транспортера та процеси аеродинамічної взаємодії повітряних струменів з аркушевим матеріалом під час переміщення та гальмування.

Методи досліджень. Аналітичні дослідження з використанням критеріїв подібності, розрахунок сил та тиску, графічний аналіз залежностей швидкості потоку від тиску та геометрії сопел.

Ключові слова: комбінований транспортер, картонна розгортка, аеродинамічне гальмування, ефект Коанда, повітряна подушка, пневмотранспортер, транспортер, стиснене повітря, розрахунок, перфораційна стінка, картон, пневмокамера.

ABSTRACT

Volodymyr YAROSHENKO. IMPROVEMENT OF THE DEVICE FOR COMBINED TRANSPORTATION OF CARDBOARD REAMERS INTO THE DIE-CUTTING ZONE. NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" VPI, Department of MAPV, 2025 Explanatory Note: pages 88, figures 23, tables 16.

The aim of this thesis is the improvement of the process of transportation and precise positioning of cardboard semi-finished products into the technological processing zone (die-cutting). The thesis solves the problem of damaging the surface of delicate materials and ensuring their reliable stopping at high speeds.

The thesis sets the task to develop a technology of combined movement that combines the advantages of mechanical stabilization and the aerodynamic principle of the "air cushion". A key feature of the development is the rejection of rigid mechanical stops in favor of a system of active aerodynamic braking by counter air flows, which allows avoiding edge crumpling and damage to the freshly printed layer.

To perform the technological process, a design of a pneumatic transporter with a system of inclined nozzles is proposed: transporting ones to create thrust and levitation, and braking ones for contactless stopping.

Methods and objectives of the research. The main goal of the research is to substantiate the rational geometric and energy parameters of the combined transporter. Conducting calculations of gas-dynamic processes, determining the optimal nozzle inclination angles, their diameter, and quantity to ensure stable movement of cardboard of a given density.

Object of research. System for transporting cardboard reamers into the die-cutting zone.

Subject of research. Parameters of the pneumatic system of the combined transporter and processes of aerodynamic interaction of air jets with sheet material during movement and braking.

Research methods. Analytical studies using similarity criteria, calculation of forces and pressure, graphical analysis of the dependencies of flow velocity on pressure and nozzle geometry, patent search.

Keywords: combined transporter, cardboard reamer, aerodynamic braking, Coanda effect, air cushion, pneumatic transporter, transporter, compressed air, calculation, perforation wall, cardboard, pneumatic chamber.

Вступ

Сучасний розвиток пакувальної індустрії та поліграфічного виробництва характеризується постійним зростанням вимог до продуктивності обладнання та якості готової продукції. В умовах жорсткої конкуренції ключовим фактором ефективності стає здатність обробляти матеріали на високих швидкостях без втрати точності позиціонування та пошкодження поверхні. Особливої актуальності це набуває при роботі з картоном, фізико-механічні властивості якого вимагають специфічних підходів до транспортування.

Традиційні системи транспортування листових матеріалів, що базуються виключно на механічному контакті (ролики, паси, фрикційні стрічки), стикаються з низкою обмежень при підвищенні робочих швидкостей. Виникає так званий парадокс: необхідність жорсткої фіксації листа для точного переміщення суперечить вимозі мінімізувати фізичний контакт для збереження свіжонадрукованого зображення. Крім того, значна маса та інерційність картону створюють надмірні навантаження на механічні вузли, що призводить до їх прискореного зносу та вібрацій.

Вразливим місцем класичних схем є зона переміщення заготовки безпосередньо в зону технологічної обробки (друку, висікання або лакування). Будь-яка нестабільність на цьому етапі, викликана аеродинамічним опором або проковзуванням, призводить до браку продукції та збоїв у роботі лінії.

Перспективним напрямком вирішення цих проблем є впровадження комбінованих транспортерів, які поєднують надійність механічної тяги з перевагами аеродинамічних систем. Використання керованих повітряних потоків дозволяє створити ефект «повітряної подушки» або «повітряного коридору», де лист стабілізується між векторними полями тиску. Такий підхід дозволяє компенсувати гравітаційне провисання та нівелювати силу лобового опору, розвантажуючи механічні елементи транспортера. Застосування комбінованих методів, де механічні захвати або ролики задають вектор швидкості, а пневматичні модулі забезпечують безконтактну підтримку та

притиск, відкриває нові можливості для модернізації пакувального обладнання. Це дозволяє працювати з широким діапазоном щільності матеріалів, від тонкого паперу до жорсткого картону, адаптуючи параметри системи під конкретне замовлення.

Метою даної роботи є дослідження та обґрунтування параметрів комбінованого транспортера для переміщення картону в зону обробки. Завдання полягає у розробці системи, яка забезпечить стабільне транспортування заготовок за рахунок синергії механічних та аеродинамічних сил, мінімізуючи при цьому ризики пошкодження поверхні та енергетичні витрати на подолання тертя.

1.Огляд існуючого обладнання

1.1. Система аеродинамічного направлення листа

Основною проблемою, яку вирішує даний винахід, є явище "змазування" ще вологої фарби на свіжонадрукованому листі. У класичних ланцюгових вивідних пристроях передня кромка листа утримується "захоплюючим" пристроєм, а тіло листа рухається над напрямною поверхнею. На високих швидкостях виникає парадокс: з одного боку, необхідно підтримувати лист, щоб він не провисав під дією гравітації, з іншого — будь-який фізичний контакт з опорною поверхнею призводить до пошкодження зображення (особливо при двосторонньому друці). Винахід пропонує створення "повітряного коридору", де лист затискається між двома векторними полями повітряних потоків, що забезпечує його стабільний, безконтактний рух.

Конструктивна архітектура системи базується на транспортному пристрої, що переміщує листи 1 від друкарського барабана 3 вздовж уявної траєкторії направлення 4.

1.1.1. Захоплюючий пристрій та кінематика руху

Центральним елементом механічного переміщення є захоплюючий пристрій 5. Цей пристрій жорстко фіксує передню кромку листа і змонтований на нескінченних ланцюгових контурах, що рухаються паралельно траєкторії 4. При транспортуванні картону навантаження на захоплюючий пристрій зростає

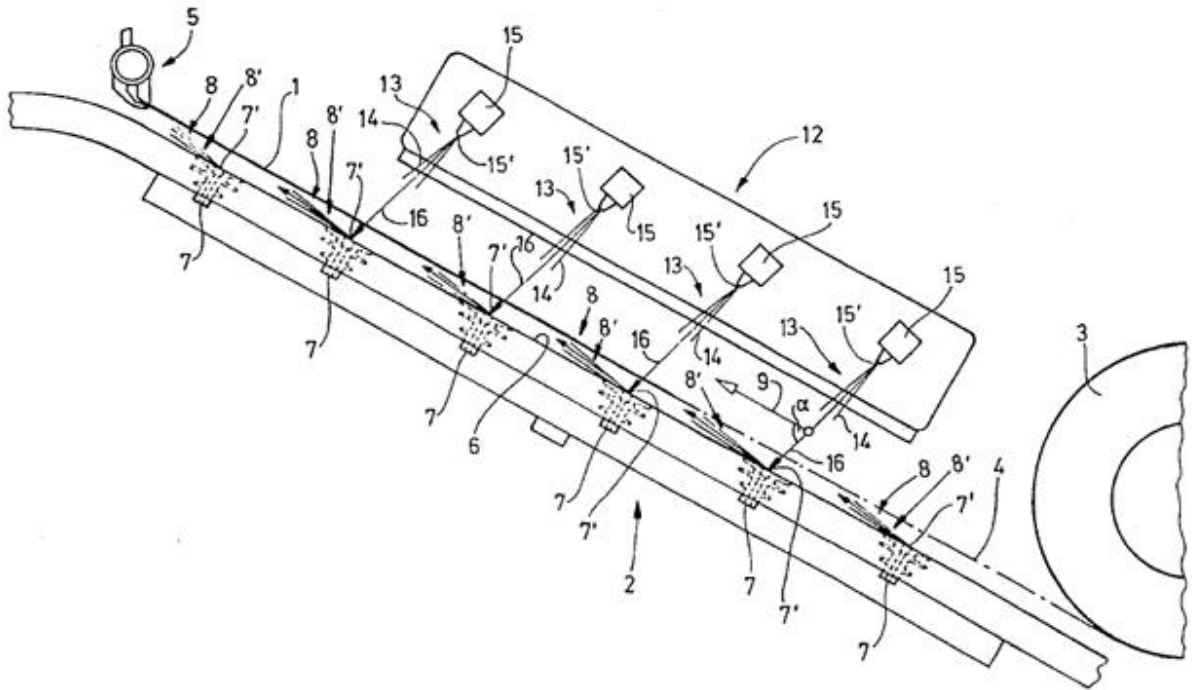


Рисунок 1.1.- Схема транспортеру для транспортування аркушів [1]

експоненційно зі швидкістю, тому сила затиску повинна компенсувати відцентрові сили на поворотах зірочок ланцюга. У контексті даного апарату, захоплюючий пристрій 5 виконує роль локомотива, який задає вектор швидкості, тоді як аеродинамічна система забезпечує стабілізацію тіла листа.

1.1.2. Нижня аеродинамічна база

Під траєкторією руху 4 розташована поверхня направлення листа 6. Це не просто пасивний щиток, а активна аеродинамічна площа. Перші повітряні

сопла 7 вбудовані в тіло елемента направлення. Важливою особливістю є те, що отвори сопел 7 розташовані врівень з поверхнею 6. Це конструктивне рішення мінімізує збурення пограничного шару повітря. Повітря 8 виходить з сопел 7 і формує потік 8. Вектор цього потоку позначений стрілкою 9 паралельний напрямку руху листа. Цей потік 8 працює за принципом несучого шару (ефект повітряної змазки). Створюючи швидкісний потік між нерухомою поверхнею 6 та рухомим листом 1, система генерує зону динамічного тиску, яка протидіє гравітації. Для картону, що має значну масу, швидкість цього потоку повинна бути високою для забезпечення достатньої підйомної сили без виникнення турбулентності.

1.2.3. Верхня система стабілізації

Над траєкторією 4 розташована сушильна установка 12, яка виконує подвійну функцію: фізико-хімічне сушіння та аеродинамічний притиск. У сушильний модуль інтегровані другі повітряні сопла 15. Через отвори 15 виходять пучки повітряних струменів 14. Головний напрямок потоку від цих сопел стрілка 16 лежить у площині, перпендикулярній передній кромці листа. Це критично важливий нюанс: потік не має бічної складової, що запобігає зміщенню листа вбік.

1.1.3. Векторний аналіз взаємодії потоків

Серцем винаходу є точна геометрична взаємодія між нижнім потоком 8 та верхнім потоком 14. розробник визначає суворі математичні обмеження для кута перетину між вектором 9 нижнього потоку та вектором 16 верхнього потоку.

1.1.4. Геометрична умова стабільності

Кут α має максимальне значення 90° Це означає, що верхній потік може бути спрямований перпендикулярно до траєкторії руху, але ніколи не має

зустрічної складової (проти руху листа). Зустрічний потік призвів би до катастрофічного зминання передньої кромки або відриву листа від захоплюючого пристрою 5.

1.1.5. Регулювання та адаптивність

Винахід має можливість регулювання нахилу сопел 15, що змінює кут α в межах від 90° до приблизно 20° . В режимі картону при перпендикулярному ударі струменя 14 створюється максимальний притискний тиск. Для жорсткого картону це необхідно, щоб подолати його власну пружність і притиснути його до аеродинамічної подушки, створеної нижнім потоком 8. В режимі тонкого паперу при гострому куті струмінь 14 має значну горизонтальну складову, спрямовану в бік хвоста листа. Це розтягує лист і запобігає утворенню хвиль.

1.1.6.Точка фокусування

Унікальною особливістю є вимога до прицілювання струменів. У нахиленому стані уявне продовження центральної осі струменя 16 повинно проходити крізь траєкторію 4 і влучати безпосередньо в один з отворів 7 нижніх сопел. Інженерний зміст цього рішення полягає у створенні замкнутого силового контуру. Верхній струмінь не просто б'є в лист, а "замикається" на нижньому джерелі тиску. Це локалізує зону деформації і запобігає виникненню стоячих хвиль на поверхні листа.

1.1.7. Недоліки транспортеру

Центральним елементом стабільності системи є сувора математична та геометрична взаємодія між нижнім несучим потоком (вектор 9) та верхнім притискним потоком (вектор 16). Документація чітко визначає, що кут між цими векторами має критичне обмеження: він не може перевищувати 90° .

Ризик катастрофічного зминання: Вимога, щоб верхній потік ніколи не мав зустрічної складової (проти руху листа), створює бінарну зону ризику. Найменше відхилення налаштувань сопел 15, викликане вібрацією машини, термічним розширенням сушильної камери або помилкою оператора, може призвести до появи вектора сили, спрямованого проти руху листа. Як зазначено в джерелі, це призводить до "катастрофічного зминання передньої кромки" або відриву листа від захоплюючого пристрою. Система не має пасивного захисту від цієї помилки; вона покладається виключно на точність геометричного налаштування. Для обробки різних матеріалів (від тонкого паперу до жорсткого картону) система вимагає зміни кута нахилу сопел у широкому діапазоні — від 90° до приблизно 20° . Це передбачає наявність складних поворотних механізмів всередині агресивного середовища сушильної камери, механічні вузли, що відповідають за цю зміну кута, піддаються прискореному зносу та заклинюванню, що унеможлиблює точне налаштування та веде до браку продукції. У нахиленому стані уявне продовження осі верхнього струменя повинно проходити крізь траєкторію руху листа і влучати безпосередньо в один з отворів нижніх сопел. Пряме влучання потужного верхнього струменя в отвір нижнього сопла може викликати зворотний тиск у нижній пневматичній системі або акустичний резонанс, що порушує ламінарність нижньої воздушної подушки.

1.2. Механізм маніпулювання для дуплексного друку

1.2.1. Вихід з друкарської пари

Ролик 16 та важелі 18 лист виходить з друкарського циліндра 12 першої секції через направляючий механізм, що складається з направляючого ролика 16 та вузлів відхиляючих важелів 18. Важелі 20 мають L-подібну форму; їх пряма ділянка 22 разом з роликом 16 формує початковий шлях виходу, важелі також мають криволінійну поверхню 26, радіус якої відповідає радіусу ролика 16. Передня кромка листа 28 вдаряється об вигнуті поверхні 26, і завдяки

інерції та формі важелів лист примусово відхиляється від циліндра 12 вниз, у напрямку реверсивної станції. Для картону цей момент є критичним: радіус поверхні 26 повинен бути достатньо великим, щоб не зламати волокна картону при різкому згині.

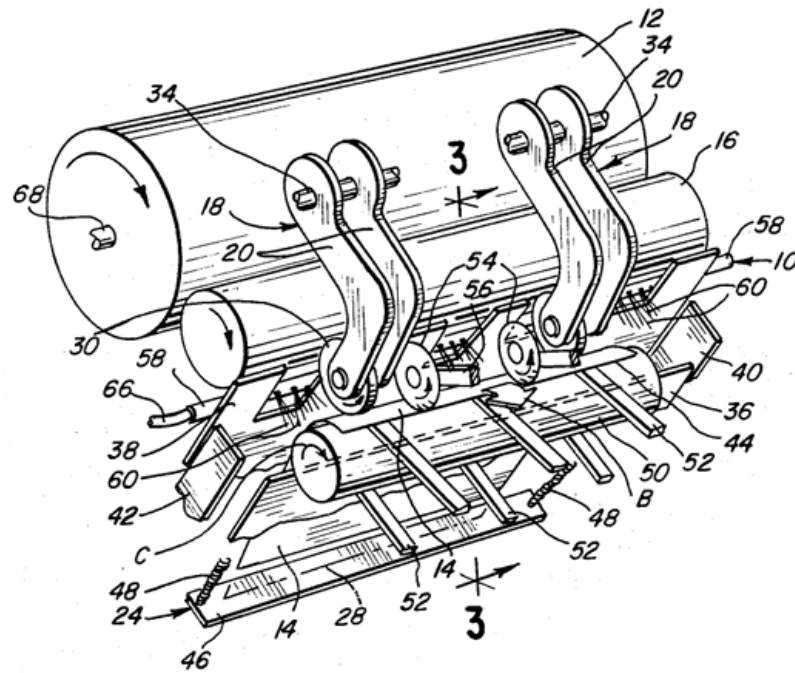


Рисунок 1.2 - Загальна схема механізму обробки листа
[2]

1.2.2. Реверсивна станція

Лист потрапляє у приймальний лоток 24 який обмежений бічними стінками 36, 38 та торцевими стінками 40, 42. Лист входить у лоток під дією кінетичної енергії, накопиченої при друці, а його рух гальмується тертям та ударом передньої кромки 28 об торцеві упори. Нижня стінка 46 лотка оснащена пружинами 48 і виконує функцію катапульты. Спеціальний привід, синхронізований з обертанням машини, зводить і різко відпускає нижню стінку 46, що надає листу імпульс у зворотному напрямку. Тепер задня кромка листа 44 стає його новою передньою кромкою.

1.2.3. Транспорт до другої секції

Лист, виштовхнутий з лотка, повинен потрапити на транспортні стрічки 52, які рухаються на роliках 50 у напрямку до другої друкарської пари. Основною проблемою надійності є те, що при виході з лотка, особливо у випадку пружного картону, лист може підскочити, перекоситися або проковзнути по стрічках 52, не набравши потрібної швидкості.

1.2.4. Пневматична система активного керування

Головною інновацією виробу є використання імпульсного повітряного струменя для гарантованого захоплення листа транспортною системою без використання механічних затискачів.

Над зоною виходу листа з лотка, паралельно шляху руху, розташована перфорована трубка 58. Вона містить ряд отворів, спрямованих вниз, на площину транспортних стрічок 52.

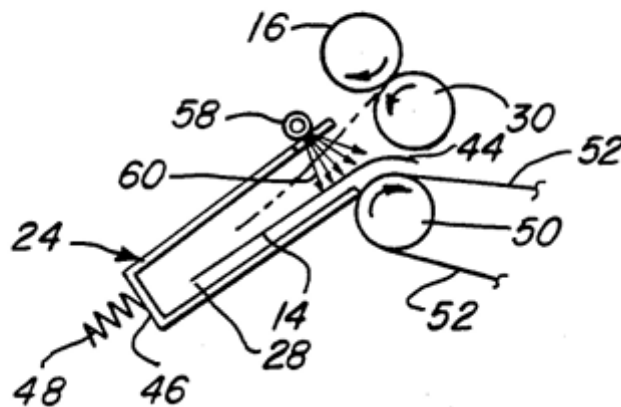


Рисунок 1.3. - Схема пневматичного притиску[2]

1.2.5. Синхронізована пульсація

Подача повітря не є постійною, оскільки постійний потік міг би збити лист ще на етапі входу в лоток. Повітряний клапан 62 керує подачею стисненого

повітря від джерела через канал 64 до трубки 66 і далі до сопел 58. Клапан 62 механічно з'єднаний через вал 68 безпосередньо з друкарським циліндром 12 першої секції для забезпечення синхронізації. Циклограма роботи налаштована таким чином, щоб клапан генерував струмені 60, виключно в той момент, коли лист вже повністю увійшов у лоток, змінив напрямок, і його "нова передня кромка" виходить з-під відхиляючих важелів 18.

1.2.6. Взаємодія повітря та картону

Струмінь 60 вдаряє в зону кромки 44. Сила тиску повітряного струменя притискає кромку 44 до рухомих стрічок 52. Це різко збільшує силу тертя спокою між картоном і гумою стрічки, дозволяючи конвеєру миттєво розігнати лист до робочої швидкості без проковзування. Механічний ролик притиску мав би опускатися і підніматися, що створює вібрації і обмежує швидкість, тоді як повітряний струмінь безінерційний. Крім того, він не залишає слідів на поверхні картону, що є критичним для високоякісного пакування.

1.2.7. Недоліки конструкції

Вихід листа з друкарської пари базується на примусовому відхиленні за допомогою важелів 18 з L-подібною формою та криволінійною поверхнею 26. Передня кромка листа вдаряється об вигнуті поверхні важелів. Для картону цей момент є критичним. Як зазначається в документі, радіус поверхні повинен бути достатньо великим, щоб не зламати волокна картону. Це вказує на вроджений недолік: система покладається на фізичну деформацію, згин матеріалу. При роботі з високоякісним крейдованим картоном або жорсткими субстратами такий ударний вплив може призвести до утворення мікротріщин на покритті або залишкової деформації передньої кромки. Відхилення листа залежить не лише від геометрії важелів, але й від інерції самого листа. Це означає, що траєкторія руху є функцією від маси листа та швидкості машини.

Зміна щільності паперу або швидкості друку змінює кут відльоту, що може призвести до нестабільного входу в приймальний лоток. Реверсивна станція використовує нижню стінку лотка 46, оснащену пружинами 48, яка працює як катапульта, що зводиться і різко відпускається. Механізм, що базується на різкому вивільненні енергії пружин, є джерелом значних ударних вібрацій. Ці вібрації передаються на сусідні вузли машини, потенційно впливаючи на якість друку в інших секціях. Крім того, циклічні ударні навантаження призводять до прискореного втомного руйнування пружин та механізмів приводу катапульти.

Після отримання імпульсу від катапульти лист рухається у вільному польоті до моменту захоплення транспортними стрічками. У цей момент він не має жорсткої фіксації, що створює ризик перекосу або розвороту, особливо якщо лист має нерівномірний розподіл маси або аеродинамічну асиметрію.

1.3. Система транспортування та викладання листових матеріалів

Винахід є комплексною системою транспортування та приймання для листових обробних машин, яка характеризується високим ступенем автоматизації та адаптивності до різних типів субстрату, включаючи важкий картон. Система розроблена для роботи з декількома станціями приймання, що дозволяє реалізувати гнучкі стратегії сортування та безперервного виробництва.

1.3.1. Загальна архітектура транспортної системи машини

Машина для обробки картону або паперу являє собою інтегрований комплекс, де транспортування матеріалу відбувається через послідовний ланцюг технологічних вузлів. Процес розпочинається в системі подачі 02 яка забирає листи зі стосу 08, розміщеного на палеті 13. Для забезпечення безперервності процесу, особливо при роботі з картоном, що має значну товщину і швидко вичерпує стопу, використовується допоміжний носій паль,

який вводиться в зону подачі. Після відокремлення, субстрат В потрапляє на транспортну ділянку 14, яка виконана у вигляді стрічкового столу подачі, зокрема вакуумного стрічкового столу. Вакуумна фіксація на цьому етапі є критичною для запобігання зміщенню важких картонних листів під час прискорення. Далі субстрат надходить до системи вирівнювання 16, де відбувається його точне позиціонування перед захопленням. Після вирівнювання лист передається на транспортний засіб 17, ідентифікований як подавальний барабан або трансферний барабан 17. Цей барабан виконує функцію передавальної ланки до транспортного засобу 18 першої обробної станції 04.

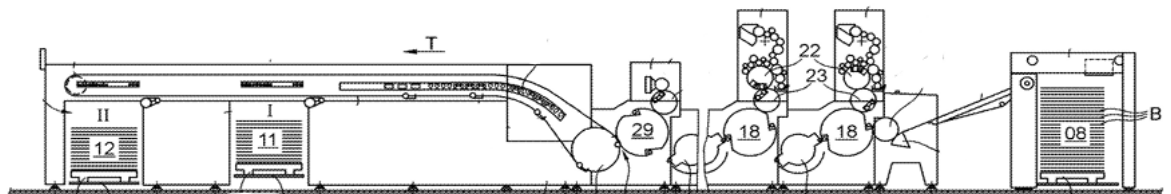


Рисунок 1.4. - Загальна схема транспортної системи [3]

1.3.2. Транспортування через технологічні зони

У межах обробних станцій друкарських секцій 04 06 транспортування здійснюється системою циліндрів. Офсетні секції 04 використовують друкарський циліндр 18 як опорну поверхню для транспортування листа під час нанесення зображення через офсетний циліндр 23 та формний циліндр 22. Для передачі картону між секціями застосовуються трансферні барабани 19. Специфіка транспортування картону вимагає особливої конструкції цих барабанів для запобігання деформації жорсткого матеріалу при згинанні.¹

1.3.3. Конвеєрна система доставки

Після завершення технологічних операцій (друку, лакування в секції 06) субстрат В передається до системи доставки 03. Основним елементом транспортування тут є ланцюгова конвеєрна система 21, яка простягається через усі станції приймання. Система базується на використанні нескінченного ланцюга 31, який виступає тяговим елементом. Ланцюг 31 направляється та приводиться в рух за допомогою коліс 33, 34 (зірочок). На ланцюгах закріплені утримуючі пристрої 32, виконані у вигляді кареток захоплень 32. Для забезпечення стабільності руху, особливо при транспортуванні важкого картону на високих швидкостях, каретки 32 рухаються по жорстких бічних направляючих рейках 38, 39.¹

1.3.4. Конструкція захоплюючих елементів

Кожна каретка 32 оснащена валом захоплень 59, на якому змонтовані утримуючі елементи 56 (захоплювачі). Конструктивно вони складаються з пальців 58, які притискають передню кромку листа до подушок захоплень 57. Надійність цього затиску є критичною, оскільки картон має значну інерцію, і будь-яке проковзування під час гальмування може призвести до збою.¹

1.3.5. Секціонування транспортного шляху

Транспортний шлях системи доставки розділений на функціональні зони:

Ділянка 41: Простягається від точки передачі 43 до першої станції доставки I (простір укладання 44). Ділянка 42: З'єднує першу станцію з другою станцією доставки II (простір укладання 46). Така конфігурація дозволяє реалізувати вибіркове укладання: лист може бути скинутий на станції I або транспортований далі до станції II, залежно від режиму роботи, сортування, видалення макулатури, зміна стопи.

1.3.6 Аеродинамічні системи направлення

Для підтримки картону під час руху та запобігання його контакту з нерухомими частинами машини використовується складна система направляючих пристроїв 47, що складається з окремих сегментів 47.1 – 47.8.

Система використовує різні аеродинамічні принципи залежно від типу матеріалу та ділянки шляху. Направляючі пластини оснащені системою отворів, підключених до повітряних модулів 71.x, які можуть генерувати як вакуум, так і надлишковий тиск. Для тонкого матеріалу ($<150 \text{ г/м}^2$): Перевага віддається використанню всмоктуючих отворів 68. Вакуум у модулях 71.x притягує лист до гладкої поверхні пластини, стабілізуючи його та усуваючи аеродинамічний флаттер задньої кромки. Для картону ($>200 \text{ г/м}^2$): Використовується принцип повітряної подушки. Отвори 69 виконані у вигляді сопел Вентурі. Повітряний модуль 71.x нагнітає повітря через ці сопла, створюючи ефект Бернуллі. Це дозволяє утримувати жорсткий картонний лист у "плаваючому" стані на певній відстані від пластини, що виключає ризик подряпин на віддрукованій поверхні у випадку двостороннього друку або перевероту.

Винахід має специфічну конфігурацію: на вході в першу ділянку 41 елемент 47.1 може бути оснащений соплами Вентурі 69, тоді як наступні елементи 47.2, 47.3 можуть працювати в режимі всмоктування через отвори 68, або навпаки, залежно від технологічних вимог.

1.3.7. Адаптивність довжини направляючих

Критично важливим елементом для транспортування різноформатного картону є змінна геометрія направляючих. Останній направляючий елемент 47.4 перед станцією I та елемент 47.8 перед станцією II виконані зі змінною робочою довжиною. Це дозволяє налаштувати точку закінчення підтримки листа точно під формат довжини поточного тиражу. Конструктивно це реалізовано через можливість переміщення кінцевої частини елемента вздовж

напрямку транспортування. Елемент може бути виконаний гнучким і переміщатися в дугоподібних бічних направляючих 73, ховаючись під попередніми елементами або висуваючись з-під них. Така конструкція забезпечує безперервність підтримки листа аж до моменту його скидання на стос.1

1.3.8. Гальмівні системи

З огляду на високу кінетичну енергію картонного листа, що рухається на швидкості друку, система оснащена високоефективними гальмівними модулями 48 та 49 Їхнє завдання знизити швидкість листа від транспортної швидкості до безпечної швидкості укладання.

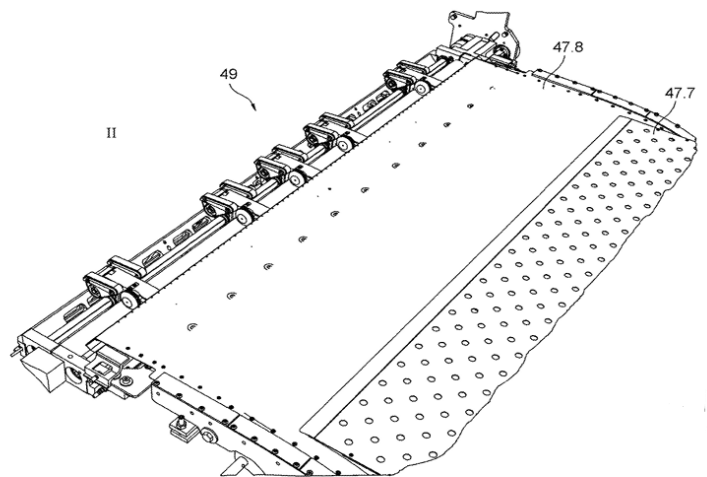


Рисунок 1.5. - Механізм гальмування [3]

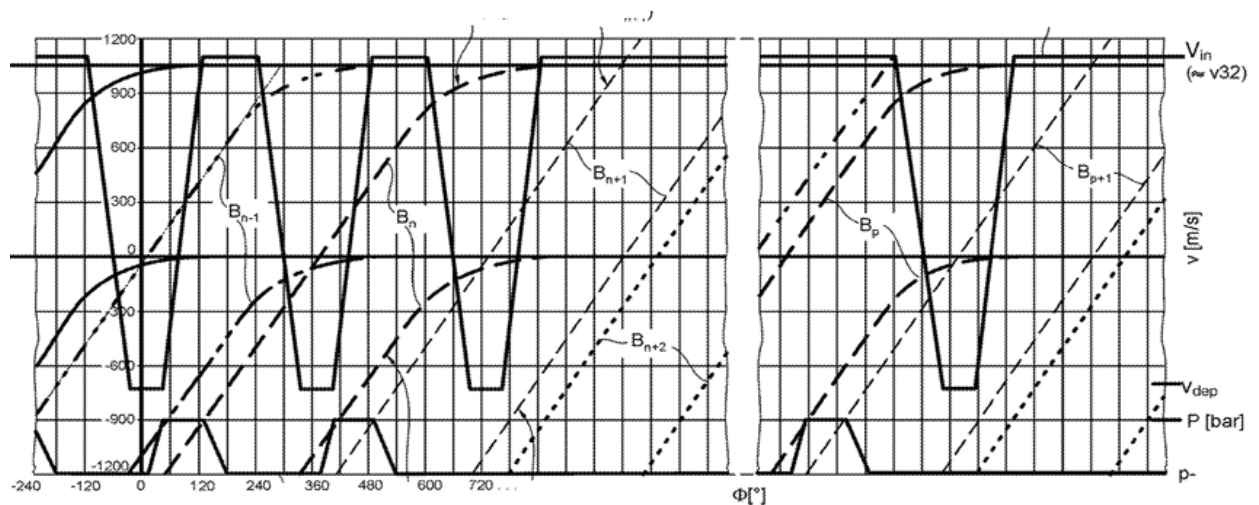


Рисунок 1.6. - Діаграма роботи гальмівної системи [3]

1.3.9. Механіка пневматичних стрічок

Основним робочим органом гальмівної системи є набір гальмівних пристроїв 91 (зазвичай п'ять модулів), розташованих паралельно. Кожен модуль містить утримуючий засіб 92, виконаний у вигляді всмоктуючого ремня, що обертається навколо вакуумного блоку.

Верхня робоча поверхня 112 ремня приводиться в рух індивідуальним або груповим приводом 106 електродвигуном. Це дозволяє динамічно змінювати швидкість ремня.

Оскільки картон може мати незадруковані зони, гальмівні модулі 91 мають можливість осьового переміщення впоперек руху листа. Це реалізується через приводи 95, які обертають шпindel 105 з різьбою, зміщуючи модулі в позиції, безпечні для друку.

Вся рама з гальмівними модулями може переміщатися вздовж напрямку Т за допомогою приводу 63. Це необхідно для адаптації точки початку гальмування до довжини листа Система керування S63 автоматично виставляє цю позицію на основі даних про формат.¹

1.3.10. Поперечний натяг

Для запобігання зминанню картону перед входом у зону гальмування використовується пристрій поперечного натягу 94. Він складається з всмоктуючих коліс 96 які встановлені під кутом або мають спеціальну геометрію, що створює зусилля, спрямоване від центру листа до його країв. Це розгладжує лист перед його контактом з гальмівними ремнями 92.¹

1.3.11. Системи формування стосу та допоміжні механізми

Якісне формування стопи картону вимагає точного позиціонування кожного листа. Для цього використовуються системи упорів та роздуву.

На передній кромці стосу розташована система упорів 83. Унікальною особливістю є наявність інтегрованих утримуючих елементів 299.

Коли упор 83 знаходиться в активному положенні зупиняє лист, елемент 299 розташований вище траєкторії листа. Коли упор відводиться для пропуску листа далі, елемент 299 опускається на верхній лист стосу, притискаючи його. Це запобігає підніманню вже укладених листів під дією аеродинамічних сил від проходження наступного листа на високій швидкості.

Рух реалізується через складну систему важелів (292, 296) та поворотних осей (298, 301, 304), що приводяться в дію пневматичним циліндром 99 або електродвигуном. Траєкторія руху розрахована так, щоб утримуючий елемент ніколи повністю не залишав зону над стосом.¹

1.3.12. Пневматичні системи притиску

Над зоною формування стосу розташована рама з системами роздуву 51, 52.

Система включає ряд поперечних планок 113q, кожна з яких містить групи сопел 114r. Ці сопла керуються індивідуальними швидкодіючими клапанами 116. Логіка керування дозволяє вмикати подачу повітря імпульсно, тільки в момент проходження проміжку між листами або над самим листом, залежно від потреби притиснути його до стосу.

Для роботи з картоном передбачена поздовжня планка 126, яка подає повітря під високим тиском (понад 400 кПа, оптимально 500 кПа). Цей струмінь створює поздовжній прогин у листі, що тимчасово збільшує його поздовжню жорсткість і сприяє рівному укладанню. Керування здійснюється через клапан 138. Додатково використовуються матриці осьових вентиляторів 132, 134, змонтовані на рухомій рамі 136. Це дозволяє створювати загальний потік повітря для притискання "хвоста" листа.

Система використовує допоміжний носій 166, 167, який автоматично вводиться в зону падіння листів. Носій 166 складається з окремих ланок 178

трубок або роликів, з'єднаних ланцюгами 177. Він вводиться горизонтально в паз стосу за допомогою електродвигуна 172.

Синхронізація: Введення ґрат відбувається в суворій синхронізації з фазою машини, щоб потрапити в проміжок між листами і не пошкодити продукцію.

Підйомний механізм: Після формування тимчасового стосу 168, вся конструкція опускається вниз за допомогою ланцюгів 181, 182 та приводу 171, звільняючи місце для основного стосу.¹

1.3.13. Спільне налаштування

Ключовою інновацією є логіка взаємозалежного налаштування станцій. Оскільки машина має дві станції (I та II), налаштування параметрів для однієї з них (зазвичай другої, основної) автоматично викликає корекцію параметрів для іншої.

Коли оператор через інтерфейс 243 змінює, наприклад, поздовжню позицію гальмівної системи 49 на станції, контролер генерує сигнал 256, який автоматично переміщує гальмівну систему 48 на станції I.

Логіка корекції: Корекція може бути не прямою (1:1), а з урахуванням зміщення наприклад, для станції I система може виставити ширші допуски щоб гарантувати надійність приймання навіть ціною менш ідеального стосу.

1.3.14. Недоліки винаходу

Система використовує направляючі елементи зі змінною робочою довжиною (телескопічні або зсувні конструкції, елементи 47.4, 47.8), що дозволяє адаптувати точку закінчення підтримки під формат листа. Поліграфічне середовище насичене паперовим пилом, рухомі елементи, що ховаються один під інший або рухаються в дугоподібних бічних направляючих 73, є ідеальними місцями для накопичення абразивного бруду. Це неминуче веде до заклинювання механізмів зміни формату або підвищеного зносу поверхонь.

У місцях стику висувних та стаціонарних елементів утворюються мікроскопічні сходинок. Для тонкого паперу або при високих швидкостях повітряного потоку ці сходинок стають генераторами турбулентності або точками механічного зачеплення передньої кромки листа, що порушує плавність транспортування.

Гальмівна система 48, 49 використовує набір всмоктуючих ременів з можливістю індивідуального осьового та поздовжнього переміщення. Наявність окремих приводів для ременів, шпинделів для поперечного переміщення (приводи 95, шпинделі 105) та механізмів поздовжнього зсуву робить цей вузол надзвичайно складним і дорогим.

Вакуумні ремені працюють в умовах інтенсивного тертя оскільки лист гальмується об ремінь, вони є швидкозношуваними елементами. Заміна ремня в такій складній інтегрованій системі вимагає значного часу простою машини.

1.4. Аеродинамічна напрямна система з інтегрованими соплами

Описаний винахід пропонує підхід, який базується на розділенні функцій несучої поверхні та елементів формування повітряного потоку. Це дозволяє усунути конфлікт між технологічністю виготовлення та вимогами до точності.

1.4.1. Принцип уявної провідної поверхні

Робота пристрою базується на чіткій геометричній прив'язці. Лист 1 транспортується таким чином, що його передня кромка рухається вздовж уявної провідної поверхні 4. Ця поверхня є математичною абстракцією ідеальної траєкторії. Транспортування забезпечується системою захоплювачів 2, які шарнірно закріплені на нескінченних ланцюгах 5. Ланцюги 5 рухаються по замкнутих контурах, задаючи вектор швидкості напрямку транспортування листа 3. Фізична поверхня напрямку листа 6 розташована на строго визначеній

відстані від уявної поверхні 4. Саме в цьому проміжку формується повітряна подушка.

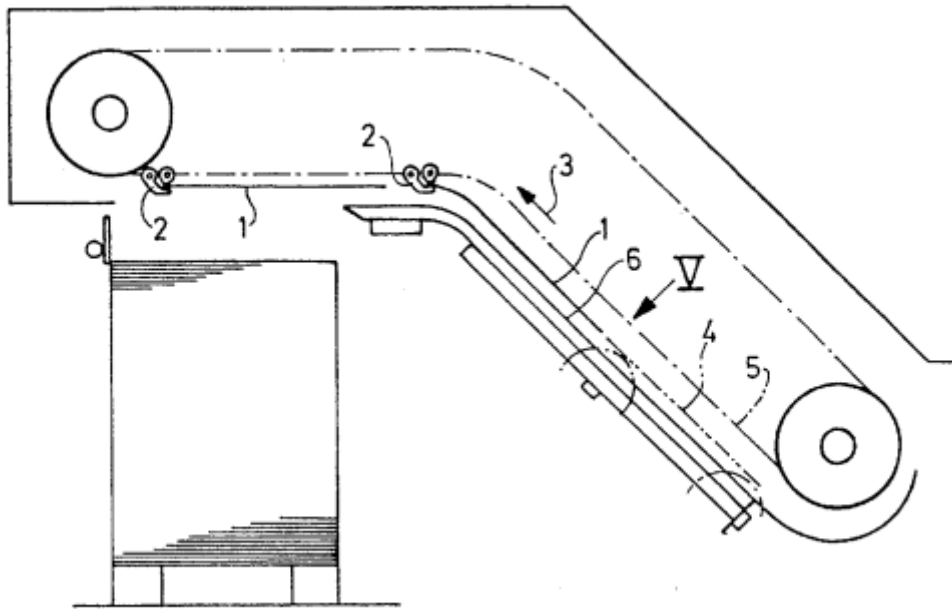


Рисунок 1.7. - Схематичний вигляд збоку пристрою для направлення листів, інтегрованого у приймальний пристрій[4]

1.4.2 Композитна структура поверхні

Головна інновація полягає у відмові від складного штампування профілів на великій пластині. Замість цього поверхня напрямку листа 6 формується як композит двох елементів: напрямна пластина 8 це суцільна деталь, яка становить переважну частину загальної площі поверхні 6. Її виготовлення вимагає лише створення простих перфорацій 9 (отворів), що не викликає значних деформацій матеріалу. Дуттьові сопла 10 це окремі прецизійні деталі, які вставляються в перфорації 9. Торцеві поверхні сопел 11 верхні площини сопел 10 утворюють залишкову частину поверхні, доповнюючи пластину 8 до повної, нерозривної площини. Критична умова: Сопла 10 вставляються в отвори 9 таким чином, щоб їхні торцеві поверхні 11 були ідеально врівень з

поверхнею пластини 8. Це виключає появу сходинок, які могли б зачепити лист 1.

1.4.3. Конструкція та аеродинаміка дуттьового сопла

Сопло є найбільш технологічно складним елементом, який забезпечує формування правильної епюри повітряного потоку. Дуттьове сопло 10 або його модифікація 10' містить канал потоку 7 цей канал виконаний не як отвір у пластині, а як частина тіла самого сопла, канал 7 розташований під кутом до поверхні напрямку листа 6 і плавно зливається з нею. Геометрично канал 7 являє собою заглиблення у першій ділянці торцевої поверхні 11. Заглиблення має форму клина, його глибина збільшується, а ширина зменшується у напрямку до осі симетрії сопла. Така складна форма сприяє віялоподібному розширенню повітряного струменя по поверхні пластини 8, забезпечуючи широку зону покриття одним соплом. Для перенаправлення вертикального потоку повітря в горизонтальний струмінь використовується спеціальна вставка. Сопло 10 має отвір сопла 14, що проходить крізь його корпус. На верхній частині сопла передбачено уступ 12, який зміщений по висоті відносно першої ділянки торця 11. В цей уступ вклеюється відбійна пластина 13. Поверхня цієї пластини 13 утворює другу ділянку торцевої поверхні 11.

Принцип дії: Пластина 13 перекриває вихід отвору 14 зверху. Повітря, що піднімається по отвору 14, вдаряється у пластину 13 і змушене виходити через бічний канал 7. Оскільки пластина 13 знаходиться врівень з поверхнею, потік виходить тангенціально до листа 1, створюючи ефект Коанда (прилипання струменя до поверхні) і забезпечуючи стабільну подушку.

1.4.4. Перший вузол

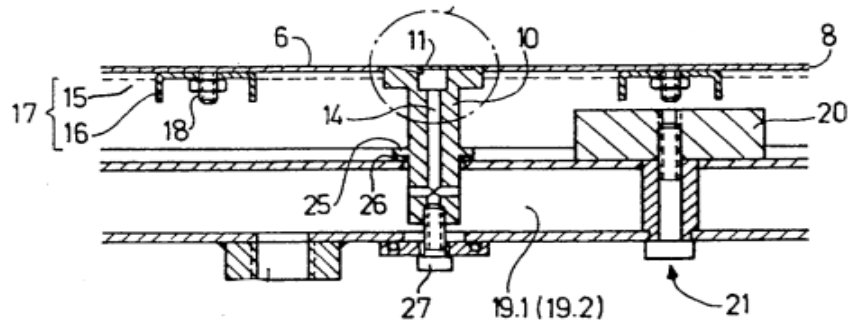


Рисунок 1.8. - Конструкція повітряного сопла та схема регулювання подачі повітря.[4]

Цей вузол відповідає за геометричну основу. Включає напрямну пластину 8.

Пластина монтується на раму 17. Рама 17 зварена з ніжок рами 15 та профільних брусків 16. Пластина 8 кріпиться до брусків 16 за допомогою

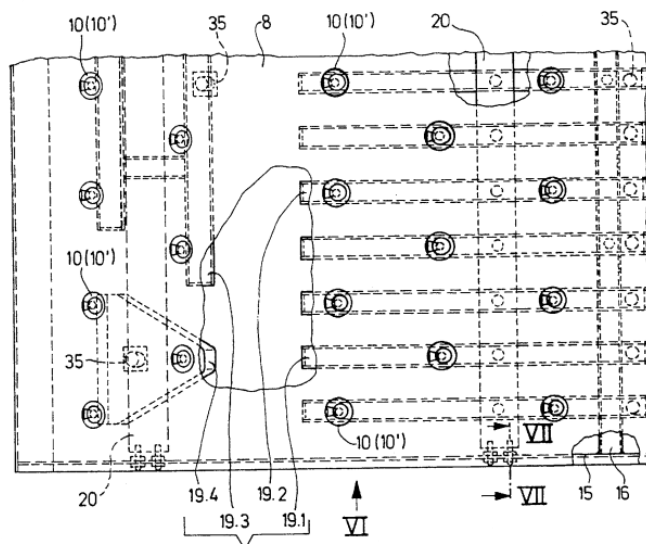


Рисунок 1.9. Груповий розподіл повітряних сопел на направляючій поверхні [4]

різьбових штифтів 18. Важливо, що рама 17 забезпечує жорсткість пластини

8, але сама пластина вже має готові перфорації 9 і не піддається зварюванню, що зберігає її площинність.

1.4.5. Другий вузол

Цей вузол відповідає за розподіл повітря.

Включає систему труб 19, що проводить дуттьове повітря.

Система складається з різних трубних компонувань 19.1, 19.2, 19.3, 19.4

Труби з'єднані між собою поперечними з'єднувачами 20 за допомогою болтових з'єднань 21. Цей вузол є масивним і сприймає тиск повітря та вібрації.

Щоб температурні розширення або деформації трубної системи 19 не викривляли прецизійну пластину 8, застосовано плаваюче кріплення. У торці поперечних з'єднань 20 вкручені різьбові болти 22. У ніжках рами 15 першого вузла виконані продовгуваті отвори 23 або пази. Перший вузол накладається на другий так, щоб болти 22 входили в пази 23. З'єднання фіксується гайками 24 з обох боків ніжки 15.

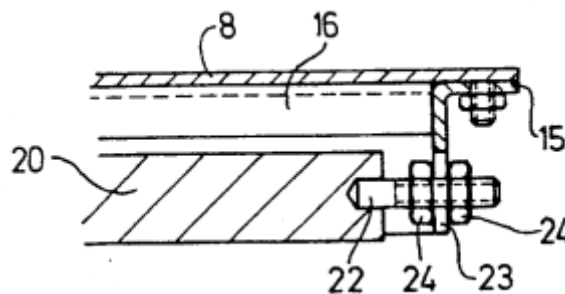


Рисунок 1.10 - Поперечний розріз вузла кріплення що забезпечує з'єднання між рамою направляючої пластини та несучою трубною системою [4]

Продовгуваті отвори 23 дозволяють відносно зміщення вузлів (наприклад, при тепловому розширенні) без виникнення вигинаючих моментів, що діяли б на пластину 8. Це гарантує стабільність геометрії поверхні напрямку листа 6 протягом усього часу експлуатації.

1.4.6. Варіант без рідинного охолодження

У цій конфігурації сопло 10 жорстко кріпиться до повітряної труби, але вільно входить в отвір пластини. Сопло 10 вставляється у відповідну перфорацію 9 пластини 8. Хвостовик сопла проходить через отвір у верхній стінці трубного компонування 19.1/19.2. Отвір сопла 14 виходить безпосередньо всередину труби. Сопло має комір 25. Між коміром 25 і стінкою труби встановлюється система прокладних кілець 26. Знизу крізь трубу проходить болт 27, який вкручується в тіло сопла, притягуючи комір 25 до труби. Товщина прокладок 26 підбирається так, щоб торцева поверхня сопла 11 була ідеально врівень з поверхнею пластини 8. Зазор між соплом і краями перфорації 9 мінімальний, але механічного зв'язку немає.

1.4.7. Гнучке з'єднання з повітряною трубою

Оскільки сопло 10 жорстко закріплене на першому вузлі (пластині), його з'єднання з другим вузлом (трубою 19) мусить бути рухомим. Хвостовик сопла входить в отвір верхньої стінки труби 19.1/19.2. Діаметр отвору труби значно більший за діаметр хвостовика, утворюючи кільцевий зазор. Ущільнювальне кільце 34 спеціальної форми вставляється в цей зазор. Воно притискається коміром 25 на хвостовику сопла до зовнішньої поверхні труби. Це еластичне з'єднання компенсує будь-які перекоси та температурні зміщення між гарячою сушаркою та холодною системою подачі повітря, зберігаючи герметичність повітряного тракту.

Ефективність транспортування картону різного формату та ваги вимагає гнучкої системи управління подачею повітря. Винахід пропонує зонування та групування сопл.

Сопла 10 розташовані на поверхні 6 за певною геометричною схемою, переважно прямими лініями вздовж напрямку транспортування 3.

Функціональні групи: Сопла об'єднані в групи, які живляться від спільних колекторів. Трубні компонування 19.1, 19.2 є прямими трубами, які проходять

під рядами сопел. Для роботи з листами різної ширини передбачена можливість відключення бічних зон. Кожне трубне компонування має власний дуттьовий порт 35. Повітря подається через дуттьові лінії 36.1, 36.2, 36.3. Кожна лінія оснащена клапаном 37. Якщо друкується вузький лист 1, оператор закриває клапани 37, що ведуть до крайніх труб. Це запобігає марному витoku повітря по боках, де немає листа, та економить енергію компресорів. Також це зменшує турбулентність на краях листа, яка могла б призвести до його “тремтіння”. Труби розділені також у поздовжньому напрямку за трубами 19.1 та 19.2 слідує трубні компонування 19.3 та 19.4. Це дозволяє налаштовувати різний тиск повітря на різних ділянках шляху. Наприклад, на початку зони виведення, де лист має високу кінетичну енергію, може знадобитися сильніший потік для стабілізації, а в зоні укладання слабший для плавного гальмування.

1.4.8. Спосіб передачі навантажень від пристрою на станину машини

Пристрій спирається на несучу балку 39 рами друкарської машини. Для цього використовуються опорні блоки 38 які кріпляться безпосередньо до трубних компонувань 19.1/19.2 (тобто до другого вузла). Силіві навантаження від ваги пристрою та динамічні навантаження передаються через жорстку трубну систему, минаючи прецизійну напрямну пластину 8. Пластина залишається розвантаженою, виконуючи лише функцію аеродинамічного екрану. Блоки 38 мають профіль, що забезпечує геометричне замикання на балці 39, що спрощує монтаж і демонтаж.

1.4.9. Недоліки конструкції

Конструкція передбачає, що сопло 10 жорстко кріпиться до пластини, але має "гнучке з'єднання" з повітряною трубою 19 через систему ущільнювальних кілець 34. Сучасна листовивідна система може містити сотні таких сопел. Надійність системи залежить від герметичності кожного з сотень еластичних ущільнень. В умовах постійних вібрацій та циклічних температурних навантажень гумові ущільнення швидко втрачають еластичність і починають пропускати повітря. Витоки повітря всередині корпусу машини призводять до падіння тиску в соплах та неконтрольованого роздування паперового пилу, який осідає на змащених механізмах та оптичних датчиках, викликаючи збої. Оскільки сопло і пластина можуть бути виготовлені з різних матеріалів або мати різну масу, вони реагують на нагрів по-різному. Це може призвести до зміни зазорів у перфорації (9) під час роботи. Збільшення зазору створює пастку для кутів листа або місце накопичення фарби та пилу.

1.5. Пневматичний механізм транспортування та вирівнювання листів

1.5.1. Конструктивна архітектура "повітряного коридору"

Основою винаходу є створення безконтактного простору для переміщення картонної розгортки або листа. Конструкція складається з наступних стаціонарних елементів:

Нижній обмежувальний засіб 10 це пластина, виготовлена з тонкого листа металу (наприклад, алюмінію). Її поверхня є переважно плоскою, хоча допускається наявність невеликих нерівностей, таких як пологі вигини які не впливають на загальну аеродинаміку. Ця пластина визначає нижню межу транспортного каналу.

Верхній обмежувальний засіб 12 це пластина, розташована над нижньою пластиною 10. Вона утримується на фіксованій відстані, утворюючи тонкий проміжок або канал. Функція пластин 10 та 12 обмежувати вертикальні коливання листа 8, не дозволяючи йому випадати або деформуватися під дією повітряних потоків.

Напрямна краю 14 бортик або стінка, що проходить уздовж одного боку нижньої пластини 10 через проміжок між пластинами. Елемент 14 є базою, до якої має бути ідеально вирівняний бічний край листа перед виходом з пристрою.

1.5.2. Динаміка руху листа та робота груп сопел

Система використовує складну схему розташування пневматичних сопел, які діють на лист 8 не одночасно, а послідовно, в залежності від його положення в тракті. Сопла розділені на функціональні групи, кожна з яких має специфічну векторну орієнтацію.

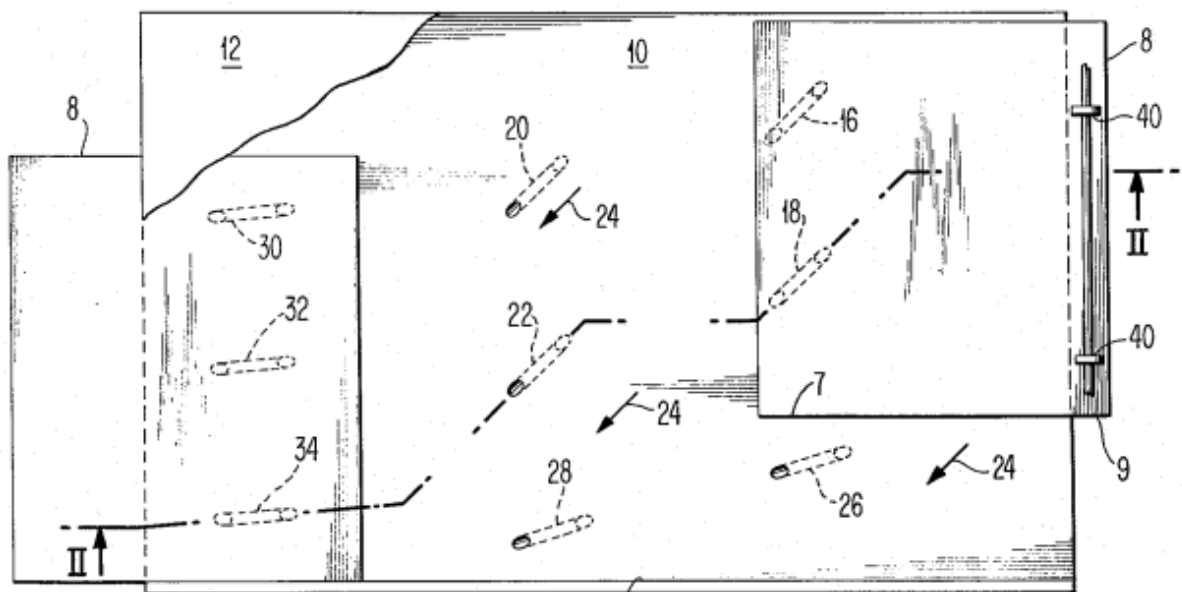


Рисунок 1.11 - Вигляд нижнього обмежувального засобу та орієнтації повітряних струменів [5]

1.5.3. Група введення та початкового зміщення

Ця група включає сопла 16 та 18. На цьому етапі лист 8 подається у пристрій зовнішніми механізмами і його задній край все ще жорстко утримується притискними роликами 40 попередньої машини.

Повітря, що виходить із сопел 16 та 18, вдаряє у передню частину листа. Оскільки лист затиснутий роликами 40, сила струменів ще не може суттєво змістити його. Однак, сопла створюють попереднє натягнення: вони формують вектори сили, спрямовані вперед і вбік (діагонально до напрямної 14). Як тільки задній край листа звільняється від роликів 40, накопичений потенціал перетворюється на кінетичну енергію, і лист починає різко зміщуватися в напрямку стрілок 24.

1.5.4. Група активного транспортування та бічного зсуву

До цієї групи належать сопла 20 та 22, розташовані у верхній частині схеми ближче до напрямної 14. Ці сопла нахилені під таким кутом, щоб створювати потужний трансляційний вектор і значний транспортний вектор. Їхнє завдання максимально швидко наблизити лист до напрямної 14, поки він рухається каналом.

1.5.5. Група розвороту

Це підсистема, що включає сопла 26 та 28, розташовані у нижній частині схеми далі від напрямної 14. На відміну від сопел 20 і 22, сопла 26 і 28 орієнтовані інакше. Вони створюють більшу складову сили вперед і значно меншу бічну складову. На верхню частину листа діє сильна бічна сила від сопел 20, 22. На нижню частину листа діє сильна сила "вперед" від сопел 26, 28. Цей дисбаланс сил створює обертальний момент (turning moment) навколо вертикальної осі, перпендикулярної площині листа. Лист починає обертатися за годинниковою стрілкою.

Завдяки повороту, задній кут 9 наближається до напрямної 14 швидше, ніж передній кут 7. Контакт з напрямною 14 відбувається спочатку безпечним заднім кутом 9. Це унеможливорює ситуацію, коли гострий передній кут 7 врізається в напрямну, що зазвичай призводить до зминання картону або застрягання

1.5.6. Група стабілізації та виведення

Після того, як задній кут 9 торкнувся напрямної, лист під дією сил продовжує рух і обертається проти годинникової стрілки навколо точки контакту, доки вся його бічна грань (між кутами 7 і 9) не ляже на напрямну 14. Тут вступають у дію сопла 30, 32 та 34, які розташовані під малим гострим кутом до напрямної 14. Бічний вектор - мінімальний, лише достатній для того, щоб утримувати вже вирівняний край листа притиснутим до борта 14. транспортний вектор – максимальний, забезпечити високу швидкість виходу вирівняного листа з зони обробки для передачі на наступний етап.

1.5.7. Системи подачі повітря

У винаході описано два варіанти конструктивного виконання пневматичного контуру, які забезпечують роботу вищеописаних сопел.

Варіант А Інтегрований пленум

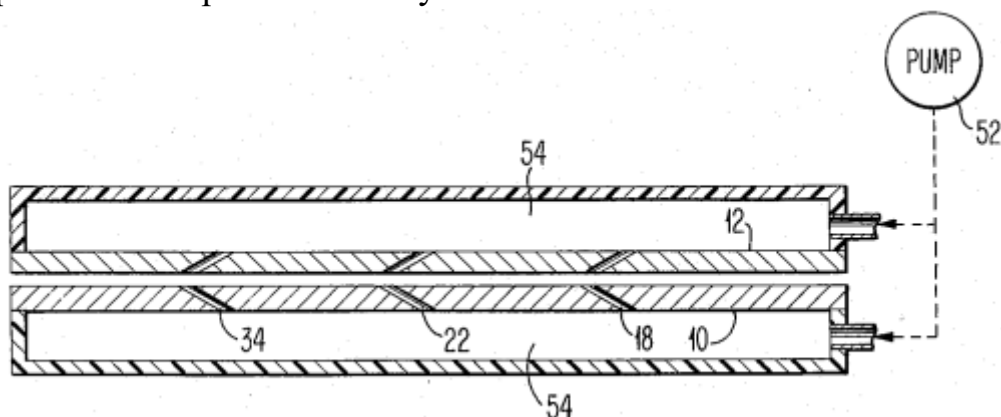


Рисунок 1.12. - Поперечний розріз верхнього та нижнього обмежувальних засобів із зображенням сопел та камери тиску [5]

У цьому виконанні самі несучі елементи конструкції виступають резервуарами повітря. Обмежувальні засоби 10 нижній та 12 верхній сконструйовані як стінки герметичної камери 54. Насос 52 нагнітає повітря безпосередньо у порожнину пленуму 54. Сопла формуються як прості отвори, просвердлені крізь внутрішні стінки пластин 10 та 12 під розрахованими кутами. Це спрощує конструкцію, оскільки відпадає потреба в окремих трубках.

Варіант Б: Трубчаста система та ефект Бернуллі

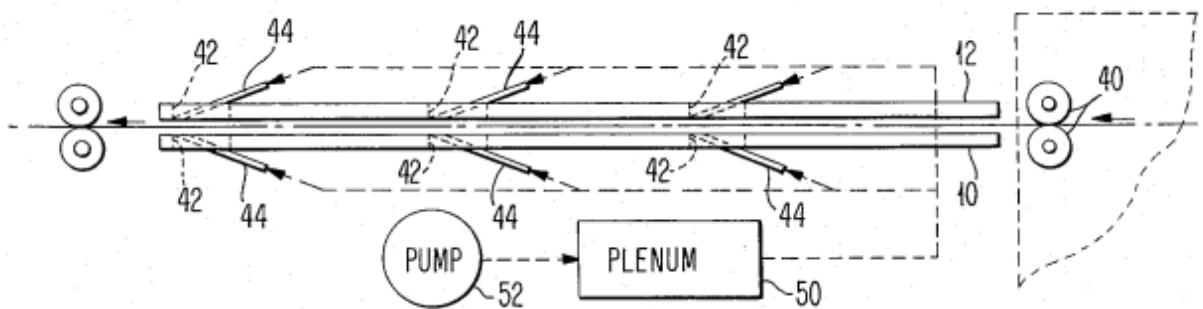


Рисунок 1.13. - Схема альтернативного варіанту виконання конструкції [5]

Це більш складна модифікація, що дозволяє реалізувати ефект "повітряної подушки". У пластинах 10 та 12 вирізані великі отвори 42. Крізь ці отвори проходять окремі трубки-сопла 44 (tube type jets). Трубки 44 під'єднані до спільного колектора — пленуму 50, який живиться від насоса 52.

Аеродинаміка: Трубки 44 нахилені так, щоб створювати збіжні потоки повітря. Висока швидкість повітря між листом та пластинами створює зону низького тиску (ефект Бернуллі).

Завдяки цьому ефекту лист не притискається до стінок, а зависає посередині каналу. Повітряні струмені фактично "буксирують" лист, виключаючи будь-яке механічне тертя об пластину 10 або 12. Це ідеально підходить для делікатних матеріалів, де неприпустимі подряпини.

1.5.8. Недоліки механізму

Керування рухом листа базується виключно на балансі аеродинамічних сил та тертя. Це класична система керування "відкритого контуру" (open loop). Немає механізму, який би гарантував, що лист дійсно досяг бічної напрямної. Ефективність бічного зсуву критично залежить від маси листа та коефіцієнта тертя його поверхні. Якщо лист важчий за розрахунковий, бічна сила сопел може бути недостатньою для його дотягування до борта. Якщо лист легший сила може бути надмірною, що призведе до удару об борт і зминання кромки. Група розвороту створює обертальний момент, покладаючись на тертя між листом і нижньою пластиною або повітряною подушкою. Забруднення поверхні змінює коефіцієнт тертя, роблячи траєкторію розвороту непередбачуваною. Методика передбачає навмисне обертання листа так, щоб задній кут торкнувся напрямної раніше переднього. Контакт заднього кута з нерухомою напрямною при русі листа вперед створює миттєву точку обертання. При високій швидкості інерція передньої частини листа може змусити його різко розвернутися навколо цієї точки контакту, якщо стабілізуючі сопла не спрацюють ідеально.

1.6. Вдосконалений пристрій для транспортування аркушевого матеріалу та банкнот

Основою винаходу є вдосконалений шлях транспортування банкнот 112. Механізм забезпечує стабільне переміщення гнучких листових матеріалів заготовок 208 на високих швидкостях шляхом поєднання механічної тяги та керованого повітряного потоку.

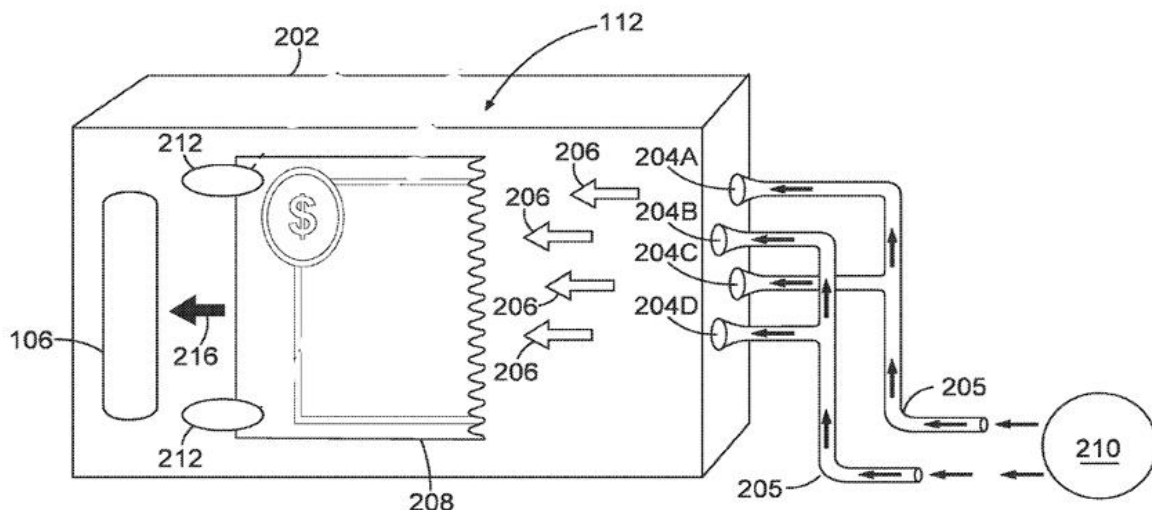


Рисунок 1.14 Бічний переріз покращеного шляху транспортування [6]

1.6.1. Конструкція закритого каналу

Транспортування відбувається всередині герметичного тунелю, утвореного Суцільною Огорожею 202, яка формує фізичні межі "закритого шляху" ізолюючи процес транспортування від зовнішнього середовища. Згідно з описом, огорожа 202 виготовляється зі зносостійких матеріалів з низьким коефіцієнтом тертя, таких як Нержавіюча Сталь або Полірований Алюміній

Елементи конструкції, такі як Детектори 106, можуть бути сформовані як єдине ціле з огорожею 202 або вмонтовані в неї, забезпечуючи гладкість внутрішніх стінок каналу.

1.6.2. Механічна тяга (Ролики)

Безпосередній рух заготовки 208 забезпечується системою Роликів (Rollers) 212. Ролики 212 розташовані вздовж тракту 112 всередині огорожі 202. Ролики 212 вступають у фрикційний контакт із заготовкою 208 і штовхають її вперед у напрямку, позначеному стрілкою 216.

1.6.3. Пневматична система супроводу

Для компенсації аеродинамічного опору, що виникає при швидкому русі заготовки, використовується система нагнітання повітря.

Блок подачі повітря 210: Пристрій, що генерує потік повітря під тиском. Зазначено, що це може бути компресор або нагнітач. Повітропроводи 205: Канали, через які стиснене повітря передається від блоку 210 до зони транспортування.

1.6.4. Інжекція повітря

Повітря вводиться в канал через систему Повітряних Струменів/Сопел 204A, 204B, 204C, 204D. Орієнтація: Сопла 204 спрямовують Повітряний Потік (Air Flow) 206 всередину тракту. Вектор цього потоку збігається з напрямком руху заготовки 216. Парна конфігурація : Сопла 204 організовані парами (наприклад, 204A і 204B), розташованими на протилежних сторонах від заготовки 208.

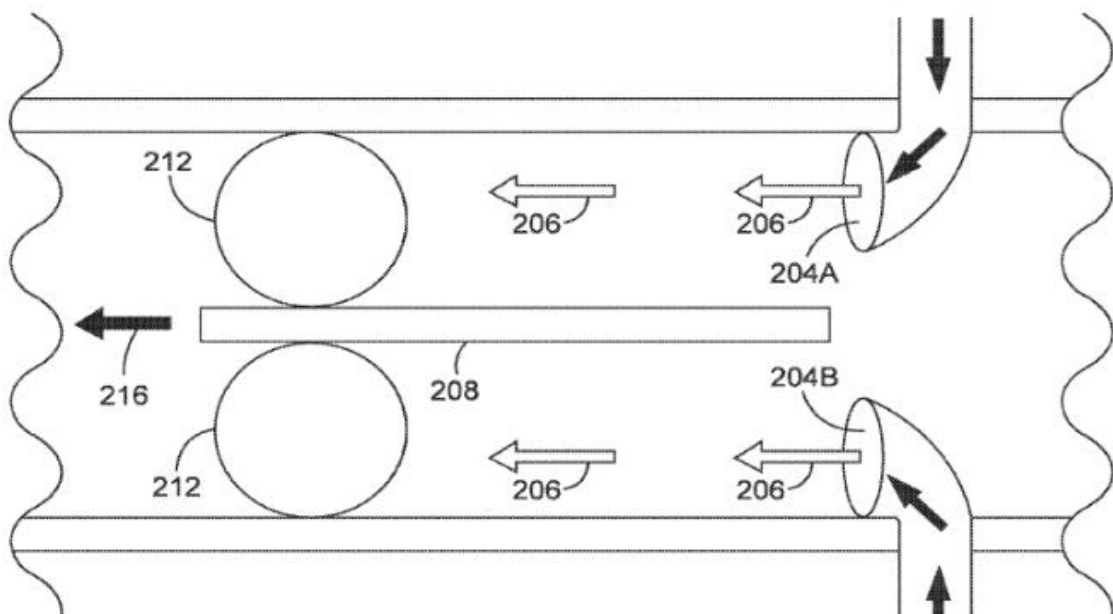


Рисунок 1.15. - Вигляд зверху в розрізі покращеного шляху транспортування [6]

Сопло 204А подає потік на верхню поверхню заготовки.

Сопло 204В подає потік на нижню поверхню заготовки. Це створює симетричний вплив на обидві сторони матеріалу.

1.6.5. Фізика взаємодії

Система функціонує за принципом спільної дії механіки та пневматики: Ролики 212 задають швидкість руху заготовки 208. Сопла 204А-Д створюють потік 206, який рухається паралельно заготовці з аналогічною швидкістю. Завдяки цьому відносна швидкість повітря по відношенню до заготовки зменшується, що нівелює силу лобового опору. Це запобігає деформації переднього краю заготовки та її зміщенню всередині каналу 202, дозволяючи роликам 212 безпечно транспортувати матеріал на високих швидкостях. Обсяг потоку 206 регулюється прямо пропорційно до швидкості обертання роликів 212: при збільшенні швидкості роликів подача повітря збільшується для подолання зростаючого опору.

1.6.6. Недоліки

У замкнутому просторі висока швидкість тертя повітря та робота механічних роликів генерують значну кількість тепла. Відсутність природної вентиляції призводить до перегріву матеріалу та накопичення статичної електрики. Статичний заряд змушує аркуші злипатися або прилипати до стінок каналу, що є основною причиною заторів у сортувальних машинах. Герметична конструкція суттєво ускладнює доступ до тракту, у випадку розриву старої банкноти повітряним потоком, дрібні шматки можуть заблокувати канал або датчики. Для їх видалення часто потрібно розбирати секцію огорожі, що зупиняє роботу системи на тривалий час. Аеродинамічний опір зростає пропорційно квадрату швидкості, тоді як алгоритм пропонує лінійну корекцію потоку. Це означає, що на надвисоких швидкостях пропорційного збільшення потоку буде недостатньо для подолання опору, і

банкнота почне деформуватися або зміщуватися назад відносно роликів. На низьких швидкостях потік може бути надмірним, викликаючи турбулентність.

Висновок

У цьому розділі було проведено аналіз сучасного стану технологій транспортування листових матеріалів у поліграфічному та пакувальному виробництві. Визначено актуальність проблеми стабілізації руху картону та паперу на високих швидкостях без пошкодження свіжонадрукованого зображення.

Був проведений огляд існуючих рішень у галузі комбінованих транспортерів. Розглянуто основні складові систем, що поєднують механічні засоби фіксації такі ланцюгові захоплювачі, ролики, вакуумні ремені з активними аеродинамічними елементами, а саме соплами, повітряними подушками.

Проведено аналіз методів аеродинамічної підтримки та керування листом, зокрема використання ефектів бернуллі, вентурі та коанда для створення «повітряних коридорів» і зон безконтактного притиску. Були описані специфічні механізми адаптації обладнання до різних типів субстрату від тонкого паперу до жорсткого картону.

Детально було розглянуто принципи побудови та недоліки складних інтегрованих систем транспортування, включаючи вузли реверсування, сушіння та гальмування. Виявлено критичні вразливості існуючих конструкцій, такі як залежність від точності налаштування повітряних потоків, знос ущільнень та механічних вузлів в агресивному середовищі.

2. Технічна пропозиція щодо удосконалення комбінованого транспортеру

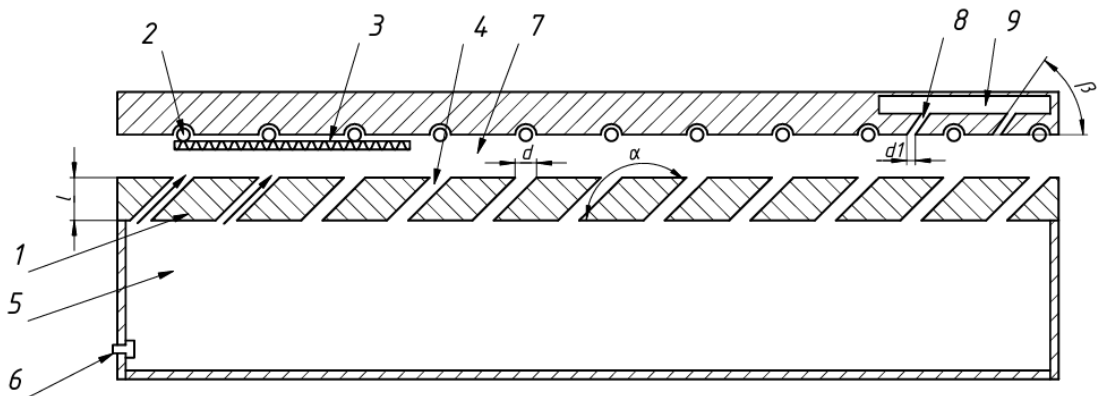


Рисунок 2.1. - Схематичне зображення запропонованого транспортеру

Для забезпечення високопродуктивного та безпечного переміщення листових матеріалів у поліграфічному та пакувальному виробництві розроблено спеціалізовану конструкцію пневматичного транспортера. Запропоноване рішення базується на використанні енергії стисненого повітря, що дозволяє мінімізувати механічний вплив на поверхню напівфабрикату та підвищити точність його позиціонування перед зоною обробки.

Робота пристрою розпочинається з подачі повітря у систему. Повітря під тиском поступає в нижню пневмокамеру 5 крізь регулюючий клапан 6. Ключовим елементом конструкції, що відповідає за розподіл повітряних потоків, є перфорована пластина товщиною 1. Стиснене повітря проходить крізь отвори 4 діаметром d . Важливою конструктивною особливістю є те, що ці отвори виконані не перпендикулярно, а під кутом α до площини транспортування. Така геометрія дозволяє розкласти вектор сили повітряного потоку на дві складові: Вертикальну, яка підіймає аркушевий матеріал 3, створюючи ефект повітряної подушки, та горизонтальну, яка надає матеріалу імпульс для руху вперед. Під дією надлишкового тиску аркуш підіймається та притискається до роликів 2, які забезпечують стабілізацію положення матеріалу у вертикальній площині та його направлене переміщення по тракті

7 в зону подальшої технологічної обробки. Використання роликів у поєднанні з пневматичним підпором дозволяє уникнути провисання матеріалу та знизити тертя.

Система аеродинамічного гальмування

Однією з проблем автоматизованих ліній є точна зупинка матеріалу, що рухається з високою швидкістю, без його пошкодження (змінання країв, деформації). У запропонованій конструкції ця проблема вирішена шляхом інтеграції пневматичного гальмівного модуля. На кінцевій ділянці тракту розташовані спеціальні гальмівні отвори 8 діаметром d_1 . На відміну від транспортуючих отворів, вони виконані під кутом β , направленим проти руху матеріалу аби таким чином створювати опір. Крізь ці отвори з верхньої пневмокамери 9 подається імпульс стисненого повітря. Зустрічний потік повітря створює аеродинамічний опір, який плавно гасить кінетичну енергію аркушевого матеріалу безпосередньо перед його обробкою. Такий підхід дозволяє відмовитися від жорстких механічних упорів, що значно підвищує якість кінцевої продукції та надійність роботи всієї лінії.

2.1.Нагнітачі повітря

Враховуючи використання стисненого повітря компресори, нагнітачі повітря та вентилятори, які створюю надмірний тиск є головним та одним з найважливіших органів в данній схемі.

Розуміння фундаментальних відмінностей між типами обладнання вимагає виходу за межі простої номенклатури та заглиблення в термодинаміку процесів стиснення. Вентилятори, нагнітачі та компресори чітко розмежовані за критерієм питомого підвищення енергії робочого тіла, що визначається через ступінь підвищення тиску.

Загальноприйнята технічна класифікація, що базується на стандартах ASME та ISO, визначає межі застосування обладнання через відношення тиску нагнітання до тиску всмоктування. Це співвідношення диктує не лише конструктивні особливості машин, але й термодинамічні закони, які описують їхню роботу. Вентилятори характеризуються ступенем підвищення тиску до 1,10 Па. У цьому діапазоні зміною термодинамічних параметрів газу зокрема, густини та температури внаслідок стиснення можна знехтувати, розглядаючи повітря як нестисливу рідину. Основною метою вентилятора є переміщення об'єму газу, а не підвищення його потенціальної енергії. Нагнітачі займають проміжний діапазон зі ступенем підвищення тиску від 1,11Па до 1,20Па. У цьому режимі ефекти стисливості стають. Нагнітачі призначені для подолання значного гідравлічного опору системи при збереженні високої витрати. Компресори працюють зі ступенем підвищення тиску понад 1.20Па, часто досягаючи значень 8Па або навіть сотень одиниць у багатоступеневих системах. У компресорах відбувається суттєве зменшення питомого об'єму газу, що супроводжується значним виділенням теплової енергії. Це вимагає складних систем охолодження та термодинамічного розрахунку циклів стиснення (ізотермічного, адіабатного або політропного).

2.2. Вентилятори

Є найбільш розповсюдженим класом обладнання, що забезпечує переміщення великих мас повітря з мінімальними енергетичними витратами на одиницю об'єму. Їхня робота базується на перетворенні механічної енергії обертання ротора в кінетичну та потенційну енергію потоку. Аеродинамічні характеристики та параметри. Основними параметрами, що описують роботу вентилятора, є об'ємна витрата ($\text{м}^3/\text{год}$), повний тиск (Па), споживана потужність (кВт) та ККД. Важливо розуміти структуру тиску, що створюється вентилятором: він складається зі статичного тиску, який долає опір мережі, та динамічного тиску, що залежить від швидкості потоку. Осьові вентилятори генерують переважно динамічний напір, тоді як відцентрові здатні створювати значну статичну складову.

Осьові вентилятори переміщують повітря паралельно осі обертання робочого колеса. Лопаті, що мають аеродинамічний профіль, подібний до крила літака, створюють підйомну силу, яка штовхає повітряний потік. Цей тип обладнання характеризується високою продуктивністю при низькому тиску. Конструктивні різновиди: Пропелерні - найпростіший тип, що складається з робочого колеса, встановленого в діафрагмі або без неї. Використовуються для переміщення повітря без повітропроводів при нульовому або мінімальному статичному тиску. Трубні осьові, робоче колесо розміщене в циліндричному кожусі, що зменшує зазор між лопаттю та корпусом, підвищуючи ефективність. Проте закручування потоку на виході призводить до втрат енергії. Лопатеві осьові оснащені нерухомим напрямним апаратом (статором) на виході або вході, який випрямляє закручений потік, перетворюючи тангенціальну складову швидкості в корисний статичний тиск. Це найбільш ефективний тип осьових вентиляторів, здатний створювати тиск до 1500 Па і вище.

Осьові вентилятори ідеально підходять для систем, де потрібні великі об'єми повітря при низькому опорі. Їхнім недоліком є різке падіння

продуктивності та зростання шуму при збільшенні аеродинамічного опору мережі явище “звалювання”.

Радіальні вентилятори: потік входить в робоче колесо аксіально, повертає на 90 градусів і викидається радіально під дією відцентрової сили. Спіральний корпус збирає потік і перетворює швидкісний напір у статичний тиск. Ця конструкція дозволяє розвивати значно вищі тиски порівняно з осьовими аналогами.

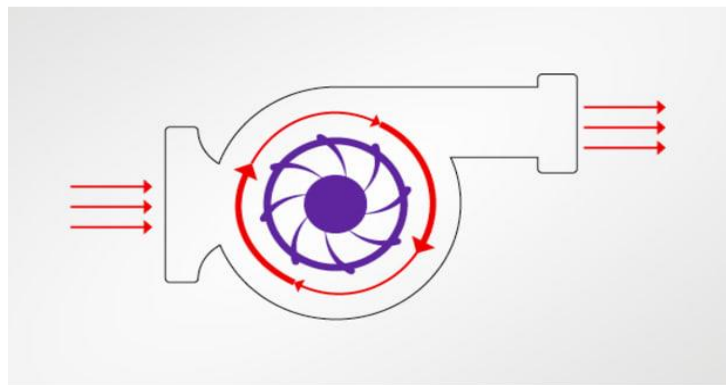


Рисунок 2.2.. - Схема роботи радіального вентилятора

Типи робочих коліс: Геометрія лопатей визначає аеродинамічні характеристики вентилятора. Загнуті вперед лопаті - забезпечують велику витрату при низьких обертах і компактних розмірах. Однак їхній ККД відносно низький (до 60%), і вони мають "перевантажувальну" характеристику потужності: при зниженні опору мережі споживана потужність різко зростає, що може призвести до перегріву та виходу з ладу електродвигуна. Загнуті назад лопаті найбільш енергоефективні (ККД до 80-85%). Характеризуються "неперевантажувальною" кривою потужності, що робить їх безпечними при коливаннях опору мережі. Генерують високий статичний тиск і є стандартом для промислової вентиляції та систем з фільтрами. Радіальні лопаті - прямі лопаті, що виходять з центру. Менш ефективні аеродинамічно, але надзвичайно стійкі до механічних навантажень та налипання матеріалів.

Використовуються в системах пневмотранспорту, аспірації тирси та роботи з запиленими газами, оскільки мають ефект самоочищення.. Діагональні та змішані вентилятори (є гібридним рішенням, що поєднує переваги осьових та відцентрових машин. Потік повітря входить вздовж осі, але в робочому колесі відхиляється на кут близько 45 градусів (діагонально). Це дозволяє отримати вищий тиск, ніж у осьових вентиляторів, при збереженні прямої конструкції, зручної для монтажу в канали. За рахунок комбінації підйомної сили лопаті та відцентрового ефекту, ККД таких вентиляторів може досягати 80%.

2.3. Нагнітачі

Нагнітачі заповнюють технологічну нішу між вентиляторами та компресорами, забезпечуючи тиск від 0,1 до 1,0-1,2 бар (10-120 кПа) надлишкового тиску. Цей діапазон є критичним для багатьох промислових процесів, де опір системи занадто великий для вентиляторів, але використання компресорів високого тиску (7 бар) є енергетично недоцільним.

Об'ємні нагнітачі. Принцип дії машин об'ємного типу базується на механічному відсіканні порції газу та переміщенні її з області всмоктування в область нагнітання. Продуктивність таких машин слабо залежить від тиску на виході, що робить їх ідеальними для процесів, де опір може змінюватися (наприклад, зміна рівня води в аеротенку), а витрата має залишатися стабільною.

Роторні нагнітачі це класична технологія, що використовує два ротори (зазвичай дволопатеві або трилопатеві), які обертаються синхронно в корпусі. Важливою особливістю є те, що стиснення відбувається зовнішнім шляхом ізохорне стиснення. Повітря переміщується без зміни об'єму всередині робочої камери, а підвищення тиску відбувається миттєво при з'єднанні камери з нагнітальним патрубком, куди вливається стиснене повітря з магістралі.

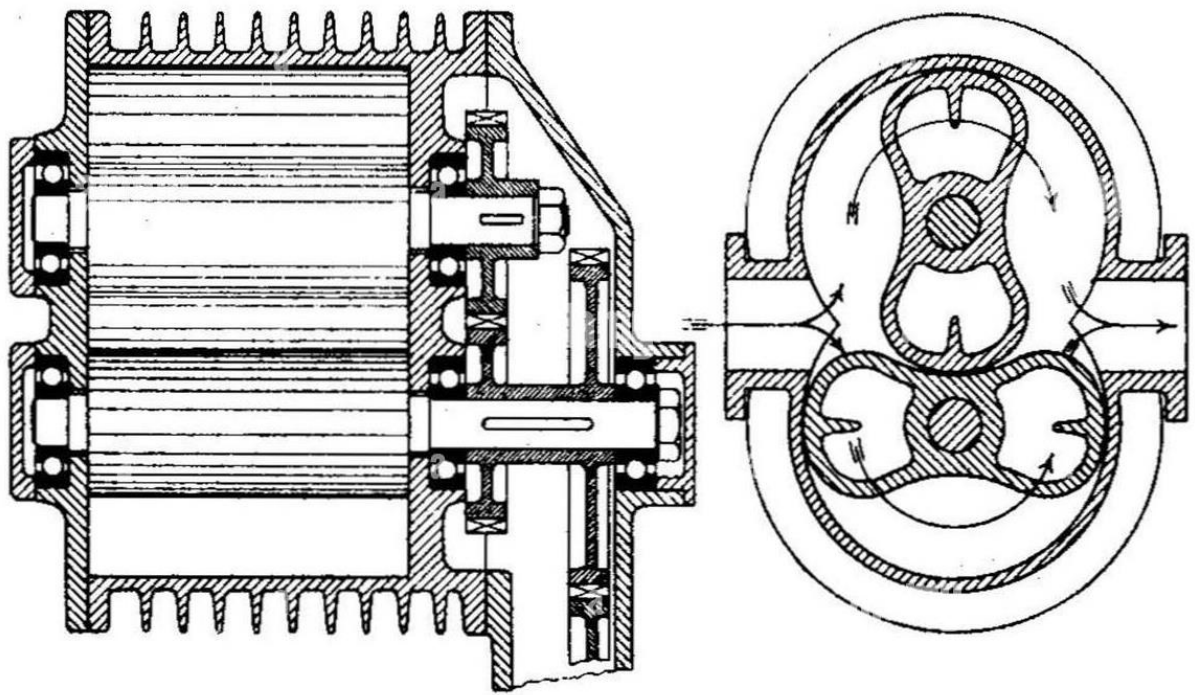


Рисунок 2.3. - Схема роторного нагнітача

Ефективно працюють до 0,8-1,0 бар. Через зовнішнє стиснення та перетікання газу через зазори ККД цих машин обмежений, особливо при вищих тисках. Значна частина енергії витрачається на пульсації та нагрів.

Гвинтові нагнітачі

Сучасна промисловість все частіше переходить на гвинтові нагнітачі. На відміну від машин з роторами, вони використовують гвинтову пару зі змінним кроком або профілем, що забезпечує внутрішнє стиснення газу під час його руху вздовж роторів. Це наближає процес до адіабатного стиснення, що є значно ефективнішим.

Порівняльна ефективність: Дослідження показують, що при тиску 1 бар гвинтові нагнітачі споживають на 20-30% менше енергії, ніж роторні нагнітачі Рутс. Наприклад, для ідентичних умов гвинтова машина може споживати 43 кВт, тоді як машина Рутс — 60 кВт. Це також підтверджується нижчою температурою нагнітання (94°C проти 125°C), що свідчить про менші втрати на паразитичний нагрів.

Динамічні нагнітачі

Вихрові нагнітачі

У цих машинах робоче колесо з численними дрібними лопатями обертається в тороїдальному каналі. Під дією відцентрових сил повітря багаторазово відкидається на периферію і повертається до кореня лопатей, рухаючись по спіралі. Кожен такий виток додає енергію потоку, реалізуючи принцип багатоступеневого стиснення в одному колесі. Досягають 750-1000 мбар у режимі вакууму або нагнітання. Витрачають зазвичай до 2000-3000 м³/год.

Турбонагнітачі

Це високошвидкісні відцентрові машини, що часто використовують технології “повітряних підшипників” або магнітної левітації. Ротор обертається зі швидкістю 20 000 – 50 000 об/хв, створюючи високий тиск за рахунок кінетичної енергії. Мають найвищу енергоефективність у своєму класі, широкий діапазон регулювання продуктивності .

2.4. Компресори

Компресори — це машини, призначені для значного підвищення тиску газів ступінь стиснення > 1.2 , що супроводжується значним зменшенням об'єму.

Об'ємні компресори :Поршневі компресори - найстаріша технологія стиснення, яка залишається актуальною завдяки своїй простоті та здатності досягати надвисоких тисків. Робота базується на зворотно-поступальному русі поршня в циліндрі: всмоктування через клапан, стиснення при закритих клапанах і нагнітання при досягненні заданого тиску. Одноступеневі до 8-10 бар, двоступеневі до 15-30 бар, багатоступеневі бустери до 300-400 бар.

Продуктивність - від малих побутових (100 л/хв) до великих промислових.

Енергоефективність: Поршневі компресори мають хорошу ефективність при неповному навантаженні, але страждають від втрат на тертя, "мертвого об'єму" та клапанних втрат. Типова продуктивність становить 3-4 cfm на 1 к.с., що нижче, ніж у гвинтових машин.

Пульсуючий потік вимагає використання ресиверів великого об'єму. Високий рівень вібрації та шуму часто вимагає окремого фундаменту або приміщення.

Гвинтові компресори стали стандартом для промислових підприємств завдяки можливості безперервної роботи та стабільному потоку. Стиснення відбувається між двома роторами (ведучим і веденим), що обертаються назустріч один одному, зменшуючи об'єм порожнин.

Маслозаповнені - у камеру стиснення впорскується мастило, яке виконує три функції: змащування, ущільнення зазорів та відведення тепла. Це дозволяє досягати високих ступенів стиснення до 13-15 бар в одному ступені.

Безмасляні використовують синхронізуючі шестерні, щоб ротори не торкалися один одного. Мастило відсутнє в камері стиснення, що гарантує клас чистоти повітря ISO 8573-1 Class 0. Оскільки немає мастила для охолодження, стиснення зазвичай відбувається у два ступені з проміжним охолоджувачем.

Гвинтові компресори демонструють вищу продуктивність на одиницю потужності (4-5 cfm на 1 к.с.) порівняно з поршневыми.

Спиральні компресори

Конструкція складається з двох спіралей Архімеда: однієї нерухомої та однієї, що здійснює орбітальний рух без обертання навколо власної осі. Це створює серповидні кишені газу, які переміщуються до центру, зменшуючись в об'ємі.

Переваги: Відсутність клапанів та "мертвого об'єму", вкрай низький рівень шуму, мінімальна вібрація завдяки ідеальному балансуванню.

Обмеження: Складна технологія виготовлення обмежує максимальну продуктивність. Зазвичай використовуються в діапазоні малих потужностей (2-15 кВт) для медичних станцій та лабораторій, де потрібна повна відсутність мастила та тиша.

Відцентрові компресори

Відцентрові компресори належать до класу динамічних машин. Вони перетворюють кінетичну енергію газу, розігнаного швидкісним імпелером, у потенційну енергію тиску в дифузорі. Для досягнення стандартного промислового тиску (7-8 бар) зазвичай використовують 2-4 ступені стиснення з обов'язковим проміжним охолодженням.

Характеристики:

Орієнтовані на великі витрати (від 30-50 м³/хв і вище). При роботі в номінальному режимі є найефективнішими серед усіх типів компресорів, оскільки відсутнє тертя в камері стиснення. Питома потужність може бути нижчою за 6.0 кВт/(м³/хв).

Особливості: Повністю безмасляне повітря. Чутливі до зміни параметрів вхідного повітря (температура, густина). Мають обмежений діапазон регулювання продуктивності через ризик виникнення помпажу — нестабільного режиму роботи зі зворотними потоками.

Найважливішим показником ефективності компресора є питома потужність — кількість енергії, необхідна для стиснення одиниці об'єму повітря. Вона вимірюється в кВт/(м³/хв) (або Дж/л).

Висновок

У розділі було запропоновано технічне рішення щодо удосконалення комбінованого транспортера для переміщення та позиціювання листових матеріалів. Розроблено конструктивну схему пневматичної системи, яка поєднує транспортуючі сопла для створення ефекту повітряної подушки та гальмівні сопла для безконтактної зупинки матеріалу. Було проведено аналіз та класифікацію нагнітального обладнання (вентиляторів, повітродувок та компресорів) для обґрунтування вибору джерела стисненого повітря.

3. Аналітичні дослідження.

Число Рейнольдса (Re) є фундаментальним критерієм у гідроаеродинаміці, який визначає співвідношення між інерційними силами, що прагнуть підтримувати рух рідини, та силами в'язкості, що гальмують цей рух і намагаються вирівняти швидкості шарів. Його фізична суть полягає у визначенні типу потоку: ламінарний чи турбулентний, що є критичним для розрахунку аеродинамічного опору та стабільності левітації.

Число Рейнольдса описує ступінь впорядкованості руху частинок середовища. При малих значеннях Re - ламінарний режим домінують в'язкі сили. Потік характеризується шаруватою структурою, відсутністю перемішування пульсацій швидкості та плавним обтіканням перешкод. Для повітряних систем це забезпечує стабільність, проте часто супроводжується меншою інтенсивністю тепло- та масообміну

Зі збільшенням швидкості потоку або характерних розмірів каналу інерційні сили починають переважати над в'язкими. Коли число Рейнольдса перевищує певне критичне значення, потік втрачає стійкість. Ламінарна течія переходить у турбулентну, яка характеризується хаотичним рухом частинок, утворенням вихорів різних масштабів та інтенсивним перемішуванням. У контексті аеродинамічного транспортування: Ламінарний потік $Re < 2300$ Забезпечує високу плавність руху, але може створювати недостатню підйомну силу через специфіку розподілу тиску. В'язкі сили є домінантними, що призводить до значних втрат енергії на тертя у довгих тонких каналах. Перехідний режим $Re < 4000$ - Область невизначеності, де потік може флюктувати між станами. Проектування систем у цій зоні є небажаним через складність прогнозування коефіцієнтів витрати. Турбулентний потік $Re > 4000$ Характеризується домінуванням інерційних сил. У системах перфорованих настилів турбулентність струменів, що витікають із сопел, сприяє швидкому вирівнюванню поля тиску під листом картону, створюючи більш жорстку повітряну подушку, необхідну для стабілізації вантажу. Важливо відзначити,

що для зовнішнього обтікання плоскої пластини якою є лист картону перехід до турбулентності в пограничному шарі починається при значно вищих числах Рейнольдса. Турбулентний пограничний шар має більшу кінетичну енергію біля поверхні, що дозволяє йому краще протистояти відриву потоку при наявності градієнтів тиску, але водночас збільшує силу тертя що діє на картон.

Число Маха Ma є безрозмірним параметром, що показує відношення локальної швидкості потоку U до швидкості звуку a у даному середовищі.

Фізична суть числа Маха полягає у характеристиці ефектів стисливості газу. Воно відображає співвідношення кінетичної енергії потоку до його внутрішньої енергії, а також швидкість поширення збурень тиску відносно швидкості самого потоку.

Розуміння значення числа Маха є критичним для вибору математичної моделі розрахунку. Нестисливий потік $Ma < 0.3$: При малих швидкостях зміни густини повітря становлять менше 5%, і ними зазвичай нехтують, вважаючи $\rho = \text{const}$. Це значно спрощує рівняння гідродинаміки або рівняння Бернуллі для нестислової рідини.

Стисливий дозвуковий потік $0.3 < Ma < 1.0$, У цьому діапазоні зміни густини стають суттєвими. Газ стискається під дією динамічного напору, що впливає на масову витрату через отвори перфорації..

Трансзвуковий та надзвуковий потік $Ma \leq 1.0$ характеризується виникненням ударних хвиль, стрибкоподібною зміною параметрів стану тиску, температури, ентропії та різким зростанням хвильового опору. Хоча транспортування картону зазвичай не передбачає таких швидкостей об'єкта, локальні зони надзвукової течії можуть виникати всередині сопел при високих перепадах тиску, що призводить до “закупорювання” сопла та обмеження витрати.

Між числом Рейнольдса та числом Маха існує глибокий фізичний зв'язок. Обидва параметри залежать від швидкості потоку U . Оскільки швидкість звуку a , густина ρ та в'язкість μ для ізотермічного процесу при фіксованій

температурі є константами, між Re та Ma існує пряма лінійна залежність у логарифмічному масштабі. Це означає, що при регулюванні продуктивності компресора ми одночасно змінюємо і режим обтікання, в'язке тертя, і ступінь стиснення газу (пружні сили). У каналах зі стисливим потоком взаємодія між ефектами стисливості і турбулентності впливає на профіль швидкостей і тертя об стінки. Дослідження показують, що при високих числах Маха відносна в'язкість змінюється, що впливає на товщину пограничного шару та коефіцієнт тертя.

Візьмемо розміри камери для транспортування 1000мм*317мм

Картон формату А3 та щільністю 580г/м³

Товщиною до 4мм

Маса картону:

$$m_k = 0.297 \cdot 0.42 \cdot 0.58 = 0.0723 \text{ кг}$$

Наступним кроком є визначення гравітаційного навантаження, тобто ваги картону F_k , яка є силою, з якою картон давить на поверхню (або яку необхідно компенсувати підйомною силою):

$$F_k = m_k \cdot g = 0.709 \text{ Н}$$

Знаючи площу картону та його вагу можемо знайти необхідний тиск для левітації картону над поверхнею та його переміщення за допомогою нього.

Візьмемо кут під яким розташовані отвори у 45 градусів

Властивості повітря суттєво залежать від температури та тиску. Для забезпечення точності розрахунку витрати та швидкості звуку, необхідно визначити густину повітря ρ при робочих умовах.

$$\rho = \frac{P_0}{R \cdot T} = \frac{101325}{287 \cdot 293.15} = 1.204 \quad (3.1)$$

T - Температура: 20С = 293.15 К.

P_0 Атмосферний тиск: 101325 Па.

R – газова стала повітря = 287 Дж/кг*К

ρ – густина повітря

Щоб переміщувати картон потрібно розрахувати необхідну швидкість потоку повітря, яке буде витікати з отворів. Так як повітря витікає знизу використаємо синус кута під яким знаходяться отвори та під яким повітря подається на аркушевий матеріал.

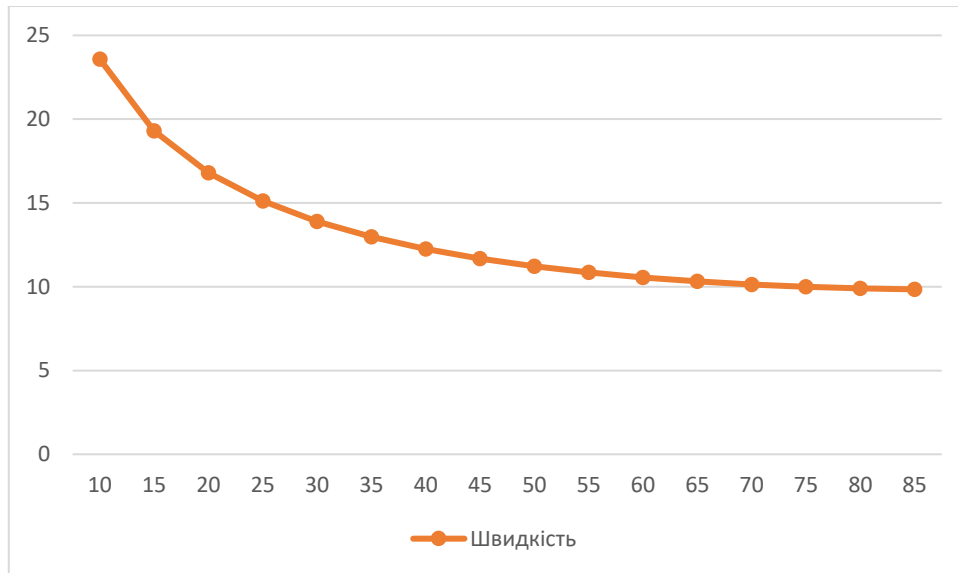


Рисунок 3.1. Залежність швидкості переміщення від кута нахилу отворів

Так як маємо отвори які знаходяться знизу транспортеру було враховано, що потік повітря окрім забезпечення переміщення також має забезпечувати левітацію картону під час переміщення, тому швидкість менша за прискорення вільного падіння має бути компенсована.

За допомогою досліджень було виявлено:

Малі кути 10 - 30° потік спрямований майже горизонтально. Щоб утримати вагу картону, доводиться сильно збільшувати швидкість (до 23.5 м/с), оскільки вертикальна складова сили дуже мала. Це призведе до великої витрати повітря.

Великі кути 60 - 90° - потік б'є майже вертикально. Картон легко "висить" навіть при малій швидкості ~9.8 м/с, але горизонтальна сила, що штовхає його вперед, стає дуже слабкою. При 90° картон просто висітиме на місці.

Кут 45° : має достатню підйомну силу при помірній швидкості 11.68 м/с і водночас максимальну можливу силу тяги для цієї швидкості оскільки $\cos 45^\circ = \sin 45^\circ$

$$U = \sqrt{\frac{F_k}{N_{ao} \cdot \rho \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \sin(45^\circ)}} = \sqrt{\frac{0.709}{311 \cdot 1.204 \cdot \frac{3.14 \cdot 0.005^2}{4} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}} = 11.68 \text{ м/с} \quad (3.2)$$

U – Середня швидкість потоку з отвору(м/с)

F_k – Вага картону

N_{ao} – кількість активних отворів під листом

$\frac{\pi D^2}{4}$ - площа одного отвору

Тепер можемо розрахувати необхідний перепад тиску який має створювати компресор

Для цього спочатку знайдемо число Маха

$$Ma = \frac{U}{a} = \frac{11.68}{343.2} = 0.034 \quad (3.4)$$

a — швидкість звуку

Було виведено емпіричну залежність що пов'язує число Маха з перепадом тиску для перфорованих пластин

$$Ma = 1.2 \cdot \left(\frac{\Delta P}{P_0} \right) \quad (3.5)$$

Маючи це рівняння виведемо формулу для знаходження ΔP

Звільнимо від степеню праву частину, піднесемо обидві частини до оберненого степені

$$\left(\frac{Ma}{1.2} \right)^{\frac{1}{0.55}} = \left(\left(\frac{\Delta P}{P_0} \right)^{0.55} \right)^{\frac{1}{0.55}}$$

Після скорочення степенів отримаємо потрібну нам формулу

$$\frac{\Delta P}{P_0} = \left(\frac{Ma}{1.2}\right)^{\frac{1}{0.55}} \Rightarrow \Delta P = P_0 \cdot \left(\frac{Ma}{1.2}\right)^{\frac{1}{0.55}}$$

$$\Delta P = 101325 \cdot \left(\frac{0.034}{1.2}\right)^{\frac{1}{0.55}} = 155.5$$

Визначивши різницю тиску, необхідно врахувати опір тертя повітря при проходженні крізь перфоровану пластину.

$$\Delta p_{pl} = 4\psi \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot \frac{l}{d} \quad (3.7)$$

ψ - коефіцієнт пропорційності (опору тертя). Для свердлених отворів у металі. $\psi \approx 0.4$.

l – товщина перфорованої пластини

Оскільки отвір знаходиться під кутом 45 градусів, його довжина буде дорівнювати $l_o = l \cdot \sqrt{2}$

$$\Delta p_{pl} = 4 \cdot 0.04 \frac{1.204 \cdot 11.68^2}{2} \cdot \frac{0.01 \cdot \sqrt{2}}{0.005} = 37.17 \text{ Па}$$

Можемо вирахувати абсолютний тиск у камері, який має забезпечити конвеєр

$$P_{ab} = 101325 + 155 + 37.17 = 101517.17$$

Розрахуємо масову витрату повітря в секунду

$$Q_t = N \cdot \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \cdot P_0 \cdot \sqrt{\frac{\kappa}{R \cdot T}} \cdot \frac{Ma}{\left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} \cdot 0.034^2\right)^3} \quad (3.8)$$

$$Q_t = 800 \cdot \left(\frac{3.14 \cdot 0.005^2}{4}\right) \cdot 101325 \cdot \sqrt{\frac{1.4}{287 \cdot 293.15}} \cdot \frac{0.034}{\left(1 + \frac{1.4 - 1}{2} \cdot 0.034^2\right)^3} = 0.220 \text{ кг / с}$$

Важливою функцією автоматизованої системи є не лише транспорт, але й своєчасна зупинка матеріалу без механічного контакту. Для запобігання псування аркушевого матеріалу такого як зминання країв при ударі об упори,

в конструкції передбачено спеціалізовані гальмівні отвори, орієнтовані назустріч руху під кутом β . Так як нижній потік створює силу в 0.709 Н, наша задача полягає в компенсуванні цієї сили так, щоб не скинути аркушевий матеріал з роликів та не допустити його безпосереднього польоту посеред камери через надмірний вертикальний тиск.

Для цього візьмемо зусилля у 0.5 Н. Кількість рядів отворів для гальмування було обрано завдяки графіку.

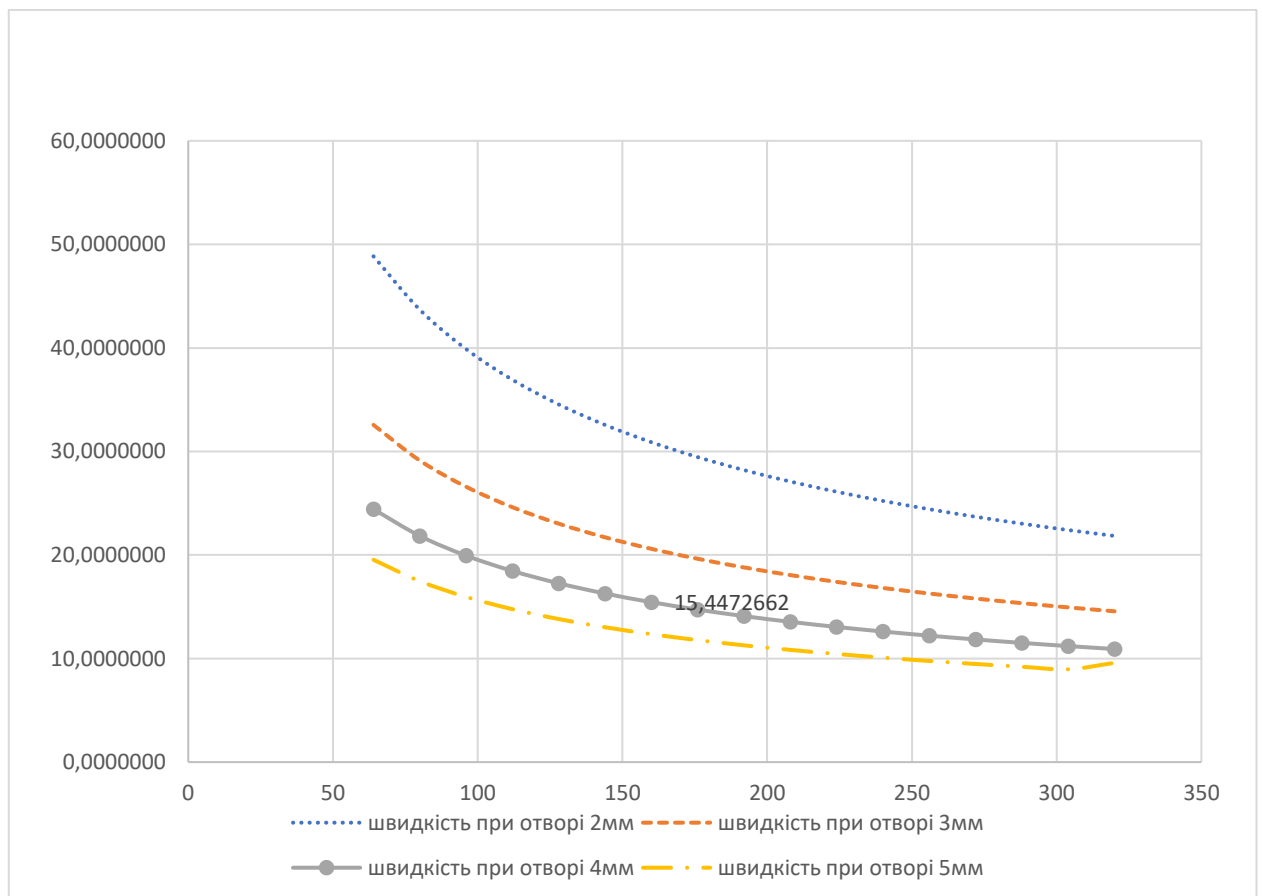


Рисунок 3.2. Необхідна швидкість повітря в залежності від кількості отворів та їх діаметру при куті нахилу в 30 градусів

Як видно на графіку, зі збільшенням кількості отворів, зменшується потрібна швидкість для гальмування. Найбільший спад фіксується в діапазоні від 64 до 160 отворів, далі спад йде майже лінійно, що дозволяє обрати кількість гальмівних отворів у кількості 160 штук, тобто 10 рядів по 16 отворів у кожному

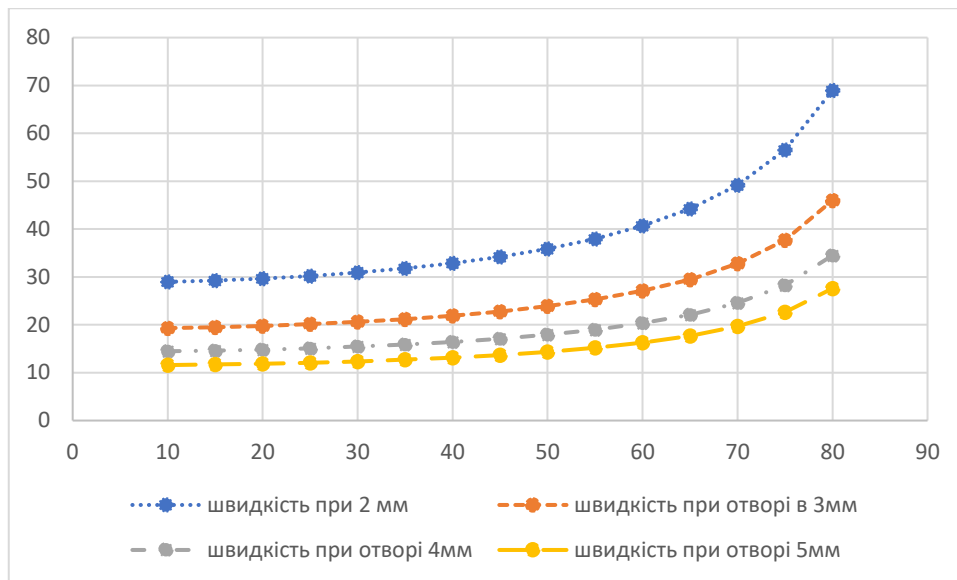


Рисунок 3.3. Залежність вертикальної швидкості від кута та розміру отворів

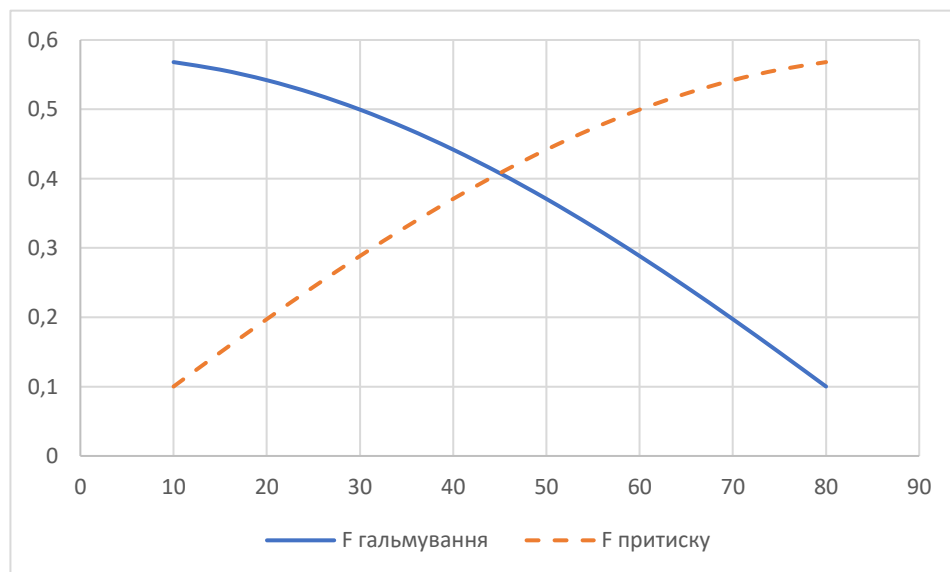


Рисунок 3.4 Відношення ефективності гальмування до негативності притиску.

Вплив кута нахилу β Завдяки графіку було визначено оптимальний кут нахилу гальмівних сопел. На графіку видно, що після кута в 50 градусів необхідна швидкість сильно збільшується, це свідчить про те, що вектор сили стає занадто вертикальним, втрачаючи горизонтальну гальмівну складову, що може призвести до здування аркушевого матеріалу та повної відсутності його гальмування. На графіку можемо побачити, що він є прямо пропорційним: чим

більшим є кут, тим меншою є ефективність гальмування та більшою є сила притиску, яка в даному випадку є шкідливою (може спричинити нестабільність). Найбільш рентабельним буде обрати кут в 30 градусів для гальмування. При цьому куті $\cos(30)$ максимізує горизонтальну протидію руху.

Також візуальний аналіз показує, що в залежності від розміру отвору надто великою є різниця між отворами в 2 мм та отворами в 3 мм, це означає, що збільшення діаметра до певної межі підвищує ефективність. Як оптимальне рішення було обрано отвори діаметром 4 мм.

Завдяки графікам було визначено оптимальний кут, діаметр та кількість отворів, а відповідно і силу з якою має поступати повітря з гальмувальних отворів.

$$U = \sqrt{\frac{F_b}{N_{ao} \cdot \rho \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \cos(30^\circ)}} = \sqrt{\frac{0.5}{160 \cdot 1.204 \cdot \frac{3.14 \cdot 0.004^2}{4} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}} = 15.44 \text{ м/с}$$

Використовуючи закон збереження імпульсу, можемо розрахувати сили з якими буде відбуватися гальмування.

Загальна сила струменю

$$F_t = N \cdot S \cdot \rho \cdot U^2 \quad (3.9)$$

Де N – кількість отворів.

S – площа отвору, мм

ρ – густина повітря

U – швидкість повітря

$$F_t = 160 \cdot 12.57 \cdot 10^{-5} \cdot 1.204 \cdot 15.44^2 = 0.577 \text{ Н}$$

Знаючи загальну силу, можемо визначити сили, з якими повітряний потік буде гальмувати та тиснути на аркушевий матеріал.

$$F_b = F_t \cdot \cos(30^\circ)$$

$$F_b = 0.577 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.499H$$

$$F_d = F_t \cdot \sin(30^\circ)$$

$$F_d = 0.577 \cdot \frac{1}{2} = 0.2885H$$

Знаючи формулу для визначення необхідної різниці тиску за допомогою числа маха, можемо знайти ΔP

$$\Delta P = 101325 \cdot \left(\frac{Ma}{1.2}\right)^{\frac{1}{55}}$$

$$\Delta P = 101325 \cdot \left(\frac{15.44 / 343}{1.2}\right)^{\frac{1}{55}} = 259 Pa$$

Додатково також треба знайти тиск, необхідний для нівелювання опору тертя повітря у верхній пневмо камері.

$$\Delta p_{pl1} = 4 \cdot 0.04 \frac{1.204 \cdot 15.44^2}{2} \cdot \frac{0.01 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{0.005} = 39.77 Pa$$

$$P_{abs1} = 259 + 39.77 = 298.77 Pa$$

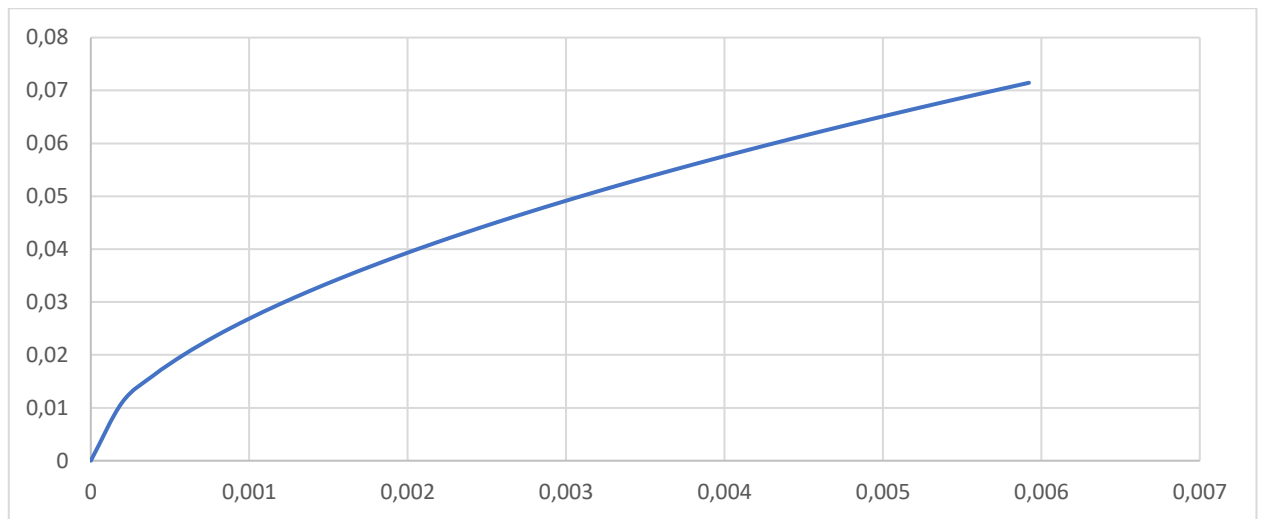


Рисунок 3.5. Число маха в залежності від відносного перепаду тиску

Практичне застосування залежності “тиск – швидкість” конкретно він нам дає для наших розрахунків: Визначення реальної швидкості повітря (U): На практиці ми зазвичай знаємо тиск, який видає вентилятор (наприклад, 2000 Па), але не знаємо, з якою швидкістю повітря вилітає з отворів через втрати в колекторі.

Врахування числа Маха - графік показує, як саме зростає швидкість (число Маха) при збільшенні тиску. Знаючи число Маха з графіку, ми миттєво можемо знайти швидкість у метрах за секунду за формулою $U = Ma \cdot a$. Також цей графік враховує те, що отвори не є ідеально гладкими і мають шорсткість, що інтегрально відображено в кривизні залежності.

Висновок.

У розділі були проведені аналітичні дослідження динаміки руху аркуша під дією повітряних потоків. Отримано розрахункові залежності між числом Маха, перепадом тиску та швидкістю потоку. На основі графічного аналізу визначено оптимальні геометричні параметри системи (кути нахилу сопел для транспортування та гальмування, кількість та діаметр отворів), що забезпечують стабільне переміщення та надійну зупинку картону заданої маси..

4. Розробка стартап–проекту

В основі проекту лежить ідея створення пристрою для переміщення поліграфічного напівфабрикату у зону обробки за допомогою стисненого повітря та роликів.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямок застосування	Вигоди для користувача
Методика відбору раціональних параметрів механічної системи приводу. Отримання розрахункових залежностей для практичного застосування.	1. Система транспортування	Прискорення розрахунків на етапі проектування та експлуатації машин. Покращення якості продукції, та невисока ціна

Зробивши аналіз, сильних та нейтральних сторін конкурентів дозволяє зробити висновок, що дана ідея може бути конкурентоспроможною.

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик проекту

Техніко-економічні характеристик и ідеї	Потенційні товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Вакуумний транспортер	Стрічковий конвеєр			
Вартість, тис. грн.	60	75	50	Немає	Є	Немає
Точність	+	+	-	Немає	Немає	Є
Надійність	+	-	+	Немає	Немає	Є
Універсальність	Низька	Висока	Висока	Є	Немає	Немає

4.2. Технічний аудит

Оскільки ідея проекту полягає в реалізації технологічного процесу переміщення поліграфічних напівфабрикатів, аудит передбачає аналіз альтернативних варіантів технічного рішення. Зокрема, розглядалася можливість заміни традиційного металевого обладнання на конструкції з композитних матеріалів, однак наразі на ринку відсутні доступні пропозиції такого типу, тому базовим матеріалом залишається метал. Також було оцінено методи виготовлення системи: використання роботизованої техніки для створення обладнання є економічно нерентабельним, тому доцільніше зупинитися на ручному варіанті складання або використання наявних виробничих потужностей.

4.3. Аналіз ринкових можливостей та загроз запуску стартап-проєкту

Для успішного запуску проєкту необхідно чітко окреслити ринкове середовище. Цільовим ринком для розроблюваної системи є сфера промислового обладнання для поліграфічних підприємств та заводів із виготовлення пакувальної тари. Попит на такі системи формується під впливом загальної тенденції до автоматизації виробництва та необхідності зменшення браку при транспортуванні делікатних матеріалів, таких як картон або гофрокартон. Основними споживачами є середні та великі підприємства, які прагнуть модернізувати логістичні лінії для підвищення продуктивності праці та мінімізації людського фактора.

Обсяг ринку має позитивну динаміку, оскільки галузь електронної комерції стрімко розвивається, що збільшує потребу в якісному пакуванні. Це, своєю чергою, стимулює попит на конвеєрні системи, здатні переміщувати листові матеріали без механічних пошкоджень, які часто виникають при використанні традиційних роликових або стрічкових транспортерів. Середньорічний темп приросту ринку пакувального обладнання в Україні та Європі оцінюється на рівні 5–7%, що свідчить про сприятливі умови для входу нових технологічних рішень.

Таблиця 4.3 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку	Характеристика
Кількість головних гравців	4–5 (включаючи імпортерів та місцеві інжинірингові компанії)
Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Невідомо (ринок B2B, замовлення мають індивідуальний проєктний характер)
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає (через автоматизацію поліграфічних підприємств)
Наявність обмежень для входу	Середні (необхідність виробничої бази, інженерні компетенції, вартість матеріалів)
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ EN 619 (безпека конвеєрів), норми електробезпеки, вимоги до дбайливого переміщення (відсутність пошкоджень паперу/картону)

З таблиці 4.3 видно, що за аналізом ринок є привабливим для входження. Позитивна динаміка попиту, зумовлена загальними тенденціями до автоматизації виробничих процесів у поліграфії, створює сприятливі умови для появи нових технологічних рішень. Незважаючи на наявність конкуренції та середній рівень бар'єрів входу, які вимагають наявності виробничої бази та інженерних компетенцій, проєкт має високий потенціал комерціалізації. Це пояснюється тим, що ринок не є монополізованим, а специфічні вимоги клієнтів до дбайливого транспортування продукції дозволяють зайняти вільну нішу, запропонувавши обладнання, яке краще адаптоване до роботи з

делікатними поліграфічними матеріалами, ніж стандартні універсальні конвеєри.

Таблиця 4.4. дозволяє чітко співставити потреби клієнта з технічними рішеннями транспортера.

Визначення потенційних клієнтів, їх вимог та характеристик продукту

На основі аналізу ринкового середовища було сформовано профіль потенційного споживача. Основний фокус зосереджено на підприємствах, де критично важливим є збереження товарного вигляду напівфабрикатів (відсутність подряпин, згинів чи слідів від роликів) під час транспортування між технологічними операціями. Результати аналізу вимог споживачів та відповідних характеристик проекту наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Характеристика потенційних клієнтів

Необхідність / Потреба	Вимоги до товару	Характеристики товару
Поліграфічні комбінати (офсетний друк) Потреба: Автоматизація переміщення стосів паперу між друкарськими машинами	Мінімізація браку при транспортуванні (відсутність слідів на свіжому відбитку), надійність роботи 24/7	Використання технології дбайливого переміщення (аеродинамічна подушка або гладка стрічка), що виключає механічне пошкодження поверхні листа
Виробники пакування з картону та гофрокартону Потреба: Транспортування заготовок до висікальних пресів	Можливість налаштування швидкості під ритм роботи основного обладнання, адаптація габаритів під цех	Модульна конструкція системи, наявність блоку керування для синхронізації швидкості потоку з іншими машинами лінії
Малі друкарні Потреба: Зменшення ручної праці вантажників	Низька вартість впровадження, простота в обслуговуванні, енергоефективність	Спрощена конструкція з використанням стандартних вузлів, низьке енергоспоживання порівняно з важкими конвеєрами

Наступним кроком є визначення зовнішніх та внутрішніх умов, що впливають на успішність реалізації стартапу. У таблицях 4.5 та 4.5.1 наведено фактори, що сприяють та перешкоджають впровадженню розробленої системи транспортування.

Таблиця 4.5 – Фактори, що сприяють ринковому впровадженню проєкту

Фактор	Характеристика впливу
Підвищення вимог до якості пакування	Клієнти вимагають ідеального стану поліграфічної продукції без подряпин та слідів, що неможливо забезпечити при ручному переміщенні або використанні грубих конвеєрів.
Зростання вартості ручної праці	Підприємствам вигідніше один раз інвестувати в автоматизовану лінію, ніж постійно виплачувати заробітну плату вантажникам та підсобним робітникам.
Тенденція до автоматизації	Загальний тренд на модернізацію виробництв робить керівників заводів більш схильними до закупівлі сучасного обладнання.
Модульність конструкції	Можливість вбудовувати транспортер у вже існуючі лінії без необхідності повної зупинки виробництва або капітальної перебудови цеху.

Таблиця 4.5.1 – Фактори, що перешкоджають ринковому впровадженню проєкту

Фактор	Характеристика впливу
Високі початкові капіталовкладення	Необхідність одномоментної витрати значних коштів на закупівлю та монтаж системи може відлякувати малий бізнес.
Консерватизм керівництва	Деякі власники старих друкарень звикли до традиційних методів роботи і скептично ставляться до нових технологічних рішень.
Залежність від імпортованих комплектуючих	Ризик зміни ціни або термінів поставки двигунів, датчиків чи електроніки через логістичні проблеми або коливання курсу валют.
Потреба у кваліфікованому обслуговуванні	Для налаштування та ремонту системи потрібен персонал з технічними навичками, якого може не бути у штаті замовника.

Таблиця 4.6 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливість конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Олігополія	Ринок поліграфічного обладнання розділений між кількома великими міжнародними гравцями (наприклад, Bobst, Heidelberg), які диктують технологічні стандарти	Необхідно створити продукт, який інтегрується з обладнанням лідерів ринку, але коштує дешевше. Фокус на нішевості, а не на прямій конкуренції з гігантами.

Національна	Конкуренція здебільшого відбувається з іноземними виробниками, оскільки внутрішній ринок виробництва такої техніки в Україні розвинений слабо.	Акцент на перевагах локального виробника: відсутність митних зборів, швидкий сервіс, налаштування під клієнта, спілкування зрозумілою мовою, оперативна доставка запчастин.
Внутрішньогалузева	Конкурентами є виробники будь-яких конвеєрних систем, які можуть спробувати адаптувати свої рішення під поліграфію.	Розробка вузькоспеціалізованих технологій захисту паперу від пошкоджень, чого немає у "універсальних" конвеєрів. Демонстрація експертизи саме в поліграфічних процесах.
Товарно-видова	Конкуренція між різними видами переміщення: автоматичні конвеєри проти ручних візків та навантажувачів.	Проведення рекламної кампанії, що демонструє економічні втрати від браку при ручному переміщенні. Доведення окупності автоматизації за 1–2 роки.
Цінова	Для малого та середнього бізнесу (основних клієнтів в Україні) ціна є критичним фактором через обмеженість обігових коштів.	Встановлення ціни на рівні собівартість + оптимальна маржа, що буде нижчою за імпортні аналоги. Пропозиція лізингу або розтермінування платежу.

Марочна	Споживачі схильні довіряти відомим брендам, які гарантують надійність. Новий стартап не має впізнаваності.	Реєстрація торгової марки. Активна участь у галузевих виставках, надання подовженої гарантії та можливість безкоштовного тестування для перших клієнтів для здобуття репутації.
---------	--	---

Таблиця 4.7 – Аналіз конкурентних сил за М. Портером

Конкурентна сила	Рівень впливу	Характеристика сили для проекту
Загроза появи нових гравців	Середній	Для входу на ринок потрібні інженерні знання, виробнича база та стартовий капітал для закупівлі металу/електроніки. Існує загроза копіювання технології дрібними майстернями, проте складність точного налаштування аеродинаміки захищає від копій.
Ринкова влада постачальників	Низький	<i>Доступність ресурсів:</i> Комплектуючі (листовий метал, вентилятори, двигуни, контролери) є стандартизованими. На ринку присутня велика кількість постачальників, що дозволяє вільно обирати найкращу ціну без залежності від одного продавця.
Ринкова влада покупців	Високий	Поліграфічні підприємства прагнуть мінімізувати витрати на обладнання. Клієнти вимагають гарантій надійності, оскільки простій конвеєра зупиняє все виробництво. Покупець має вибір

		між автоматизацією та збереженням ручної праці.
Загроза з боку товарів-замінників	Високий	Головним замінником є ручна праця (низькі інвестиції, але високі поточні витрати) та класичні стрічкові конвеєри (дешевші, але можуть пошкоджувати продукцію).
Рівень конкурентної боротьби	Середній	У ніші спеціалізованого обладнання для дбайливого транспортування конкуренція нижча, ніж у сегменті універсальних конвеєрів. Боротьба ведеться не стільки з іншими брендами, скільки за бюджет клієнта, який вирішує, чи потрібна йому модернізація взагалі.

За результатами аналізу конкурентного середовища встановлено, що, попри інтенсивну конкурентну боротьбу з боку прямих конкурентів, проєкт має реальні можливості для успішного виходу на ринок. Ключовою передумовою успіху є економічна доцільність впровадження розробки, оскільки існуючі товари-замінники та альтернативні методи переміщення продукції характеризуються вищою сукупною вартістю використання. Це створює для стартап-проєкту конкурентну перевагу, що базується на оптимальному співвідношенні ціни та ефективності, дозволяючи зайняти вільну нішу в сегменті автоматизації поліграфічних підприємств.

На основі аналізу конкурентного середовища визначено ключові фактори, які впливають на рішення клієнта про покупку, та сформульовано їх обґрунтування для розроблюваного проекту.

Таблиця 4.8 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
Новизна і прогрес	Використання спеціалізованої технології "дбайливого переміщення" (гладка стрічка або пневматична подушка), що дозволяє повністю уникнути пошкоджень поверхні картону/паперу, на відміну від стандартних роликів систем.
Гарантія та сервіс	Як локальний виробник, ми можемо забезпечити виїзд сервісної бригади протягом 24–48 годин та наявність запчастин на складі, тоді як ремонт імпортного обладнання може тривати тижнями через логістику.
Собівартість	Відсутність митних зборів та складної логістики дозволяє запропонувати ціну на 30–40% нижчу за європейські аналоги, що є критичним для українського малого та середнього бізнесу
Час виконання робіт	Термін виготовлення та монтажу системи становить 4–6 тижнів, що значно швидше за доставку імпортного обладнання (яка часто сягає 3–6 місяців).

Таблиця 4.8.1 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20							
		+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
Новизна і прогрес	18		+					
Гарантія	15			+				
Собівартість	20			+				
Час виконання робіт	12			+				

Завершальним етапом ринкового аналізу є проведення SWOT-аналізу, який дозволяє систематизувати сильні та слабкі сторони проекту, а також визначити можливості та загрози зовнішнього середовища. Це необхідно для розробки стратегії впровадження продукту на ринок з урахуванням виявлених ризиків. Результати аналізу наведено в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони (Strengths) Технічна спеціалізація Цінова привабливість Гнучкість Локальний сервіс	Слабкі сторони (Weaknesses) Відсутність репутації Обмежені фінансові ресурси Вузький модельний ряд
Можливості (Opportunities) Ріст ринку пакування. Тенденція до імпортозаміщення Автоматизація галузі Грантова підтримка:	Загрози (Threats) Економічна нестабільність: Демпінг конкурентів:. Зростання цін на енергоносії:

Розроблення ринкової стратегії передбачає визначення вектора діяльності підприємства, що дозволить найкращим чином реалізувати потенціал продукту. Першим кроком є вибір цільових груп споживачів, на яких буде сфокусовано основні зусилля маркетингу та продажів.

Враховуючи специфіку проекту, недоцільно розпорошувати ресурси на весь ринок конвеєрів. Необхідно зосередитись на тих сегментах, де проблема пошкодження продукції стоїть найгостріше.

Таблиця 4.10 Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживача сприйняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
Виробники пакування з картону та гофрокартону	Висока	Високий	Середня	Середня
Великі офсетні поліграфічні комбінати	Середня	Середній	Висока	Складна
Малі друкарні та рекламні агенції	Низька	Низький	Низька	Легка

За результатами аналізу обрано цільовий сегмент — Виробники пакування з картону та гофрокартону. Ця група споживачів характеризується високою готовністю до впровадження нових технологій заради збереження якості продукції та зростаючим попитом. Хоча вхід у сегмент має середню

складність, він є найбільш перспективним з точки зору окупності проєкту, на відміну від малих друкарень або великих комбінатів.

Оскільки компанія націлена на одну цільову групу, стратегію охоплення ринку приймаємо як стратегію концентрованого маркетингу. Поставивши за мету задоволення потреб цільового сегменту краще за конкурентів, за базову стратегію розвитку приймаємо стратегію спеціалізації.

Для того щоб повністю визначитися з ринковою стратегією, необхідно обрати стратегію конкурентної поведінки (табл. 4.11) та розробити стратегію позиціонування (табл. 4.12).

Таблиця 4.11 – Визначення базової стратегії розвитку

Чи є проєкт "першопрохідцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Так	Ні	Стратегія зайняття конкурентної ніші

Для входу на ринок обрано стратегію зайняття конкурентної ніші. Це дозволить уникнути прямого зіткнення з великими виробниками універсального обладнання та зосередитися на конкретній проблемі клієнта — збереженні якості напівфабрикатів.

Наступним кроком є формування позиціонування, яке закріпить образ продукту у свідомості споживача.

Таблиця 4.12 - Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію проєкту
Забезпечення цілісності картону/паперу при переміщенні, відсутність слідів та вм'ятин	Стратегія диференціації	Єдина система в бюджетному сегменті, що гарантує "дбайливе транспортування" без механічних пошкоджень продукції	Економія на браку, вітчизняна якість, індивідуальний підхід, надійність технологічного процесу

Результатом розробки ринкової стратегії є вибір стратегії спеціалізації як базової стратегії розвитку підприємства. В якості стратегії конкурентної поведінки обрано стратегію наслідування лідеру, що дозволить мінімізувати ризики при вході на ринок, орієнтуючись на перевірені стандарти галузі, але з адаптацією під локальні умови.

Цільовими групами споживачів обрано приватні профільні підприємства. Планується, що завдяки впровадженню новітніх технологій (системи дбайливого транспортування) компанія зможе ефективно залучати нових клієнтів та забезпечить перехоплення конкурентної ініціативи у виробників застарілого обладнання.

4.4. Розробка маркетингової програми стартап проєкту

Першим кроком при розробці маркетингової програми є розробка маркетингової концепції товару, що отримає споживач.

Таблиця 4.13 – Ключові переваги стартап-проєкту

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
Збереження товарного вигляду	Відсутність пошкоджень продукції	Спеціальне покриття для захисту делікатних матеріалів
Економічна доступність	Низька вартість впровадження	Ціна на 30–40% нижча за імпортні аналоги
Оперативний сервіс	Оперативний ремонт	Наявність запчастин та майстрів в Україні
Адаптивність до приміщення	Індивідуальні розміри	Адаптація конструкції під планування конкретного цеху

Для впровадження проєкту в життя та виходу на ринок необхідно визначити обсяг початкових інвестицій. Основні статті витрат включають науково-дослідні роботи (проектування), закупівлю матеріалів для виготовлення дослідного зразка транспортера, оплату праці розробників та витрати на просування.

Таблиця 4.14 – витрати на створення стартапу.

Стаття витрат	Обсяг витрат, тис.грн.
Виготовлення прототипу	50

Маркетинг та реклама	30
Матеріали та комплектуючі	25
Виплати персоналу	40
Тестування продукту	7
Розробка документації	10

Висновок

Результатом даного розділу є комплексне маркетингове обґрунтування стартап-проекту зі створення системи транспортування поліграфічних напівфабрикатів. Проведено технічний аудит ідеї, підтверджено технологічну здійсненність виготовлення обладнання на базі металевих конструкцій. Визначено переваги запропонованого продукту перед існуючими аналогами, зокрема: спеціалізація на дбайливому переміщенні делікатних матеріалів, адаптивність до умов замовника та економічна доступність. Проведено аналіз ринкового середовища, визначено обсяг та динаміку ринку, а також окреслено коло конкурентів і товарів-замінників. Виявлено фактори можливостей та загроз, що можуть вплинути на реалізацію проекту, проведено SWOT-аналіз сильних та слабких сторін розробки. Обґрунтовано конкурентоспроможність ідеї, проведено аналіз факторів конкурентоспроможності, серед яких ключовими є ціна та локальний сервіс. Розроблено ринкові стратегії проекту: обрано стратегію спеціалізації та наслідування лідеру. Описано цільову групу потенційних споживачів та сформовано стратегію позиціонування продукту як надійної вітчизняної альтернативи імпортному обладнанню. Розраховано обсяг початкових інвестицій, що підтверджує економічну доцільність запуску стартапу.

Висновки

Дана магістерська дисертація присвячена розробці та дослідженню параметрів комбінованого транспортера для переміщення та точного позиціонування картонних заготовок у зону технологічної обробки.

В ході роботи було проаналізовано сучасний стан технологій транспортування в поліграфічній галузі та виконано пошук існуючого обладнання, який дозволив виявити недоліки існуючих механічних та вакуумних систем. На основі цього аналізу запропоновано удосконалений метод транспортування, що базується на синергії механічних роликів та керованих повітряних потоків, які створюють ефект «повітряної подушки».

Для реалізації цього методу розроблено конструкцію пневматичного транспортера з системою аеродинамічного гальмування зустрічними струменями. Проведено теоретичні дослідження газодинамічних процесів, в результаті яких отримано розрахункові схеми та графічні залежності. Це дозволило обґрунтувати раціональні геометричні параметри системи: визначено оптимальні кути нахилу сопел для транспортування та гальмування, а також необхідну кількість та діаметр отворів для стабільної роботи з картоном заданої щільності.

Також в роботі розроблено стартап-проект, в рамках якого проведено маркетинговий аналіз ринку пакувального обладнання, сформовано SWOT-аналіз та доведено економічну доцільність і конкурентоспроможність запропонованого технічного рішення.

За час роботи над дисертацією основні положення дослідження були викладені у публікаціях та тезах доповідей.

Список використаних джерел

1. Sheet-guiding system : пат. US5655449A Сполучені Штати Америки (США) : В65Н29/245. 4 с.
URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/025939780/publication/US5655449A?q=pn=US5655449A>.
2. Sheet handling mechanism for duplicating machine with duplexing capability : пат. US4512255A Сполучені Штати Америки (США) : В65Н15/00. Заявл. 04.03.1983 ; опубл. 23.04.1985. 5 с. URL <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/023875344/publication/US4512255A?q=pn%3DUS4512255A>
3. Delivery systems and methods for setting the delivery systems : пат. US10150644B2 Сполучені Штати Америки (США) : В65Н31/24. Заявл. 28.06.2016 ; опубл. 11.12.2018. 76 с. URL <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/publication/US10150644B2?q=pn%3DUS10150644B2>
4. Sheet-guiding device : пат. US5497987A Сполучені Штати Америки (США) : В65Н29/04. Заявл. 17.07.1995 ; опубл. 12.03.1996. 6 с. URL <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/publication/US5497987A?q=pn%3DUS5497987A>
5. Pneumatic sheet transport and alignment mechanism : пат. US3918706A Сполучені Штати Америки (США) : В65Н9/04. Заявл. 24.06.1974 ; опубл. 11.11.1975. 6 с. URL <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/publication/US3918706A?q=pn%3DUS3918706A>
6. Bank note processing system having a high speed note processing path : пат. US9505571B2 Сполучені Штати Америки (США) : В65Н5/22. Заявл. 10.12.2013 ; опубл. 29.11.2016. 10 с. URL <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/publication/US9505571B2?q=pn%3DUS9505571B2>

7. Іванко А.І. Обрізування аркушевих матеріалів у пневматичних транспортувальних системах / А. І. Іванко., О.С. Марченко // Технологія і техніка друкарства. 2020. Вип. 2(52) С. 69-74
8. Пат. України на кор. мод. № 123600. В42С 5/04. Пристрій для обрізування аркушевого матеріалу / А. І. Іванко. Заявл. 23.11.2017; Опубл. 26.02.2018. Бюл. № 4, 2018. 4 с.
9. Ivanko, A. I. &Pidvyshenna, O.V. (2019). Use of pneumatic devices for manufacturing cardboard reamers. Journal of International scientific and practical conference ‘Science, engineering and technology: global and current trends’, 120–122
10. Топольницький П. В. Нові технології та пристрої для різання поліграфічних матеріалів та книжково-журнальних блоків : навч. посіб./П.В.Топольницький, О. Б. Книш. — Львів : Афіша,2003. — 88 с
11. Регей І. І. Споживче картонне пакування (матеріали, проектування, обладнання для виготовлення) : навч. посіб. / Іван Іванович Регей. — Львів : УАД, 2011. — 144 с
12. Хведчин Ю. Й. Брошурувально-палітурне устаткування. Ч. 2 : Палітурне устаткування : підручник / Ю. Й. Хведчин. — Львів : УАД, 2007. — 392 с
13. Шостачук Ю. О. Техніка і технологія сучасного поліграфічного виробництва : навч. посіб. / Ю. О. Шостачук. — К. : НТУУ «КПІ», 2009. — 244 с
14. Чехман Я.І. та ін. Друкарське устаткування. – Львів, 2005. – 540 с.
15. Іванко А. І. Безмарзанний спосіб обрізування аркушевих матеріалів у потокових лініях / А. І. Іванко // XXV Міжнарод. наук.-практ. конф. з пробл. вид.-полігр. галузі: тези доп., Київ 16 листоп. 2017 р. «УкрНДІСВД». К., 2017. С. 40–41
16. Ivanko A. Pneumatic transportation systems of sheet material / A. Ivanko, O. Marchenko // VII International scientific conference ‘Advanced technologies in mechanical engineering’, Institute of Engineering Mechanics

and Transport / Lviv Polytechnic National University. Lviv–Zveniv, 5–9 February 2018. P. 15–17.

17. Ivanko A. I. Use of pneumatic devices for manufacturing cardboard reamers / A. I. Ivanko, O.V. Pidvyshenna // International scientific and practical conference ‘Science, engineering and technology: global and current trends’ / Czech technical university in Prague, CzechRepublic. December 27–28, 2019. P. 120–122.

18. А. Іванко А. І., Юхименко І. В. Пристрій для транспортування картонних розгорток у зону технологічної обробки. Технологія і техніка друкарства. 2023. № 2(80). С. 75–85. URL: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(80\).2023.291793](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(80).2023.291793)

19. Ривак П.М. Забезпечення стабільності роботи папероживильної системи у машинах аркушевого офсетного друку/ П.М. Ривак//Технологія і техніка друкарства.2008.

20. Air bearing mechanism for flattening paper in a printing machine : patent EP1209539A2 United States : B65H5/22; G03G15/00; G03G15/16;. Applied on 26.11.2001 ; published on 29.05.2002. 7 p

21. Method and apparatus for feeding sheets : patent US005803447A United States : B65H5/08. No. 5803447 ; published on 08.09.1998. 14p