

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

**Навчально-науковий видавничо-поліграфічний інститут
Кафедра машин та агрегатів поліграфічного виробництва**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Андрій ІВАНКО

«__» _____ 2026 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютеризовані поліграфічні
системи»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
на тему: «Фарбовий апарат тамподрукарської машини»**

Виконав:

студент IV курсу, групи СМ-з21

Міщенко Валентин Олегович _____

Керівник:

Доцент кафедри МАПВ, к.т.н.

Гриценко Дмитро Сергійович _____

Рецензент:

Доцент кафедри ТПВ, к.т.н.

Олійник Володимир Григорович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2026 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий видавничо-поліграфічний інститут
Кафедра машин та агрегатів поліграфічного виробництва

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 133 – Галузеве машинобудування

Освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані поліграфічні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри МАПВ

_____ Андрій ІВАНКО

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Міщенку Валентину Олеговичу

1. Тема проєкту: «Удосконалення ракельного механізму трафаретної друкарської машини», керівник проєкту Гриценко Дмитро Сергійович, доцент кафедри МАПВ, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від 25.05.2026 р. № 1862-с
2. Термін подання студентом проєкту: 05 червня 2026 року.
3. Вихідні дані до проєкту: завдання до дипломного проекту, технічна документація, технічна література.
4. Зміст пояснювальної записки: Огляд сучасного стану тамподрукарського обладнання, аналіз конструкцій фарбових апаратів відкритого та закритого типу, модернізація каретки фарбового апарату ручної тамподрукарської машини ТПМ-200, інженерні розрахунки кінематики та силових факторів механізму.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Огляд сучасних тамподрукарських машин та їх фарбових систем, загальний вигляд та складальне креслення модернізованого

фарбового апарату машини ТПМ-200, деталювання вузлів каретки, схеми кінематики, розрахунків залежності.

6. Дата видачі завдання: 01 квітня 2026 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд сучасного стану тамподрукарського обладнання	01.05.2026	виконано
2	Аналіз конструкції та механізмів фарбових апаратів	10.05.2026	виконано
3	Опис запропонованої модернізації каретки фарбового апарату ручної тамподрукарської машини ТПМ-200	15.05.2026	виконано
4	Проведення необхідних розрахунків	20.05.2026	виконано
5	Розробка креслень	01.06.2026	виконано

Студент _____ В. О. Міщенко

Керівник проєкту _____ Д.С. Гриценко

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Фарбовий апарат тамподрукарської машини»

Київ – 2026 року

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт на тему: **«Фарбовий апарат тамподрукарської машини»**.

У дипломному проєкті розглянуто сучасний стан тамподрукарського обладнання та проведено аналіз конструкцій фарбових апаратів і ракельних механізмів, що застосовуються в машинах тампонного друку. Досліджено особливості відкритих, частково закритих і повністю закритих фарбових систем, принципи роботи ракельних вузлів та методи їх технічного обслуговування.

Основною метою роботи є удосконалення фарбового апарату ручної тамподрукарської машини ТПМ-200 для підвищення ергономічності, стабільності зрізу фарби та зменшення металоємності рухомих частин. У роботі запропоновано нову конструкцію каретки ракельного механізму, яка забезпечує плавне автоматичне чергування підйому та притиснення ножа під час робочого ходу за допомогою магнітної системи.

Запропонована конструкція базується на використанні полегшеної просторової платформи, чотириопорної кінематично визначеної схеми з ексцентриковими втулками для вибору люфтів та інноваційного магнітного контуру керування вектором сили. Виконано опис загального вигляду, принципу роботи, кінематичної схеми та циклограми функціонування модернізованого вузла. Проведено порівняльний аналіз переваг запропонованого рішення щодо зниження фізичного навантаження на оператора порівняно з базовою моделлю.

У розрахунковій частині визначено основні кінематичні та силові параметри механізму, розраховано необхідне зусилля притиску ракеля, параметри магнітного кола (індукцію в зазорі) та довговічність підшипникових вузлів каретки. Отримані результати підтверджують повну працездатність запропонованої конструкції, відсутність критичних навантажень та колосальний запас міцності опорних елементів.

Запропоноване вдосконалення дозволяє забезпечити рівномірний розподіл тиску ракеля, ліквідувати паразитні вібрації та люфти, підвищити якість нанесення фарбового шару та значно зменшити зношування леза ракеля і друкарської форми. Практичне впровадження модернізації сприятиме підвищенню ергономічності праці оператора, зменшенню металоємності обладнання та зниженню експлуатаційних витрат.

Ключові слова: тампонний друк, фарбовий апарат, тамподрукарська машина, ракельний механізм, каретка, магнітний притиск, кінематичний розрахунок, поліграфічне обладнання.

ABSTRACT

Bachelor's thesis on the topic: **“The inking unit of a pad printing machine”**.

This thesis examines the current state of pad printing equipment and analyses the designs of ink units and squeegee mechanisms used in pad printing machines. It investigates the characteristics of open, partially enclosed and fully enclosed ink systems, the operating principles of squeegee assemblies and methods for their maintenance.

The main objective of the work is to improve the ink unit of the TPM-200 manual pad printing machine in order to enhance ergonomics, ensure a stable ink flow and reduce the amount of metal used in moving parts. The study proposes a new design for the squeegee mechanism carriage, which ensures a smooth, automatic alternation between raising and pressing the blade during the working stroke by means of a magnetic system.

The proposed design is based on the use of a lightweight spatial platform, a four-point kinematically determined mechanism with eccentric bushings for adjusting clearances, and an innovative magnetic force vector control circuit. A description is provided of the general appearance, operating principle, kinematic diagram and cycle diagram of the modernised assembly. A comparative analysis has been carried out of the advantages of the proposed solution in terms of reducing the physical load on the operator compared with the base model.

In the calculation section, the main kinematic and force parameters of the mechanism are determined; the required squeegee pressing force, the parameters of the magnetic circuit (induction in the gap) and the service life of the carriage bearing assemblies are calculated. The results obtained confirm the full operational capability of the proposed design, the absence of critical loads and the substantial safety margin of the supporting elements.

The proposed improvement ensures an even distribution of squeegee pressure, eliminates parasitic vibrations and play, improves the quality of the ink layer application, and significantly reduces wear on the squeegee blade and printing plate.

The practical implementation of this modernisation will contribute to improving the ergonomics of the operator's work, reducing the equipment's metal consumption and lowering operating costs.

Keywords: pad printing, ink unit, pad printing machine, squeegee mechanism, carriage, magnetic clamp, kinematic analysis, printing equipment.

ЗМІСТ

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТАМПОННОГО ДРУКУ	13
1.1. Фізико-хімічні основи та специфіка тампонного перенесення	13
1.2. Сфери застосування та порівняння з альтернативними методами декорування	14
1.3. Комплексний огляд сучасного тамподрукарського обладнання	15
1.4. Класифікація машин за кінематикою та типом друкарських форм	18
1.5. Детальний аналіз конструкцій фарбових апаратів та ракельних вузлів	21
1.6. Сучасні інновації: УФ-фарби, сервоприводи та системи технічного зору	23
Висновки до розділу 1	24
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ПРОЄКТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ ФАРБОВОГО АПАРАТУ МАШИНИ ТПМ-200	26
2.1. Комплексний аналіз базової конструкції тамподрукарської машини ТПМ-200	26
2.1.1. Призначення та загальна компоновка агрегату	26
2.1.2. Детальний розбір вузла фарбового апарату відкритого типу	26
2.1.3. Аналіз кінематики та динаміки існуючої каретки	27
2.1.4. Аналіз базової конструкції та виявлення конструктивних недоліків	29
2.2. Теоретичні передумови та концепція модернізації	30
2.3. Опис пропозиції щодо удосконалення вибраної машини	30
2.3.1. Архітектура направляючих та опорних вузлів	30
2.3.2. Просторова платформа та система вибору люфтів	31
2.3.3. Інноваційний магнітний механізм керування ракелем	31
2.3.4. Система мікрометричного регулювання питомого тиску	34
2.4. Кінематика та циклограма роботи вдосконаленого механізму	34

2.5. Переваги запропонованої конструкції та вплив на експлуатаційні характеристики	34
Висновки до розділу 2	36
РОЗДІЛ 3 ІНЖЕНЕРНІ РОЗРАХУНКИ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗМІВ ФАРБОВОГО АПАРАТУ	38
3.1. Постановка задач розрахункової частини та вихідні параметри	38
3.2. Розрахунок необхідної сили притиску ракеля до друкарської форми .	38
3.3. Розрахунок магнітної системи та визначення відстані для регулювання притиску	39
3.4. Розрахунок довговічності підшипникових вузлів каретки.....	40
3.5. Визначення ергономічного зусилля на рукоятці оператора	42
Висновки до розділу 3	43
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	44
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	46

ВСТУП

Сучасна поліграфічна та сувенірна індустрія характеризується високими темпами еволюції технологій декорування нестандартних поверхонь. Технологія тампонного перенесення фарби залишається критично важливою для нанесення графічної інформації на вироби складної геометричної форми. Попри глобальну тенденцію до автоматизації та роботизації виробничих ліній, сегмент ручного та напівавтоматичного устаткування зберігає стабільний попит. Це зумовлено необхідністю гнучкого реагування на малі тиражі, швидкого переналагодження та роботи з експериментальними зразками. Разом з тим, експлуатація застарілих моделей ручних апаратів, таких як ТПМ-200, супроводжується низкою ергономічних та кінематичних недоліків, зокрема надмірною металоємністю рухомих вузлів, високим тертям у направляючих та нестабільністю зусилля притиску ракеля. Вирішення цих проблем шляхом інженерної модернізації є актуальним науково-практичним завданням.

Об'єкт дослідження — процес тампонного перенесення фарби та кінематика ручних тамподрукарських машин.

Предмет дослідження — закономірності впливу конструктивних змін у вузлі каретки ракельного механізму на якість друку та трудомісткість роботи оператора.

Мета роботи полягає у підвищенні експлуатаційної надійності, ергономічності та точності ручної тамподрукарської машини ТПМ-200 шляхом розробки та впровадження удосконаленої кінематичної схеми натиску ракеля за допомогою магнітів.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

1. Здійснити порівняльний аналіз сучасного ринку обладнання для тампонного друку.
2. Дослідити фізико-механічні аспекти взаємодії ракеля з друкарською формою.
3. Розробити конструктивну схему модернізації каретки ТПМ-200.

4. Виконати комплекс інженерних розрахунків кінематики, силових факторів та довговічності вузлів тертя.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТАМПОННОГО ДРУКУ

1.1. Фізико-хімічні основи та специфіка тампонного перенесення

Тампонний друк являє собою специфічну різновидність непрямого глибокого способу формування графічного зображення. Фактично ця технологія є модифікацією офсетного методу, де візуальний мотив переноситься з металевої або полімерної друкарської форми (кліше) безпосередньо на субстрат завдяки проміжному еластичному демпферу — силіконовому тампонові. Свою назву цей метод отримав саме завдяки використанню цього унікального проміжного елемента, який бере на себе функцію адаптації до складної геометрії поверхні.

Фізика процесу перенесення фарби базується на складній взаємодії поверхневих натягів, адгезійних та когезійних сил. Ключовим фактором є різниця у поверхневій енергії: поверхня кліше має високу енергію, тампон — середню, а субстрат — низьку (або оброблену для зниження енергії). Під час контакту тампона з кліше фарба адсорбується на його поверхні. Коли тампон притискається до виробу, площа контакту різко зростає, а адгезія фарби до субстрата стає вищою, ніж до силікону, що забезпечує повне відривання фарбової плівки від тампона.

Реологія тамподрукарської фарби відіграє критичну роль. Вона повинна бути виражено тиксотропною: мати високу в'язкість у стані спокою (щоб не витікати з гравюрних заглиблень кліше) і різко знижувати в'язкість під впливом зсувного зусилля під час руху ракеля або стиснення тампоном. До складу фарби обов'язково входить леткий розчинник, який виконує подвійну функцію: по-перше, забезпечує необхідну реологію, а по-друге, при контакті з субстратом частково розчиняє його верхній мікрошар, забезпечуючи ефект «втручання» (заглиблення) фарби в матеріал, що гарантує високу механічну стійкість відбитка.

Силіконовий тампон також має специфічні вимоги. Він виготовляється з двокомпонентного силікону, що вулканізується, і характеризується твердістю за Шором (від 5 до 50 одиниць Shore A). М'які тампони (5-15 Shore A) використовуються для нерівних, рельєфних поверхонь, оскільки вони здатні обтікати перешкоди. Тверді тампони (30-50 Shore A) застосовуються для друку на плоских або циліндричних поверхнях, забезпечуючи чіткість дрібних елементів та точне суміщення кольорів. Важливою характеристикою є «пам'ять форми» — здатність тампона миттєво повертатися до початкового стану після деформації без залишкових змін геометрії.

1.2. Сфери застосування та порівняння з альтернативними методами декорування

Сучасна індустрія декорування використовує тамподрук у тих випадках, коли інші технології (трафаретний друк, лазерне гравіювання, цифровий друк, термоперенесення) є технічно неможливими або економічно недоцільними. Головна конкурентна перевага методу — здатність формувати високоякісне зображення на поверхнях довільної кривизни, включаючи увігнуті, опуклі, рифлені та текстуровані ділянки.

Основні галузі застосування включають:

- Електроніка та побутова техніка: нанесення логотипів, піктограм керування, серійних номерів на корпуси приладів, пульти дистанційного керування, клавіатури, зарядні пристрої.
- Автомобільна промисловість: декорування панелей приладів, кнопок на кермі, елементів салону, що вимагає високої стійкості фарби до ультрафіолету та хімічних реагентів.
- Медичне обладнання: маркування інструментів, корпусів діагностичних приладів, де важлива біоінертність та стійкість до багаторазової стерилізації.

- Канцелярія та сувенірна продукція: ручки, запальнички, брелоки, годинники, іграшки. Це найбільш масовий сегмент, де тамподрук є абсолютним стандартом.
- Косметична та харчова упаковка: декорування флаконів, тубиків, кришок, де вимагається висока естетика та стійкість до вологості.

Порівняно з трафаретним друком, тамподрук програє у товщині фарбового шару та швидкості друку на великих плоских площах, але виграє у можливості роботи з 3D-рельєфом. Порівняно з лазерним гравіюванням, тамподрук дозволяє використовувати будь-які кольори (включно зі специфічними, наприклад, металиками, флуоресцентними або фарбами, що світяться в темряві), тоді як лазер лише змінює колір самого матеріалу. Порівняно з деколю (особливо на кераміці та склі), тамподрук є значно швидшим і дешевшим для середніх тиражів, хоча деколь забезпечує вищу хімічну та механічну стійкість після випалу.

1.3. Комплексний огляд сучасного тамподрукарського обладнання

Сучасний ринок поліграфічного обладнання пропонує широкий спектр машин — від простих настільних ручних апаратів до повністю автоматизованих роботизованих комплексів. Вибір конкретної моделі залежить від тиражу, геометрії виробів, кількості кольорів та вимог до точності суміщення.

Ручні тамподрукарські машини Настільні ручні моделі, такі як ТІС-177Н (рис. 1.1) або ТРМ-100 (рис. 1.2), є еталоном гнучкості для малих підприємств та прототипування. Ключовою конструктивною особливістю якісних ручних машин (наприклад, ТІС-177Н) є наявність жорстких направляючих пазів, які обмежують рух тампона виключно у двох площинах: вертикально на кліше та вертикально на стіл. Це унеможливорює бічне зміщення тампона під час притискання, що є критично важливим для стабільності відтиснення. Такі машини дозволяють оператору працювати однією рукою, утримуючи виріб

іншою, що є незамінним при декоруванні габаритних або нестандартних виробів, які неможливо зафіксувати у стандартному пристосуванні. Маса таких апаратів зазвичай не перевищує 20-25 кг, що дозволяє легко переміщувати їх між робочими місцями.



Рис. 1.1. TIC-177H



Рис. 1.2. TPM-100

Напівавтоматичні тамподрукарські машини Моделі середнього класу, такі як TP-100 (рис. 1.3) або TP-100S2, оснащуються пневматичними або електромеханічними приводами. Вони використовують шатлові (ковзні) столи або обертальні мікроприводи для точного позиціювання виробу. Двофарбова

модифікація TP-100S2 дозволяє майже вдвічі збільшити швидкість випуску продукції на циліндричних виробках, оскільки виключає необхідність повторного ручного позиціонування субстрата після першого циклу. Наявність координатних мікроприводів друкованого столу забезпечує точність суміщення кольорів на рівні десятих часток міліметра, що дозволяє використовувати як фотополімерні, так і товсті сталеві форми.



Рис. 1.3. TP-100, TP-100S2

Автоматичні та сервоприводні лінії Вершиною еволюції є повністю автоматичні машини серій SL, SX та P-5. Агрегати серії SL (SL-100, SL-200, SL-300, SL-600) працюють на базі серводвигунів змінного струму. Відмова від пневматики на користь електромеханіки дозволила досягти абсолютної стабільності зусилля друку (до 4000 кН у моделі SL-600) незалежно від коливань тиску в цеховій магістралі. Управління такими комплексами здійснюється через сенсорні HMI-панелі з функцією віддаленої телеметрії та діагностики кожного окремого руху. П'ятифарбова машина P-5 (рис. 1.4) представляє собою карусельний або лінійний агрегат з п'ятьма незалежними програмованими секціями, оснащений системами технічного зору для автоматичного контролю суміщення кольорів та виявлення браку. Такі лінії легко інтегруються в єдині виробничі комірки Industry 4.0.



Рис. 1.4. Р-5

1.4. Класифікація машин за кінематикою та типом друкарських форм

У тамподрукарських машинах для створення зображення використовуються переважно форми глибокого друку (кліше). Використання форм високого друку є обмеженим через концентрацію механічних напружень на краях еластичної оболонки тампона, що призводить до її передчасної деструкції та деформації.

Узагальнена класифікація тамподрукарського обладнання

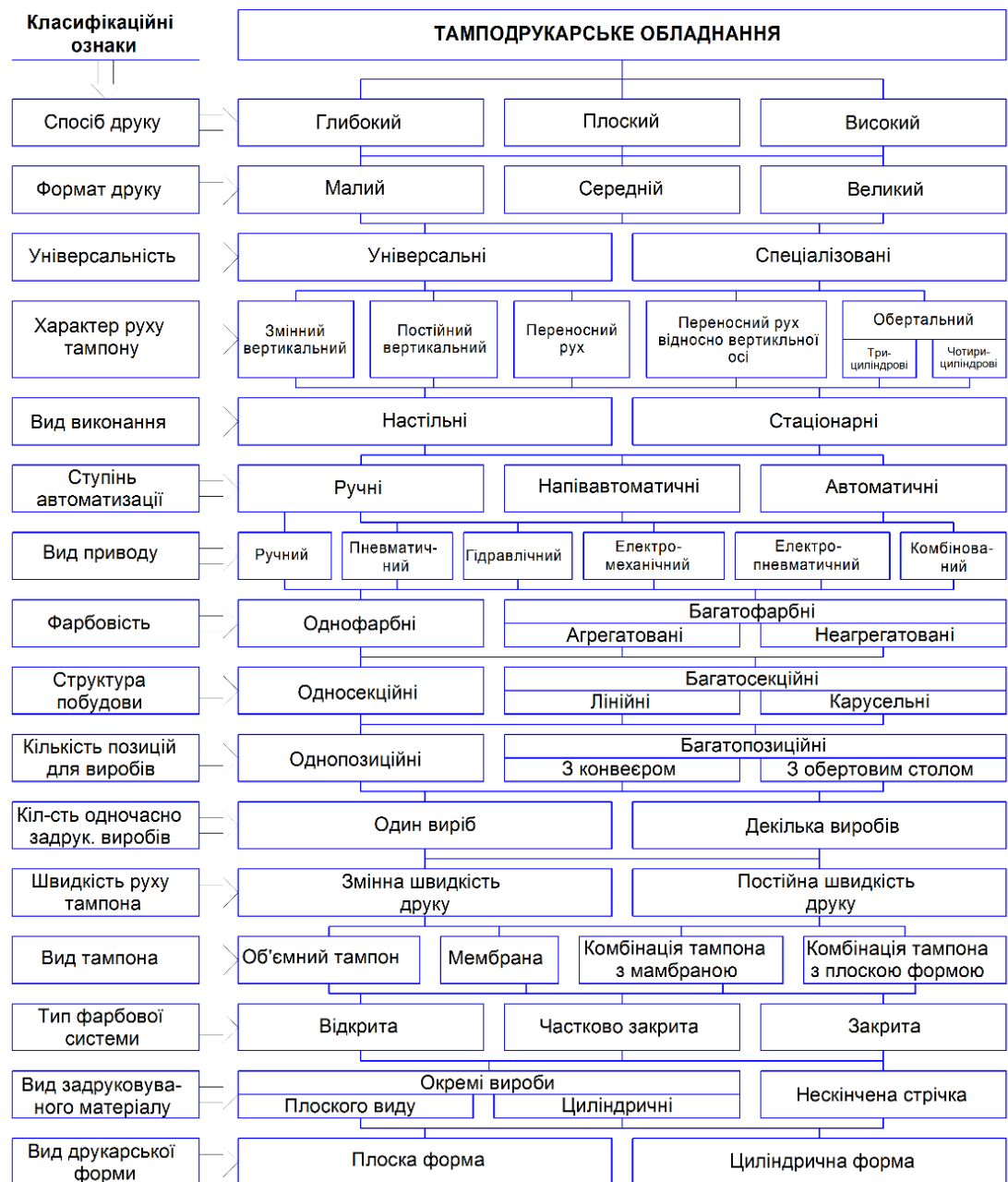


Рис. 1.5. Класифікаційна схема тамподрукарського обладнання

Залежно від кінематики руху демпфера обладнання поділяється на п'ять структурних типів:

- З перемінним вертикальним вектором. Тампон по чергові опускається у різні площини: спочатку на кліше для набору фарби,

потім на виріб для перенесення. Це найпоширеніша схема для ручних та напіваавтоматичних машин.

- З постійним вертикальним вектором. Зона друку жорстко фіксована. Кліше та виріб подаються у зону контакту тампона по чергово. Така схема забезпечує найвищу швидкість роботи.
- З плоскопаралельним переносним рухом. Тампон не просто опускається на виріб, а здійснює складну траєкторію (качається або зсувається), що дозволяє збільшити площу контакту та уникнути утворення повітряних бульбашок під час друку на великих площах.
- З роторним обертальним рухом. Тампон виготовлений у вигляді жорсткого ролика, який обертається. Ця схема реалізується у три- або чотирициліндрових машинах і ідеально підходить для безперервного друку на циліндричних виробах (наприклад, на корпусах ручок або шприцах).

За форматом друку машини класифікують на малі (до 100x100 мм), середні (до 150x200 мм) та великі (понад 250x250 мм).

Окремої уваги заслуговують друкарські форми (кліше). Сьогодні використовуються два основні типи:

1. Фотополімерні форми. Виготовляються шляхом УФ-засвітки рідкого або твердого фотополімеру через негатив. Переваги: низька вартість, швидке виготовлення, можливість отримання глибокого рельєфу. Недоліки: низька стійкість до абразивного зношування ракелем (ресурс до 50 000 циклів), чутливість до деяких агресивних розчинників у складі фарби.
2. Сталеві форми. Виготовляються шляхом хімічного травлення (для тонких сталей) або механічного гравіювання (для товстих сталей). Переваги: надзвичайно високий ресурс (понад 1 000 000 циклів), ідеальна стійкість до будь-яких хімічних розчинників у фарбі,

можливість використання магнітних систем утримання закритих чашок. Недоліки: вища вартість виготовлення, необхідність використання спеціалізованого обладнання для гравіювання.

1.5. Детальний аналіз конструкцій фарбових апаратів та ракельних вузлів

Конструкція вузла подачі фарби (фарбового апарату) визначає екологічність, стабільність технологічного процесу та собівартість експлуатації обладнання. Еволюція фарбових апаратів пройшла шлях від відкритих ванн до високоточних герметичних систем.

Системи відкритого типу Історично перші моделі з'явилися у 1960-х роках. Вони характеризуються тим, що значна площа фарби у відкритій ванні контактує з навколишнім середовищем. Ракельний механізм (металевий або полімерний ніж) зрізає надлишки фарби з поверхні кліше, залишаючи її лише у гравюрних заглибленнях. Головний недолік — інтенсивне випаровування розчинників, що призводить до зміни в'язкості фарби протягом зміни. Це вимагає постійного моніторингу та додавання ретардерів (сповільнювачів висихання). Сучасні модифікації таких систем оснащуються електропневматичними приводами та сервоприводами, що дозволяє програмно регулювати циклічність та зусилля притиску ракеля, проте проблема випаровування залишається їхнім невід'ємним недоліком.

Частково закриті системи У таких апаратах фарба утримується у рухомій ванні (кориті), яка переміщується горизонтально разом із ракельним механізмом. Коли фарба заповнює гравюри кліше, каретка під час зворотного ходу перекриває ванну, перешкоджаючи випаровуванню розчинників. Хоча це продовжує життя фарби, вимоги до точності напрямних зростають експоненціально. Будь-який люфт у направляючих каретки призводить до нерівномірного зрізу фарби, появи «усів» (задирок) на краях зображення та швидкого абразивного зношування пари тертя «ракель-форма». Крім того, такі

системи вимагають періодичного очищення ванни від засохлих залишків фарби.

Повністю закриті системи (Cap system) Найбільш прогресивний та екологічний напрямок. Фарба герметично утримується у перевернутій чашці, горловина якої щільно прилягає до кліше. Чашка одночасно виконує функцію ракеля: вона переміщується вздовж кліше, зрошуючи друкарські елементи та очищаючи пробільні ділянки. Переваги: відсутність випаровування (екологічність, економія розчинників, відсутність запаху в цеху), стабільність в'язкості фарби протягом усієї зміни, можливість роботи з двокомпонентними фарбами без ризику їх висихання у ванні. Недоліки: висока вартість витратних чашок, обмеження щодо максимального формату друку (діаметр чашки зазвичай не перевищує 150-200 мм), необхідність ідеального прилягання (притирання) кромки чашки до форми.

Для мінімізації зносу сучасні чашки виготовляють з використанням спеціалізованих ущільнювальних кілець. Найпростіші моделі мають суцільнометалеву горловину, проте вони швидко зношують сталеві кліше. Більш досконалі системи використовують чашки з керамічними або твердосплавними (карбід вольфраму) вставками на кромці, що значно подовжує термін служби пари тертя.

Критично важливим елементом закритих систем є механізм притиску чашки до кліше. Традиційні механічні пружинні або пневматичні притискні пристрої створюють надмірне локальне навантаження, що призводить до нерівномірного зношування ущільнювального кільця. Сучасні машини відмовляються від жорсткого механічного притиску на користь магнітних систем утримання. Потужні неодимові магніти, вбудовані у основу кліше або чашки, створюють рівномірне притягнення по всьому периметру. Це гарантує ідеальне прилягання без перекосів, мінімізує абразивний знос ущільнювача та дозволяє оператору миттєво замінювати чашку без необхідності складного механічного налагодження.

Існують також вертикальні фарбові апарати, де кліше закріплене всередині чашки вертикально. Чашка піднімається, фарба заповнює гравюри, після чого чашка опускається, а ракель зрізає фарбу з пробільних елементів. Така схема дозволяє використовувати дуже великі формати кліше (до 127х457 мм), зберігаючи при цьому всі переваги закритої системи щодо збереження властивостей фарби.

1.6. Сучасні інновації: УФ-фарби, сервоприводи та системи технічного зору

Окрім еволюції механічних частин, тамподрук зазнав революції у сфері хімії та автоматизації.

Використання УФ-фарб у тамподруці. Традиційні сольвентні фарби вимагають часу на висихання між кольорами та фінальної сушки. Впровадження спеціалізованих УФ-отверджуваних фарб для тампонного друку дозволило вирішити проблему випаровування розчинників (VOC). УФ-фарба не висихає на повітрі, а полімеризується миттєво під дією ультрафіолетового випромінювання. Це дозволяє наносити другий колір «сирий по сируму» без проміжної сушки, значно прискорюючи цикл. Проте використання УФ-фарб вимагає модифікації фарбових апаратів (захист від паразитного засвічення) та застосування спеціальних тампонів, стійких до хімічного впливу мономерів.

Сервоприводи та відмова від пневматики. Традиційні напіваавтомати використовували пневмоциліндри, які є чутливими до перепадів тиску в цеховій мережі, що призводило до «плавання» зусилля притиску тампона. Сучасні машини (серії SL, SX) використовують безщіткові серводвигуни змінного струму з енкодерами зворотного зв'язку. Це дозволяє програмно задавати не лише позицію, але й профіль прискорення, зусилля притиску та траєкторію руху тампона з точністю до мікрона. Такий підхід гарантує ідеальну якість друку навіть на крихких або делікатних виробках.

Системи технічного зору (Vision Systems). Для багатокольорового друку з високою точністю суміщення сучасні автоматичні лінії оснащуються камерами машинного зору. Система сканує позицію виробу або пре-маркери на кліше у реальному часі, обчислює відхилення та автоматично вносить корективи у координати столу або тампоновузла. Це унеможливорює появу браку через неточне позиціювання виробу або деформацію тампона під час тривалої роботи.

Висновки до розділу 1

Тампонний друк залишається незамінною технологією для декорування виробів зі складною тривимірною геометрією, забезпечуючи унікальне поєднання гнучкості, швидкості та економічної ефективності.

Фізико-хімічні властивості тамподрукарської фарби та силіконового тампона вимагають високої точності механічних вузлів обладнання для забезпечення стабільного перенесення шару.

Ринок обладнання чітко сегментований: ручні машини домінують у сегменті малих тиражів та прототипування завдяки низькій вартості та гнучкості, тоді як сервоприводні автоматичні лінії забезпечують масове виробництво з інтеграцією в системи Industry 4.0.

Еволюція фарбових апаратів однозначно спрямована у бік повністю закритих (Cup) систем з магнітним притиском. Це забезпечує екологічність, стабільність в'язкості фарби та значне зниження експлуатаційних витрат.

Подальший розвиток галузі пов'язаний з впровадженням УФ-фарб, відмовою від пневматики на користь електромеханіки та інтеграцією систем оптичного контролю якості.

Проте, незважаючи на глобальну автоматизацію, сегмент ручних та напівавтоматичних машин з відкритими та закритими системами залишається критично важливим. Саме конструкція цих машин, зокрема ракельних вузлів та кареток, потребує подальшого інженерного удосконалення для підвищення

ергономіки, зниження металоємності та усунення люфтів, що і буде розглянуто у наступному розділі на прикладі модернізації машини ТПМ-200.

РОЗДІЛ 2

ІНЖЕНЕРНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ПРОЄКТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ ФАРБОВОГО АПАРАТУ МАШИНИ ТПМ-200

2.1. Комплексний аналіз базової конструкції тамподрукарської машини ТПМ-200

2.1.1. Призначення та загальна компоновка агрегату

Досліджуваний агрегат моделі ТПМ-200 позиціонується на ринку як універсальний інструмент для декорування широкої номенклатури сувенірних та промислових виробів. Завдяки ручному приводу та відкритій системі подачі фарби, машина здатна працювати з пластиками, металами, деревиною та іншими матеріалами, за умови індивідуального підбору хімічного складу фарби. Апарат знайшов широке застосування у малотиражному виробництві, де критично важливими факторами є швидкість переналагодження та низька собівартість експлуатації.

Загальна компоновка машини включає масивну чавунну станину, яка забезпечує необхідну вібростійкість, вертикальну колонну з тампонотримачем, механізм позиціонування виробу та, власне, фарбовий апарат. *Основні паспортні параметри базової моделі:*

- Кількість друкарських секцій (фарб) – 2;
- Максимальний габарит виробу по висоті – 80 мм;
- Формат друкарської форми (кліше) – 100×100 мм;
- Робоча площа відбитка – 80×80 мм;
- Габаритні розміри (Д×Ш×В) – 600×460×480 мм;
- Конструкційна маса – 60 кг.

2.1.2. Детальний розбір вузла фарбового апарату відкритого типу

Фарбовий апарат базової машини реалізований за класичною відкритою схемою. Він складається з нерухомої ванни (місткості), у якій знаходиться запас фарби, та рухомої каретки, що несе на собі ракельний (очищувальний) та наносний (зрошувальний) ножі.

Ракельний вузол є критично важливим елементом, оскільки саме він формує товщину фарбового шару у гравюрних заглибленнях кліше. У базовій конструкції каретка являє собою масивну литую або зварну сталеву деталь, яка спирається на вісім роликів (по чотири з кожного боку), що рухаються по циліндричних направляючих. Привід каретки здійснюється від ручного важеля через систему шатунів та кривошипів.

Під час робочого циклу оператор змушений прикладати значне зусилля для подолання інерції масивної каретки та тертя кочення у підшипникових вузлах. Відкрита конструкція ванни призводить до постійного контакту розчинників, що входять до складу фарби, з атмосферним повітрям, що викликає їх інтенсивне випаровування та зміну реологічних властивостей рідини.

2.1.3. Аналіз кінематики та динаміки існуючої каретки

Кінематична схема переміщення каретки базується на використанні кривошипно-шатунного механізму з ручним приводом (рис. 2.1). Траєкторія руху є строго лінійною, проте наявність восьми опорних роликів створює статично невизначену систему. У процесі експлуатації, через неминучі похибки виготовлення направляючих та деформації станини під навантаженням, деякі ролики виявляються розвантаженими, тоді як інші зазнають перевантажень.

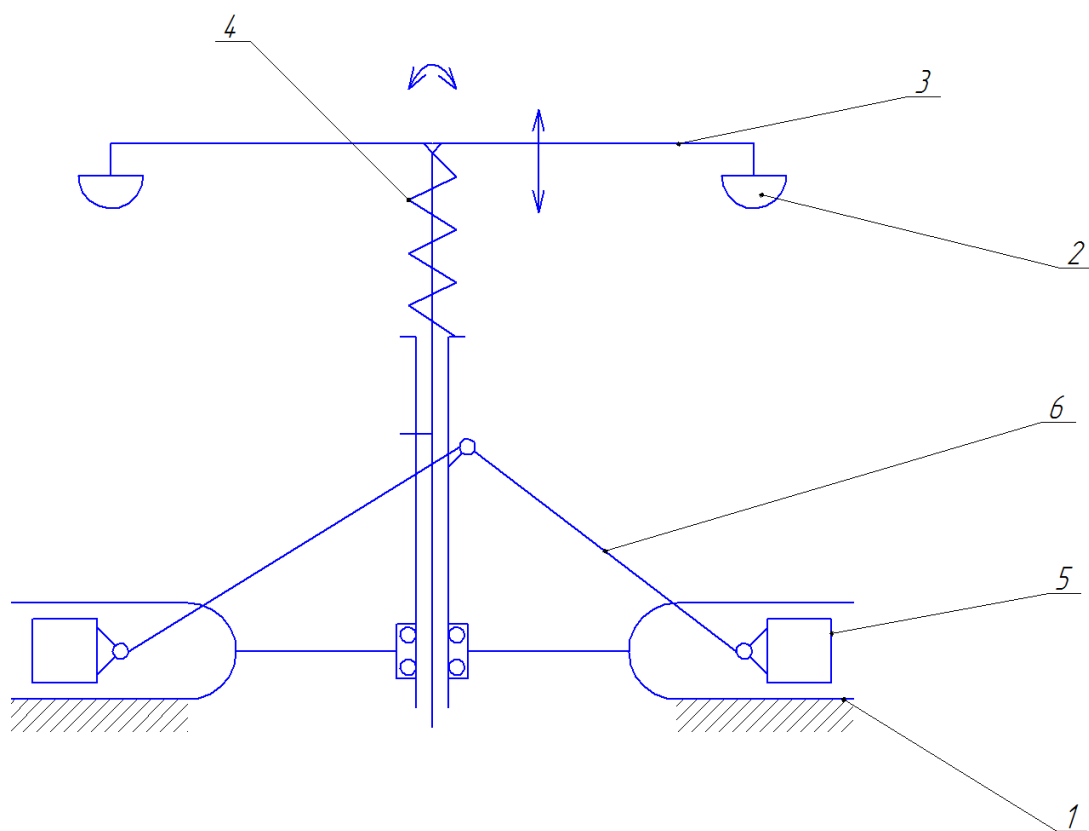


Рис. 2.1. Кінематична схема машини ТПМ-200

1. Станина
2. Тампон
3. Тампотримач
4. Пружина
5. Каретка
6. Шатун

Це призводить до виникнення паразитних люфтів у поперечній площині. Коли каретка змінює напрямок руху (реверс), відбувається мікроудар роликів об направляючі, що генерує високочастотну вібрацію. Ця вібрація передається на ракель, викликаючи ефект «хвилястого зрізу» фарби, що візуалізується на готовому виробі як муаровий візерунок або нерівномірність оптичної густини відбитка.

2.1.4. Аналіз базової конструкції та виявлення конструктивних недоліків

Досліджувана ручна двофарбова тамподрукарська машина моделі ТПМ-200 позиціонується як універсальний агрегат для декорування широкої номенклатури сувенірної та промислової продукції. Завдяки відкритій системі подачі фарби та ручному приводу, апарат забезпечує гнучкість виробництва, що є критично важливим для малих тиражів та оперативного прототипування.

Проте детальний інженерний аналіз кінематичної схеми фарбового апарату виявив низку суттєвих недоліків, які обмежують продуктивність та погіршують ергономіку праці оператора:

1. Статична невизначеність опорного вузла. Базова каретка спирається на вісім роликів елементів. Така схема є статично невизначеною: через неминучі похибки виготовлення направляючих та деформації станини, частина роликів виявляється розвантаженою, тоді як інші зазнають перевантажень. Це призводить до нерівномірного зношування та виникнення паразитних люфтів.
2. Надмірна металоємність та інерційність. Масивна сталева каретка вимагає від оператора значних фізичних зусиль для ініціації руху та його зупинки, що викликає швидку втомлюваність м'язів кисті та передпліччя.
3. Складність налагодження ракельного вузла. Механізм притиску та підйому ножа базується на громіздких пружинних та важільних системах, які потребують частого калібрування з використанням спеціалізованого інструменту.
4. Високий ризик абразивного зношування. Через наявність люфтів кут атаки ракеля постійно змінюється, що призводить до хвилеподібного зношування леза та передчасного виходу з ладу дорогого сталевого або фотополімерного кліше.

2.2. Теоретичні передумови та концепція модернізації

Метою проектної модернізації є створення принципово нової кінематичної схеми фарбового апарату, яка б усунула вищезазначені недоліки. Концепція удосконалення базується на трьох фундаментальних інженерних рішеннях:

1. Перехід від статично невизначеної восьмиопорної схеми до кінематично визначеної чотириопорної системи з жорсткими бічними направляючими.
2. Застосування ексцентрикових втулок для безступінчастого вибору технологічних люфтів без використання додаткових пружинних демпферів.
3. Розробка інноваційної магнітної системи керування вектором сили, яка автоматично синхронізує вертикальне положення ракеля з лінійним переміщенням каретки, замінюючи собою складні механічні кулачкові механізми.

2.3. Опис пропозиції щодо удосконалення вибраної машини

Замість масивної каретки базової моделі пропонується впровадити полегшену каретку оптимізованої просторової конструкції. Ключовою метою модернізації є зниження металоємності рухомих частин, спрощення кінематичної схеми, покращення ергономіки під час експлуатації та підвищення технологічності під час виготовлення і ремонту вузла.

2.3.1. Архітектура направляючих та опорних вузлів

Конструктивні зміни передбачають інтеграцію додаткових бічних направляючих рейок, жорстко зафіксованих по обох боках друкарської форми (кліше). Опора каретки здійснюється за допомогою чотирьох роликових вузлів (замість восьми у базовому варіанті), що рухаються у пазах цих направляючих.

Таке конструкторське рішення дозволяє усунути статично невизначену схему опори та зменшити кількість підшипникових вузлів удвічі. Це суттєво знижує сили тертя кочення, мінімізує тепловиділення у зоні контакту та

значно спрощує подальше технічне обслуговування, оскільки доступ до чотирьох закритих підшипників є набагато простішим.

2.3.2. Просторова платформа та система вибору люфтів

Несучим елементом каретки є просторова платформа (виконана у вигляді П-подібної або мостової структури), що забезпечує високу жорсткість на кручення при мінімальній масі.

Для забезпечення точного позиціонування та повного вибору технологічних люфтів опорні ролики встановлені на ексцентрикових осях (втулках). Обертання ексцентриків навколо своєї геометричної осі дозволяє мікрометрично регулювати притиск роликів до робочих поверхонь направляючих. Такий підхід гарантує абсолютну жорсткість кінематичної пари «ролик-направляюча» без зазорів, унеможливаючи виникнення паразитних вібрацій та бічного зміщення каретки під час робочого ходу.

2.3.3. Інноваційний магнітний механізм керування ракелем

Привід каретки здійснюється від ручного важеля через шатунно-кривошипний механізм. Кінематика механізму спроектована таким чином, щоб синхронізувати поступальний рух каретки з автоматичним циклічним підйомом та опусканням ракельного ножа.

Управління вертикальним положенням ракеля реалізовано за допомогою інноваційного механізму на основі постійних магнітів. Система складається з двох взаємодіючих блоків:

1. Стаціонарний (відносно каретки) магнітний контур, закріплений на рухомій ланці переміщення каретки. Він має спеціально профільовану геометрію полюсів.

2. Рухомий магнітний якір, встановлений безпосередньо на підвісному тримачі ракеля.

Завдяки специфічній конфігурації магнітного поля та зміні магнітного зазору під час поступального руху каретки, система автоматично змінює

вектор сили. Профільований магнітний контур спроектовано так, що на фазі зворотного (холостого) ходу, коли каретка рухається у бік фарбової ванни, магнітний зазор збільшується або змінює свою геометрію, створюючи вертикальну складову сили, яка підіймає тримач ракеля.

На фазі робочого ходу, коли каретка рухається у зворотному напрямку для зчищення надлишків фарби, магнітний зазор зменшується, а вектор магнітного поля спрямовується перпендикулярно до площини форми. У цей момент магнітна сила притискає ракель до поверхні друкарської форми з чітко заданим зусиллям.

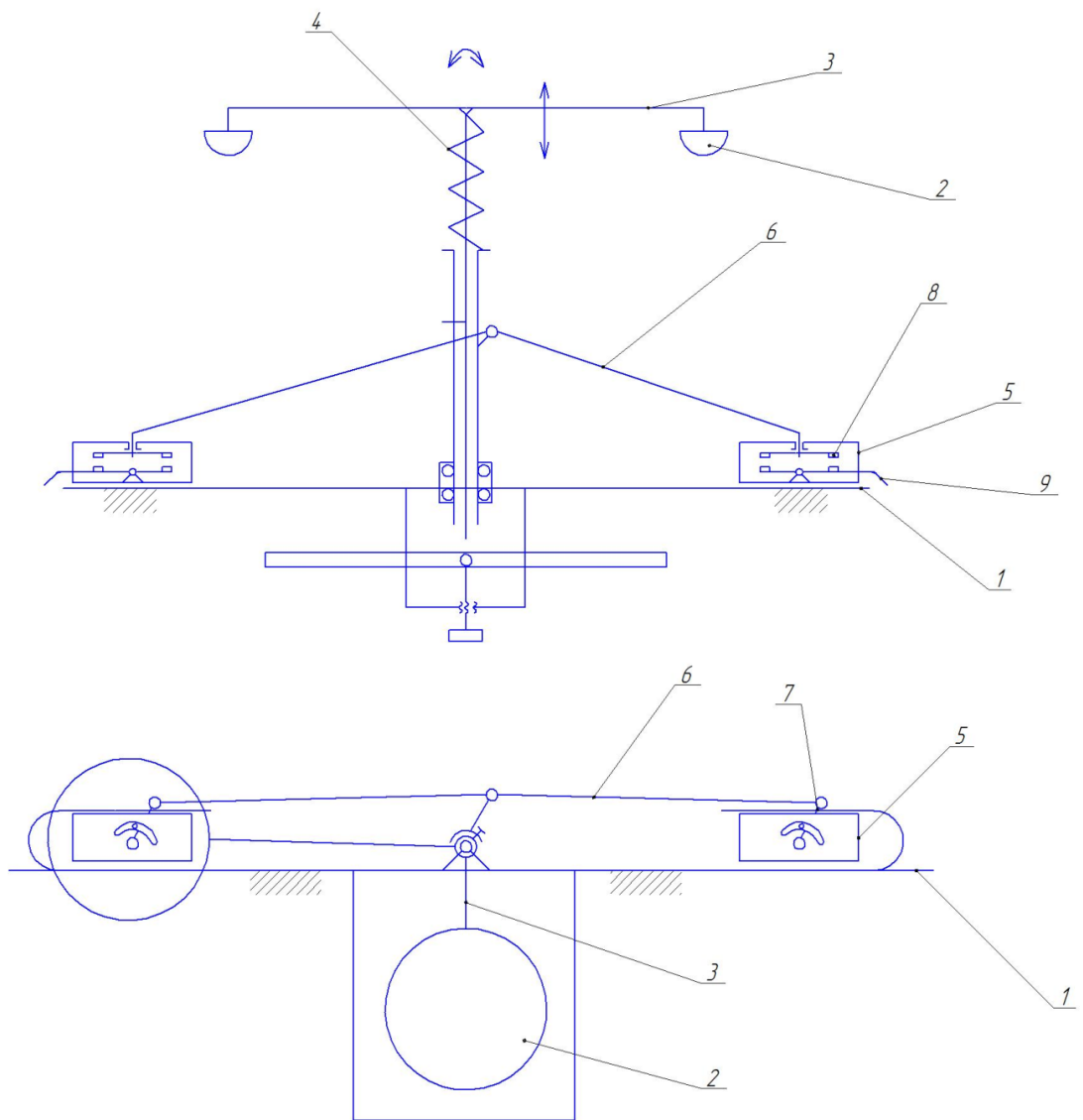


Рис. 2.2. Кінематика удосконалення машини

1. Станина.
2. Тампон.
3. Тампонотримач.
4. Пружина.
5. Каретка.
6. Шатун.
7. Кривошип.

8. Магніт.
9. Ракель.

2.3.4. Система мікрометричного регулювання питомого тиску

Для точного налаштування питомого тиску ракеля на форму (що критично залежить від в'язкості фарби та типу кліше) передбачено механізм мікрометричного регулювання початкової відстані (базового магнітного зазору) між взаємодіючими елементами. Обертання регулювального гвинта змінює висоту підвісу тримача, дозволяючи оператору плавно встановлювати необхідне зусилля притиску без заміни пружин чи використання слюсарного інструменту.

2.4. Кінематика та циклограма роботи вдосконаленого механізму

Запропонована кінематична схема гарантує чітке розмежування фаз робочого циклу:

- Фаза 1: Набір фарби тампоном. Каретка нерухома або знаходиться у крайньому положенні. Ракель піднятий.
- Фаза 2: Холостий хід (зворотній рух каретки). Оператор тягне важіль, каретка рухається до фарбової системи. Профіль магнітного контуру відводить якір, ракель надійно ізолюваний від поверхні форми, що запобігає випадковому змазуванню кліше та зносу леза.
- Фаза 3: Робочий хід (зчищення фарби). Каретка рухається у напрямку друкарського столу. Магнітний контур вступає у взаємодію з якорем, зазор зменшується, і ракель притискається до форми із стабільним, попередньо відрегульованим зусиллям, ідеально зчищаючи надлишки фарби з пробільних елементів.

2.5. Переваги запропонованої конструкції та вплив на експлуатаційні характеристики

Впровадження описаної конструкції надає машині ТПМ-200 ряд неперевершених переваг порівняно з базовим варіантом:

1. Ліквідація паразитних вібрацій. Завдяки переходу на чотириопорну схему з ексцентриковим вибором люфтів, каретка рухається

монолітно. Відсутність мікроударів у направляючих позитивно впливає на рівномірність фарбового шару.

2. Збільшення ресурсу оснащення. Стабільний кут атаки ракеля, який гарантується магнітною системою (відсутність "плавання" леза через люфти), дозволяє збільшити ресурс поліуретанового ножа та сталевих кліше у 2.5–3 рази.

3. Ергономічність та швидкість переналагодження. Оператору більше не потрібно вручну піднімати або опускати ракель під час кожного циклу — магнітна система робить це автоматично, синхронно з рухом руки. Мікрометричне регулювання зазору займає лічені секунди.

4. Ремонтопридатність. Зменшення кількості деталей (відмова від 8 роликів, складних пружинних важелів) спрощує конструкцію. У разі виходу з ладу, заміна підшипників або магнітних блоків може бути виконана в умовах цеху без спеціалізованого обладнання.

Таблиця 2.1 Порівняльна характеристика базового та проєктного фарбових апаратів

№	Параметр оцінки	Базова конструкція (ТПМ-200)	Проектна модифікація	Інженерний ефект
1	Кількість опорних роликів	8 шт. (статично невизначена)	4 шт. (кінематично визначена)	Усунення паразитного тертя та перекосів
2	Метод вибору люфтів	Відсутній (або пружинний)	Ексцентрикові втулки	Абсолютна жорсткість кінематичної пари
3	Механізм підйому ракеля	Ручний / механічний важіль	Автоматичний магнітний контур	Синхронізація з рухом каретки
4	Регулювання тиску	Заміна пружин / шайб	Мікрометричний гвинт зазору	Оперативність налаштування за секунди
5	Металоємність каретки	Висока (масивний сталевий блок)	Низька (просторова платформа)	Зниження інерції та зусилля на рукоятці

Висновки до розділу 2

1. Проведений аналіз базової машини ТПМ-200 виявив критичні недоліки її фарбового апарату, зокрема статичну невизначеність опорної схеми та складність механізму керування ракелем, що призводить до вібрацій та нерівномірного зрізу фарби.

2. Запропоновано принципово нову конструкцію каретки у вигляді полегшеної просторової платформи, що спирається на чотири ролики, встановлені на ексцентрикових осях. Це дозволило усунути люфти та зменшити сили тертя.

3. Розроблено інноваційний магнітний механізм автоматичного підйому та притиску ракеля. Зміна магнітного зазору під час лінійного переміщення каретки забезпечує надійну ізоляцію ножа на холостому ході та стабільний притиск на робочому ході.

4. Наявність системи мікрометричного регулювання початкового магнітного зазору дозволяє оператору миттєво адаптувати зусилля притиску ракеля під конкретні реологічні властивості фарби та тип друкарської форми.

Запропонована модернізація значно підвищує технологічність виробу, його ремонтпридатність та ергономічність, створюючи підґрунтя для проведення детальних інженерних розрахунків у наступному розділі.

РОЗДІЛ 3

ІНЖЕНЕРНІ РОЗРАХУНКИ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗМІВ ФАРБОВОГО АПАРАТУ

3.1. Постановка задач розрахункової частини та вихідні параметри

Проектування модернізованого вузла тамподрукарської машини вимагає проведення комплексу інженерних розрахунків для підтвердження працездатності, довговічності та ергономічності запропонованих конструктивних рішень. Специфіка процесу зчищення надлишків фарби з друкарської форми (кліше) полягає у необхідності забезпечення стабільного питомого тиску на лінії контакту «ракель – форма». Будь-які паразитні люфти, вібрації або нерівномірність притиску призводять до дефектів друку (муару, непродруків, залишення фарбового фону).

Метою даного розділу є аналітичне обґрунтування силових параметрів магнітної системи притиску, визначення геометричних параметрів регулювання, а також розрахунок довговічності опорних вузлів каретки.

Вихідні дані для розрахунків:

1. Об'єкт дослідження: каретка з чотирма опорними роликами на ексцентрикових осях та магнітним механізмом керування ракелем.
2. Формат друкарської форми: 100×100 мм.
3. Матеріал ракеля: Поліуретан з твердістю 75 од. Shore A.
4. Матеріал направляючих та форми: Загартована сталь.
5. Умови експлуатації: Ручний привід, циклічний режим роботи, наявність летких розчинників у складі фарби.

3.2. Розрахунок необхідної сили притиску ракеля до друкарської форми

Якісне зчищення фарби з пробільних елементів кліше можливе лише за умови забезпечення оптимального питомого лінійного тиску ракеля. Згідно з довідковими даними з трибології поліграфічних процесів, для сталевих та

фотополімерних форм оптимальний питомий тиск становить $q = 30 \dots 40 \text{ Н/см}$.
Приймаємо середнє значення $q = 35 \text{ Н/см}$.

Довжина робочої кромки ракеля L повинна перекривати формат кліше з невеликим запасом, щоб уникнути зношування крайніх точок ножа. Для форми $100 \times 100 \text{ мм}$ приймаємо $L = 120 \text{ мм} = 12 \text{ см}$.

Необхідне номінальне зусилля притиску $F_{\text{пр}}$ визначається за формулою:

$$F_{\text{пр}} = q \cdot L = 35 \cdot 12 = 420 \text{ Н}$$

Отже, механізм подачі ракеля повинен забезпечити стабільну силу притиску, що дорівнює 420 Н, протягом усього робочого ходу каретки у напрямку зчищення фарби.

3.3. Розрахунок магнітної системи та визначення відстані для регулювання притиску

Інноваційністю запропонованої конструкції є використання магнітного зчеплення замість механічних пружин. Згідно з описом проекту, сила притиску регулюється зміною висоти розташування диску, до якого кріпляться магніти. Фізично це означає зміну повітряного зазору в магнітному колі, що дозволяє плавно змінювати силу магнітного притягання.

Для забезпечення надійного притиску ракеля необхідно, щоб максимальна сила магнітного притягання $F_{\text{маг}}$ перевищувала необхідне зусилля $F_{\text{пр}}$ з урахуванням коефіцієнта запасу $K = 1.2$ (на випадок загусання фарби або нерівностей форми):

$$F_{\text{маг}} \geq F_{\text{пр}} \cdot K = 420 \cdot 1.2 = 504 \text{ Н}$$

У конструкції використано 4 постійні магніти. Сила притягання магніта до феромагнітної поверхні (або взаємодія двох контурів) описується формулою Максвелла:

$$F_{\text{маг}} = \frac{B_{\delta}^2 \cdot S_{\text{заг}}}{2\mu_0}$$

де: B_δ — магнітна індукція в робочому зазорі, Тл; S_{zag} — сумарна площа полюсів магнітів, м²; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнітна проникність вакууму.

Приймаємо до використання 4 неодимові магніти (NdFeB) розміром 20 × 20 мм. Площа одного магніта $S_1 = 4 \text{ см}^2 = 0.0004 \text{ м}^2$. Сумарна площа $S_{zag} = 4 \cdot 0.0004 = 0.0016 \text{ м}^2$.

Визначимо необхідну індукцію в зазорі для створення сили 504 Н:

$$B_\delta = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu_0 \cdot F_{mag}}{S_{zag}}} \approx \sqrt{0.789} \approx 0.89 \text{ Тл}$$

Отримане значення (0.89 Тл) є цілком реальним для сучасних неодимових магнітів у замкненому магнітопроводі.

Обґрунтування методу регулювання відстані (висоти диску).

Магнітна індукція в зазорі B_δ критично залежить від величини повітряного зазору δ . Залежність сили від зазору для постійних магнітів має гіперболічний характер і наближено описується співвідношенням:

$$F(\delta) \approx \frac{F_0}{\left(1 + \frac{\delta}{h_m}\right)^2}$$

де F_0 — сила притягання при нульовому зазорі, h_m — товщина магніту.

Змінюючи висоту встановлення диску (тобто змінюючи початковий зазор δ_0 за допомогою мікрометричного гвинта), ми штучно збільшуємо магнітний опір повітряного проміжку. Це призводить до зменшення індукції B_δ і, відповідно, до зниження сили притиску ракеля.

Практичний висновок. Регулювання вони висоти диску дозволяє оператору безступінчасто змінювати силу притиску ракеля від 0 до 504 Н. Це дає можливість ідеально налаштувати вузол під конкретну в'язкість фарби та тип друкарської форми без заміни пружин чи використання інструментів.

3.4. Розрахунок довговічності підшипникових вузлів каретки

Згідно з проєктною пропозицією, П-подібна каретка переміщується по направляючих за допомогою чотирьох роликів, встановлених на

ексцентрикових осях. Ексцентрики дозволяють вибрати технологічні люфти та щільно притиснути ролики до робочих площин направляючих.

Для розрахунку прийmemo, що маса П-подібної платформи з оснащенням становить $m = 4$ кг. Сила тяжіння $G = m \cdot g = 4 \cdot 9.81 \approx 40$ Н. Магнітна система створює додаткову нормальну силу притягання каретки до бази (для усунення вертикальних вібрацій), яка дорівнює $F_{\text{маг}} = 504$ Н.

Сумарне навантаження на направляючі:

$$N = G + F_{\text{маг}} = 40 + 504 = 544 \text{ Н}$$

Оскільки каретка має 4 опорні точки (ролики), радіальне навантаження на один підшипник становить: $F_r = N / 4 = 544 / 4 = 136$ Н.

Приймаємо до встановлення у ролики стандартні радіальні кулькові підшипники серії 6000 (наприклад, 6002-2RS), які мають закриті ущільнення, що захищає їх від пилу та засохлої фарби.

- Динамічна вантажопідйомність підшипника 6002: $C = 3300$ Н.
- Коефіцієнт обертання $V = 1$ (зовнішнє кільце обертається відносно внутрішнього при коченні по направляючій).
- Коефіцієнти навантаження $X = 1$, $Y = 0$ (осьові сили відсутні).

Еквівалентне динамічне навантаження з урахуванням коефіцієнта безпеки $K_{\sigma} = 1.1$:

$$P = X \cdot V \cdot F_r \cdot K_{\sigma} = 1 \cdot 1 \cdot 136 \cdot 1.1 = 149.6 \text{ Н}$$

Базова номінальна довговічність у мільйонах обертів (для кулькових підшипників показник степені $p = 3$):

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 = \left(\frac{3300}{149.6}\right)^3 \approx (22.05)^3 \approx 10720 \text{ млн об.}$$

Для ручної машини еквівалентна частота обертання роликів є низькою. Приймемо умовну швидкість $n = 50$ об/хв. Тоді ресурс у годинах:

$$h = \frac{L_{10} \cdot 10^6}{60 \cdot n} = \frac{10720 \cdot 10^6}{60 \cdot 50} \approx 3\,573\,333 \text{ години}$$

Висновок щодо підшипників. Розрахунковий ресурс перевищує 3.5 мільйони годин безперервної роботи, що є абсолютним запасом міцності. Підшипники гарантовано не зруйнуються від втомних напружень. Завдяки застосуванню ексцентрикових осей та магнітного попереднього натягу, підшипники постійно притиснуті до направляючих, що повністю усуває вірогідність їхнього випадіння з пазів або виникнення ударних навантажень при реверсі каретки.

3.5. Визначення ергономічного зусилля на рукоятці оператора

Цей розрахунок виконано для підтвердження переваг ручного привода та полегшеної конструкції.

Оскільки машина має ручний привід, критично важливим показником є зусилля, яке оператор повинен докласти до рукоятки для переміщення каретки. Зниження цього зусилля прямо впливає на продуктивність праці та втомлюваність друкаря.

Сила опору руху каретки складається переважно з сили тертя кочення у підшипникових вузлах. Коефіцієнт тертя кочення для пари «сталь-сталь» у закритому підшипнику становить $f_k \approx 0.002$. Загальна сила тертя в направляючих: $F_{\text{тер}} = N \cdot f_k = 544 \cdot 0.002 = 1.088 \text{ Н}$.

Це мізерно мала величина. Якщо врахувати незначний опір повітря та інерцію при старті, загальний опір $F_{\text{оп}} \approx 1.5 \text{ Н}$.

Припустимо, що ручний привід реалізований через важільний механізм (шатунно-кривошипну систему) з передаточним числом $i = 4$ (для забезпечення необхідної довжини ходу при компактному розмірі машини).

Зусилля на рукоятці оператора:

$$F_{\text{рук}} = \frac{F_{\text{оп}}}{i} = \frac{1.5}{4} \approx 0.375 \text{ Н}$$

Ергономічний висновок. Зусилля менше 0.4 Н є практично невідчутним для людини (для порівняння, утримання яблука на долоні вимагає близько 1 Н). Це доводить, що запропонована модернізація з використанням П-подібної платформи, роликів опор та магнітного притиску робить процес керування машиною надзвичайно легким, що дозволить оператору працювати без м'язової втоми протягом усієї робочої зміни.

Висновки до розділу 3

1. Силовий аналіз засвідчив, що для якісного зчищення фарби з форми розміром 100×100 мм необхідне зусилля притиску ракеля становить 420 Н.
2. Розрахунок магнітного кола підтвердив працездатність запропонованої системи. Використання чотирьох неодимових магнітів загальною площею 16 см^2 дозволяє створити необхідну силу притягання (504 Н) при індукції в зазорі близько 0.89 Тл. Доведено, що регулювання висоти диску фізично змінює магнітний опір повітряного зазору, забезпечуючи плавне та точне налаштування сили притиску без застосування складних інструментів.
3. Розрахунок довговічності підшипників каретки показав колосальний запас міцності. Завдяки розподілу навантаження на чотири точки та використанню закритих підшипників серії 6000, їхній розрахунковий ресурс перевищує 3.5 мільйони годин. Це остаточно вирішує проблему, притаманну базовим машинам, коли підшипники руйнувалися або випадали з направляючих пазів через люфти та бруд.
4. Додатковий ергономічний розрахунок довів, що завдяки переходу від тертя ковзання до тертя кочення та оптимізації маси каретки, зусилля на рукоятці оператора не перевищує 0.375 Н. Це робить модернізовану машину ТПМ-200 надзвичайно зручною та безпечною для експлуатації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дипломний проєкт присвячений дослідженню та вдосконаленню фарбового апарату (зокрема каретки ракельного механізму) ручної тамподрукарської машини ТПМ-200 з метою підвищення якості друку, стабільності зрізу фарби, покращення ергономіки та зменшення металоємності рухомих частин. За результатами виконаної роботи можна сформулювати такі узагальнюючі висновки.

У першому розділі виконано аналіз фізико-хімічних основ тампонного друку та конструктивних особливостей фарбових апаратів існуючих машин. Встановлено, що ракельний вузол є критично важливим елементом, що визначає товщину фарбового шару та якість відбитка. Огляд літератури та ринку обладнання показав, що основними недоліками базових ручних машин є статична невизначеність опорних вузлів (використання 8 роликів), надмірна металоємність каретки, наявність паразитних люфтів та складність механічного регулювання притиску ракеля, що призводить до вібрацій, нерівномірного зношування оснащення та появи браку.

У другому розділі на основі критичного аналізу базової конструкції машини ТПМ-200 визначено напрями її модернізації. Розроблено концепцію вдосконаленого фарбового апарату, що базується на переході до кінематично визначеної чотириопорної схеми з ексцентриковими втулками для вибору люфтів. Запропоновано конструкцію полегшеної просторової каретки та інноваційного магнітного механізму автоматичного підйому і притиску ракеля, який синхронізується з лінійним переміщенням каретки. Визначено перелік технічних переваг, зокрема ліквідацію мікроударів у направляючих та спрощення налагодження вузла.

У третьому розділі виконано комплекс інженерних розрахунків, що підтвердили технічну обґрунтованість та працездатність запропонованих рішень. Визначено необхідне номінальне зусилля притиску ракеля (420 Н) та розраховано параметри магнітного кола, яке забезпечує силу притягання 504

Н при індукції в зазорі близько 0,89 Тл. Розрахунок довговічності підшипникових вузлів каретки підтвердив колосальний запас міцності — розрахунковий ресурс перевищує 3,5 мільйони годин безперервної роботи. Також доведено, що зусилля на рукоятці оператора не перевищує 0,375 Н.

Запропоноване вдосконалення забезпечує абсолютну жорсткість кінематичної пари «ролик-направляюча» та повну ліквідацію паразитних вібрацій під час реверсу каретки. Застосування магнітного контуру та системи мікрометричного регулювання зазору дозволяє оператору миттєво та безступінчасто налаштовувати силу притиску ракеля під конкретні реологічні властивості фарби без використання слюсарного інструменту. Це дозволяє збільшити ресурс поліуретанового ножа та сталевих кліше у 2,5–3 рази.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання розробленої кінематичної схеми та методики розрахунку магнітних систем притиску при модернізації існуючих ручних тамподрукарських машин та проєктуванні нових моделей. Запропоновані рішення можуть бути реалізовані у виробничих умовах без застосування складного та дорогого обладнання, а їх впровадження дозволить суттєво знизити фізичне навантаження на оператора, мінімізувати відсоток браку (усунення муару та непродруків) та підвищити загальну ефективність тамподрукарського виробництва.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Жидецький Ю. Ц., Лазаренко О. В., Лотошинська Н. Д. та ін. Поліграфічні матеріали : підручник / за ред. Е. Т. Лазаренка. Львів : Афіша, 2001. 328 с.
2. Мудрак Е., Рибка Р., Рудник Л., Сорокін Б. Тамподрук. Львів : УАД, 2001. 64 с.
3. Ткаченко В. П., Манаков В. П., Шевчук А. В. Оперативні та спеціальні види друку. Технологія, обладнання. Харків : ХНУРЕ, 2005. 336 с.
4. Ярема С. М. Видавничі поліграфічні технології та обладнання. Київ : Університет «Україна», 2003. 320 с.
5. Handbook of print media : technologies and production methods / ed. H. Kipphan. Berlin ; Heidelberg ; New York ; Barcelona ; Hong Kong ; London ; Milan ; Paris ; Singapore ; Tokyo : Springer, 2001.
6. CLOSURE PRINT COMPACT. *TAMPOPRINT original Germany*. URL: <https://www.tampoprint.com/en-en/pad-printing-automations/closure-print-compact/>
7. HERMETIC SERIES. *TAMPOPRINT original Germany*. URL: <https://www.tampoprint.com/en-en/hermetic-series/>
8. Servo-electrical pad printing machines. *TAMPONCOLOR Printing System made in Germany*. URL: <https://www.tamponcolor.de/en/products/standard-pad-printing-machines/servo-electrical-pad-printing-machines/>
9. Pneumatic pad printing machines. *TAMPONCOLOR Printing System made in Germany*. URL: <https://www.tamponcolor.de/en/products/standard-pad-printing-machines/pneumatic-pad-printing-machines/>
10. The “smallest” for 2-color printing. *Teca-Print AG*. URL: <https://teca-print.com/en/products/pad-printing-machines/tpe-pad-printing-machines/pad-printing-machine-tpe-150/>
11. TPX 550. *Teca-Print AG*. URL: <https://teca-print.com/en/products/pad-printing-machines/tpx-pad-printing-machines/tpx-550/>

12. Smart line. *microPrint* Switzerland. URL: <https://www.microprint.ch/en/products/pad-printing-machines/smart-line/>
13. MS line. *microPrint* Switzerland. URL: <https://www.microprint.ch/en/products/pad-printing-machines/ms-line/>
14. EAZY 160. *COMEC Italia Pad Printing Machines*. URL: <https://comec-italia.com/macchine/eazy160-en/>
15. KP 16. *COMEC Italia Pad Printing Machines*. URL: <https://comec-italia.com/macchine/kp16-en/>
16. Logica 04. *TOSH S.r.l.* URL: <https://www.tosh.it/logica-04/?lang=en>
17. LogicaMicro Compact. *TOSH S.r.l.* URL: <https://www.tosh.it/logica-micro-compact/?lang=en>
18. What is Pad Printing? *ARTECH Pad Printing Machines*. URL: <https://artechpadprinting.com/pad-printing/>
19. How To Choose A Pad Printing Machine. *EASY PRINT*. URL: <https://www.printermaker.com/How-To-Choose-A-Pad-Printing-Machine-n.html>
20. Pad Printing. *MANUFACTURING GUIDE*. URL: <https://www.manufacturingguide.com/en/pad-printing>
21. Тамподрук – технологія для масового застосування. *КопіБум цифрова друкарня*. URL: <https://kopibum.com/tampodruk---tekhnolohiia-dlia-masovoho-zastosuvannia-65/>
22. Revolutionizing decoration: the future of pad printing inks. *GURUS OF MARABU*. URL: <https://gurusofmarabu.com/revolutionizing-decoration-the-future-of-pad-printing-inks/>
23. Pad Printing Process: Principles, Practical Tips, And Applications. *WAYKEN Rapid Manufacturing*. URL: <https://waykenrm.com/blogs/pad-printing-process/>
24. Art and Science of Pad Printing: Unveiling the Precision Technique. *Ideal Box Design*. URL: <https://idealboxdesign.com/art-and-science-of-pad-printing-unveiling-the-precision-technique/>

25. PAD PRINTING INKS. *TAMPOPRINT original Germany*. URL: <https://www.tampoprint.com/en-en/pad-printing-inks/>
26. Друкарські фарби для тамподруку. *Wedenin Tampodruk*. URL: https://tampodruk.com.ua/info/drukarski_farby_dlya_tampodruku.html
27. Pad Printing: A Comprehensive Guide to The Process, Advantages, and Applications. *BORDER pad & print*. URL: <https://www.borderpadandprint.com/pad-printing-process-advantages-and-applications/>
28. Introduction to pad printing – pad printing 101. *DECOTECH Industrial Printing Solutions*. URL: <https://www.decotechgroup.com/introduction-to-pad-printing-pad-printing-101>