

**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: «Удосконалення ракельного механізму трафаретної
друкарської машини»**

Виконав:

студент IV курсу, групи СМ-21

Шевчук Олександр Олександрович _____

Керівник:

Доцент кафедри МАПВ, к.т.н.

Гриценко Дмитро Сергійович _____

Рецензент:

Доцент кафедри ТПВ, к.т.н.

Коротенко Олена Володимирівна _____

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
Шевчуку Олександру Олександровичу

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. № 1860-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 друкарського обладнання з відкритими фарбовими апаратами, аналіз конструкцій ракельних механізмів, модернізація механізму ракельного механізму трафаретної друкарської машини.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Огляд трафаретних друкарських машин з відкритими фарбовими апаратами, складаний кресленик модернізації ракельного механізму, деталювання, розрахункові 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 трафаретного обладнання	01.05.2026	виконано
2	Аналіз конструкції та механізмів фарбових апаратів	10.05.2026	виконано
3	Опис запропонованої модернізації механізму приводу	15.05.2026	виконано
4	Проведення необхідних розрахунків	20.05.2026	виконано
5	Розробка креслень	01.06.2026	виконано

Студент _____ О.О. Шевчук

Керівник проєкту _____ Д.С. Гриценко

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Удосконалення ракельного механізму трафаретної
друкарської машини»

Київ – 2026 року

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт на тему: **«Удосконалення ракельного механізму трафаретної друкарської машини».**

У дипломному проєкті розглянуто сучасний стан трафаретного друкарського обладнання та проведено аналіз конструкцій ракельних механізмів, що застосовуються в трафаретних друкарських машинах. Досліджено особливості відкритих і закритих фарбових систем, конструкції друкарських апаратів, принципи роботи ракельних вузлів та методи їх технічного обслуговування.

Основною метою роботи є удосконалення ракельного механізму трафаретної друкарської машини для підвищення якості друку, стабільності роботи обладнання та зменшення експлуатаційних витрат. У роботі запропоновано нову конструкцію ракельного механізму, яка забезпечує автоматичне чергування притиснення та підйому ракеля в межах одного циклу роботи каретки.

Запропонована конструкція базується на використанні профільованої напрямної з пазами, ролика та пружної ланки, що дозволяє спростити кінематичну схему, зменшити кількість елементів механізму та підвищити його надійність. Виконано опис конструкції, принципу роботи, кінематичної схеми та циклограми роботи механізму. Проведено аналіз переваг запропонованого рішення порівняно з існуючими аналогами.

У розрахунковій частині визначено основні геометричні параметри механізму, розраховано силу притиску ракеля та параметри пружних елементів. Отримані результати підтверджують працездатність запропонованої конструкції та можливість її використання як у нових друкарських машинах, так і при модернізації існуючого обладнання.

Запропоноване вдосконалення дозволяє забезпечити рівномірний розподіл тиску ракеля, знизити вібрації, підвищити якість нанесення фарбового шару та зменшити зношування елементів друкарського вузла.

Практичне впровадження механізму сприятиме підвищенню продуктивності трафаретного друку та зменшенню витрат на обслуговування обладнання.

Ключові слова: трафаретний друк, ракельний механізм, трафаретна друкарська машина, ракель, друкарський апарат, фарбова система, механізм притиску, поліграфічне обладнання.

ABSTRACT

Bachelor's thesis on the topic: **“Improvement of the Squeegee Mechanism of a Screen Printing Machine”**.

The thesis examines the current state of modern screen-printing equipment and analyzes the designs of squeegee mechanisms used in screen-printing machines. The features of open and closed ink systems, printing unit designs, operating principles of squeegee assemblies, and methods of their maintenance are investigated.

The main objective of the work is to improve the squeegee mechanism of a screen-printing machine in order to enhance print quality, operational stability, and reduce maintenance costs. A new design of the squeegee mechanism is proposed, providing automatic alternation of pressing and lifting of the squeegee within a single carriage operating cycle.

The proposed design is based on the use of a profiled guide with grooves, a roller, and an elastic linkage, which makes it possible to simplify the kinematic scheme, reduce the number of mechanism components, and improve overall reliability. The thesis includes a description of the design, operating principle, kinematic scheme, and operation cycle diagram of the mechanism. The advantages of the proposed solution compared to existing analogues are analyzed.

In the calculation section, the main geometric parameters of the mechanism were determined, the squeegee pressing force was calculated, and the parameters of the elastic elements were selected. The obtained results confirm the operability of the proposed design and the possibility of its application both in newly manufactured printing machines and in the modernization of existing equipment.

The proposed improvement ensures a more uniform pressure distribution of the squeegee, reduces vibrations, improves the quality of ink layer application, and decreases the wear of printing unit components. Practical implementation of the mechanism will contribute to increased productivity of screen printing and reduced equipment maintenance costs.

Keywords: screen printing, squeegee mechanism, screen-printing machine, squeegee, printing unit, ink system, pressure mechanism, printing equipment.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ABSTRACT	7
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТРАФАРЕТНОГО ДРУКАРСЬКОГО ОБЛАДНАННЯ ПРЕДСТАВЛЕНОГО НА СУЧАСНОМУ РИНКУ	13
1.1. Огляд трафаретного друкарського обладнання різних виробників представлених на сучасному ринку	13
1.2. Конструкції друкарських апаратів трафаретних машин та їх характеристики, класифікація.....	27
1.3. Інші компоненти трафаретних друкарських машин	30
1.4. Методика підготовки і обслуговування друкарських апаратів трафаретних машин	32
1.5. Висновки до розділу	35
РОЗДІЛ 2. ВДОСКОНАЛЕННЯ РАКЕЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ ТРАФАРЕТНОЇ ДРУКАРСЬКОЇ МАШИНИ	37
2.1. Опис запропонованого вдосконалення	37
2.2. Схема запропонованого механізму та принцип роботи.....	39
2.3. Кінематика та циклограма роботи механізму	44
2.4. Висновки до розділу	46
РОЗДІЛ 3. ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКІВ ЗАПРОПОНОВАНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ	47
3.1. Визначення розмірів механізму.....	47
3.2. Розрахунок сили притиску ракеля.....	51
3.3. Розрахунок параметрів пружин	56
3.4. Висновки до розділу	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	66

ВСТУП

Трафаретний друк є одним із найуніверсальніших і водночас найдавніших методів нанесення зображень на поверхню. Його принцип полягає в тому, що рідка або пастоподібна фарба під дією механічного тиску продавливається через дрібну сітку, натягнуту на жорстку раму, в тих місцях, де на сітці відсутній захисний шар трафарету. Сітка виконує роль шаблону: у зображувальних ділянках вона відкрита, а в незабарвлених – закрита шаром емульсії або плівки. Рухомий ракель (гумовий або поліуретановий ніж) рівномірно розподіляє фарбу по поверхні сітки та одночасно продавлює її крізь відкриті комірки безпосередньо на субстрат – папір, тканину, пластик, скло, метал або кераміку. Технологічний процес включає кілька обов'язкових етапів: підготовку сітки (натягування на раму, знежирення), нанесення фоточутливої емульсії, експонування під ультрафіолетовим світлом через позитивний фотошаблон, проявлення трафарету, монтаж екрану на друкарську машину, безпосередній друк та сушіння відбитку. Завдяки цьому методу вдається створювати шар фарби товщиною від 10 до 100 мікрон, що забезпечує насиченість кольору, рельєфність і високу стійкість до зовнішніх впливів.

Актуальність трафаретного друку в сучасних умовах виробництва не зменшується, а навпаки, зростає. У світі, де домінують тенденції персоналізації продукції, коротких тиражів і роботи з нестандартними матеріалами, цей метод залишається незамінним. Він широко застосовується в текстильній промисловості для нанесення логотипів на одяг, у рекламній сфері для виробництва постерів, наклейок і банерів, у електроніці – для виготовлення гнучких друкованих плат, сенсорних панелей і RFID-міток, а також у пакувальній галузі та сувенірному виробництві. Зростання попиту на екологічно чисті та енергоефективні технології, перехід на УФ-відверджувані та водорозчинні фарби ще більше підсилює позиції трафаретного друку. У контексті розвитку Industry 4.0 автоматизовані трафаретні лінії інтегруються з

роботизованими системами подачі субстрату та контролю якості, що дозволяє поєднувати традиційну надійність методу з сучасними вимогами до продуктивності.

Серед головних переваг трафаретного друку слід відзначити високу універсальність: метод дозволяє працювати практично на будь-яких поверхнях – плоских, циліндричних, рельєфних і навіть гнучких. Він забезпечує відмінну адгезію та довговічність відбитків, дає можливість використовувати спеціальні ефекти (металік, флуоресцент, лакові покриття, тактильні елементи). Для малих і середніх тиражів (від кількох десятків до кількох тисяч примірників) трафаретний друк залишається економічно вигідним завдяки порівняно низькій вартості підготовки та простоті переналагодження. Водночас метод дає стабільно високу якість кольоропередачі та товщину шару, яку важко досягти іншими способами друку.

Проте трафаретний друк не позбавлений недоліків. Найсуттєвішими з них є тривалий час підготовки кожного нового дизайну (виготовлення трафарету займає від 30 хвилин до кількох годин), обмежена швидкість друку при великих тиражах порівняно з цифровим або офсетним обладнанням, а також висока залежність якості від кваліфікації оператора та стабільності роботи механічних вузлів. Знос сітки, нерівномірний тиск ракеля, зміщення реєстрації при багатоколірному друку та необхідність частого чищення обладнання призводять до додаткових витрат часу та матеріалів. Крім того, традиційні розчинникові фарби створюють певні екологічні та санітарні ризики, хоча сучасні водні та УФ-складові частково вирішують цю проблему.

Обладнання для трафаретного друку традиційно складається з декількох ключових функціональних частин. Центральним елементом є друкарська рама з натягнутою поліестеровою або нейлоною сіткою, на якій сформований трафарет. До складу машини входить ракельний механізм, що забезпечує контрольований рух і притиск ракеля, система розподілу фарби (flood bar), стіл або конвеєр для фіксації та транспортування субстрату, механізми точної

реєстрації для багатоколірного друку, а також системи автоматичного сушіння (термічні або УФ-камери). У сучасних промислових моделях додатково застосовуються пневматичні або сервоприводи, електронні системи керування тиском, кутом атаки ракеля та швидкістю його переміщення.

Особливе місце в конструкції трафаретної друкарської машини посідає саме ракельний механізм. Від точності його роботи безпосередньо залежать рівномірність товщини фарбового шару, відсутність смуг і розмазування, а також загальна продуктивність лінії. Існуючі конструкції часто мають недоліки у вигляді недостатньої жорсткості, складності регулювання кута атаки та тиску, швидкого зносу направляючих і потреби в частому технічному обслуговуванні. Ці фактори знижують стабільність процесу та обмежують можливості автоматизації.

Метою дипломної роботи є удосконалення ракельного механізму трафаретної друкарської машини з метою підвищення якості друку, збільшення продуктивності та зменшення експлуатаційних витрат. Для досягнення поставленої мети в роботі проведено аналіз існуючих конструктивних рішень, виявлено основні технічні недоліки та експлуатаційні проблеми, розроблено пропозиції щодо покращення кінематичної схеми, системи регулювання тиску та матеріалів елементів, виконано необхідні розрахунки міцності та динаміки, а також запропоновано технічне рішення, що дозволяє реалізувати покращені характеристики в промислових умовах.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ТРАФАРЕТНОГО ДРУКАРСЬКОГО ОБЛАДНАННЯ ПРЕДСТАВЛЕНОГО НА СУЧАСНОМУ РИНКУ

1.1. Огляд трафаретного друкарського обладнання різних виробників представлених на сучасному ринку

Сучасний ринок трафаретного друкарського обладнання характеризується високим ступенем диференціації за країнами-виробниками, рівнем автоматизації та особливостями конструкції фарбового апарату. Більшість промислових і напіваавтоматичних машин оснащені відкритим фарбовим апаратом (open ink system), де фарба знаходиться у відкритому просторі над сіткою, а її розподіл і продавливання здійснюється за допомогою flood bar (розподільної планки) та ракеля (squeegee). Така конструкція забезпечує простоту обслуговування, швидку зміну кольору та універсальність, але вимагає точного регулювання тиску, кута атаки та швидкості руху для уникнення розмазування чи нерівномірності шару. Нижче наведено огляд ключових виробників, згрупованих за країнами, з акцентом саме на конструкцію фарбового апарату.

Сполучені Штати Америки традиційно лідирують у сегменті високопродуктивного обладнання для текстильного та рекламного друку. Одним із провідних виробників є компанія M&R Companies (Іллінойс). Її автоматичні карусельні та овальні преси серій Gauntlet, Cobra TSE та Diamondback E оснащені сучасним відкритим фарбовим апаратом з використанням запатентованих winged floodbars (крилатих розподільних планок). Конструкція передбачає окремий рух flood bar та ракеля з незалежним регулюванням швидкості, кута атаки (tool-free adjustment з пневматичними фіксаторами) та тиску (пневматичні регулятори з манометрами на кожній друкарській головці). Flood bar утримує фарбу в центрі сітки, мінімізуючи витікання до країв рами, що суттєво зменшує ручне збирання фарби. Друкарська каретка має електричний або пневматичний привід, а система Tri-

Sync™ забезпечує точну реєстрацію. Таке рішення ідеальне для високошвидкісного багатоколірного друку на тканинах.



Рисунок 1.1.1 - M&R Cobra TSE

M&R Cobra TSE — автоматична карусельна трафаретна друкарська машина американського виробництва, призначена для багатоколірного текстильного друку. Конструкція машини передбачає багатоголовкове розташування друкарських секцій, що забезпечує високу продуктивність, точне суміщення кольорів і стабільний притиск ракеля до сітки. Машина оснащується відкритим фарбовим апаратом, електричним або пневматичним приводом, а також системами регулювання off-contact і тиску, що дозволяє отримувати якісний відбиток при серійному виробництві. Завдяки високому рівню автоматизації Cobra TSE широко застосовується на підприємствах текстильної промисловості для друку на футболках, світшотах та інших виробах з тканини.

Технічні характеристики:

Тип машини — автоматична карусельна трафаретна.

Країна виробник — США.

Призначення — багатоколірний текстильний друк.

Тип фарбового апарату — відкритий.

Привід — електричний / пневматичний.

Особливості — висока продуктивність, точна реєстрація, регулювання тиску та off-contact.

Іншим американським лідером є Anatol Equipment Manufacturing Co., відомий серіями Volt, Horizon та Titan. Фарбовий апарат цих машин також відкритий і базується на екструдованих алюмінієвих flood bars стандартного або wing-style типу. Конструкція характеризується високою жорсткістю каретки, пневматичними затискачами ракеля та flood bar, а також можливістю точного налаштування off-contact (відстані від сітки). Flood bar виконує функцію рівномірного розподілу фарби перед або після ходу ракеля, що дозволяє працювати з водорозчинними та УФ-фарбами без значних втрат.

Серед моделей цього виробника доцільно окремо виділити Anatol VOLT — повністю електричну автоматичну трафаретну машину, яка поєднує високу продуктивність, точне електронне керування та стабільну роботу друкарських головок.



Рисунок 1.1.2 - Anatol VOLT

Anatol VOLT — повністю електрична автоматична трафаретна машина для друку, призначена для високопродуктивного багатоколірного текстильного друку. Машина має карусельну компоновку з багатоголовковим розташуванням друкарських секцій, що забезпечує точне суміщення кольорів, стабільний притиск ракеля та високу повторюваність друку. На відміну від пневматичних аналогів, VOLT не потребує компресора або чиллера, оскільки працює на сервоприводах, що підвищує енергоефективність і знижує експлуатаційні витрати. Конструкція передбачає сенсорне керування, цифрове регулювання off-contact, безінструментальне налаштування ходу друку та мікрореєстрації, а також можливість швидкого налаштування під різні формати й кількість кольорів. Завдяки цим особливостям машина широко застосовується для друку на футболках, світшотах та іншій текстильній продукції.

Технічні характеристики Anatol VOLT:

тип машини — автоматична карусельна трафаретна друкарська машина;

принцип приводу — повністю електричний, сервопривідний;

система керування — цифрова, з сенсорними панелями на кожній друкарській головці;

кількість станцій — залежно від комплектації, з можливістю багатоколірного друку;

максимальний формат друку — до 20" × 28" у розширених конфігураціях;

система подачі й підйому головок — сервокерована;

регулювання — точне налаштування тиску ракеля, ходу друку та off-contact;

експлуатаційні особливості — не потребує компресора, знижує енергоспоживання та витрати на обслуговування;

сфера застосування — високопродуктивний текстильний друк на футболках, світшотах, рекламному одязі.

Workhorse Products (США) пропонує серії Sabre та Mach з аналогічним відкритим фарбовим апаратом, де акцент зроблено на швидку заміну flood bar та ракеля без інструментів.

Європейські виробники акцентують увагу на промисловій надійності та прецизійності для графічного та промислового друку. Німецька компанія Thieme (серії 3000, 5000 та Vision) спеціалізується на плоских та $\frac{3}{4}$ -автоматичних машинах для великих форматів. Фарбовий апарат Thieme - класичний відкритий тип з пневматичним приводом ракеля та flood coater. Конструкція включає пневматичні циліндри для інверсії ракель/flood, безконтактне регулювання кута атаки (без втрати контакту з сіткою) та програмоване керування швидкістю, ходом і тиском через сенсорний дисплей SPC. Додатково застосовується anti-drip unit для запобігання краплинню фарби. Система забезпечує автоматичне вирівнювання паралельності ракеля щодо столу, що критично важливо для рівномірного шару на жорстких субстратах (скло, пластик, метал).

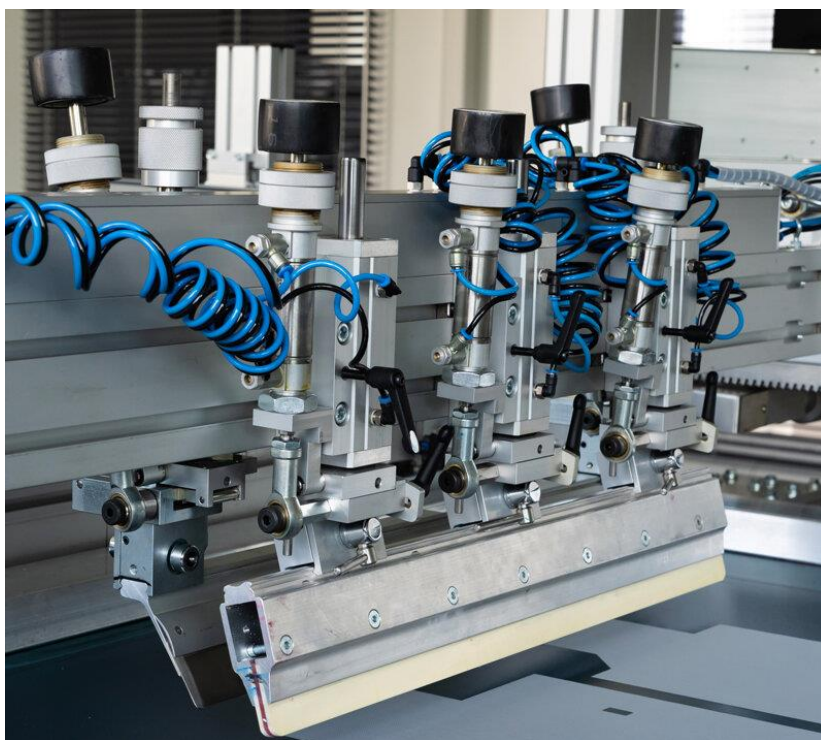


Рисунок 1.1.3 - Ракельний вузол трафаретної друкарської машини
Thieme

Для машин серій 3000, 5000 та Vision характерні пневматичний привід ракельного вузла, відкритий фарбовий апарат і точне програмоване керування параметрами друку. На рисунку показано друкарську головку з ракелем та пневматичними елементами регулювання, що забезпечують стабільний притиск ракеля, рівномірний розподіл фарби та високу якість друку на жорстких субстратах.

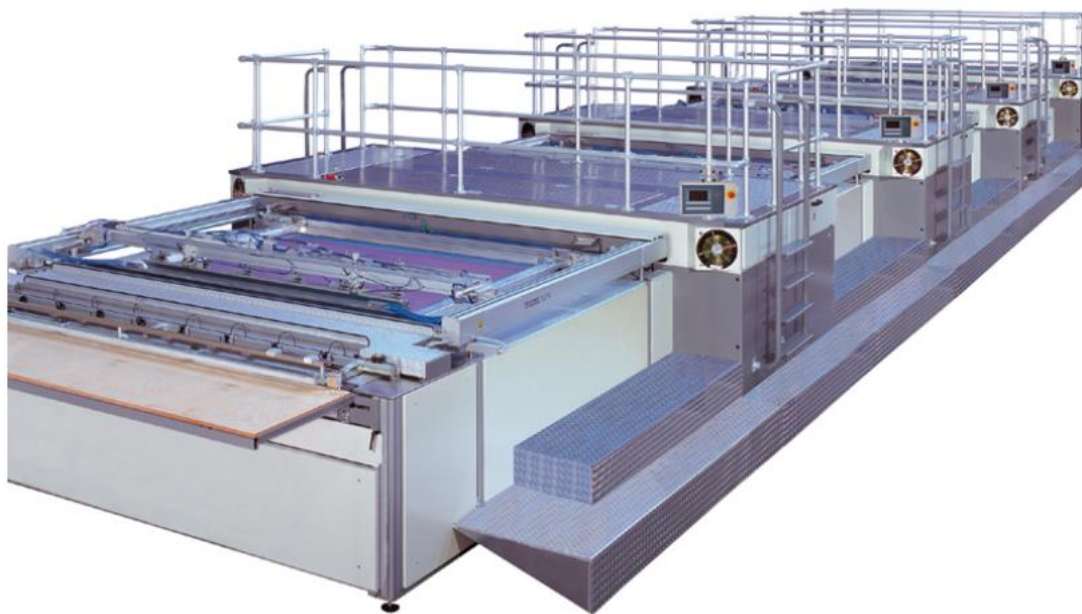


Рисунок 1.1.4 - Thieme 5000

Thieme 5000 — модульна багатоколірна трафаретна друкарська лінія, що має 2–6 друкарських станцій і призначена для великоформатного друку на жорстких субстратах. Залежно від комплектації машина забезпечує формат друку від 750×1050 мм до 1600×2600 мм, а максимальний формат аркуша — до 1660×2660 мм. Формат сіткової рами становить від 1200×1400 мм до 2200×3200 мм. Машина працює з матеріалами товщиною 0,1–6 мм і масою 120–3000 г/м². Швидкість руху ракеля складає 0,3–1,5 м/с, а точність налаштування сітки по осях X-X-Y — ± 5 мм, що забезпечує високу якість друку та стабільність технологічного процесу.

Технічні характеристики Thieme 5000:

Тип машини — модульна трафаретна друкарська лінія плоского типу.

Кількість друкарських станцій — 2–6.

Формат друку — від 750×1050 мм до 1600×2600 мм залежно від модифікації.

Максимальний формат аркуша — від 800×1100 мм до 1660×2660 мм.

Формат сіткової рами — від 1200×1400 мм до 2200×3200 мм.

Товщина запечатаного матеріалу — 0,1–6 мм.

Точність налаштування сітки по осях X-X-Y — ± 5 мм.

Швидкість руху ракеля — 0,3–1,5 м/с.

Маса запечатаного матеріалу — 120–3000 г/м².

Робочий грейферний край — приблизно 8 мм.

Португальська компанія ROQ (серії You, Rock та Oval) є одним із лідерів у Європі в сегменті високошвидкісних овальних автоматів. Відкритий фарбовий апарат ROQ оптимізований для водорозчинних фарб: flood bar та ракель мають незалежні сервоприводи, пневматичні затискачі та електронне регулювання off-contact. Конструкція друкарської головки модульна, з акцентом на мінімальну вібрацію та точну реєстрацію, що дозволяє досягати продуктивності понад 1000 відбитків/годину.



Рисунок 1.1.5 - ROQ PRINT YOU – kolormatrix

Серія ROQ YOU призначена для універсального використання та може застосовуватися як на невеликих, так і на великих виробництвах. Машина

має модульну конструкцію, завдяки якій може виконуватися в різних конфігураціях за кількістю кольорів і палет, а також у двох основних варіантах — М і XL. Для ROQ YOU характерні незалежні панелі керування на друкарських головках, система мікрореєстрації, електричний привід ракеля з регулюванням швидкості та центральна сенсорна панель керування. Таке технічне виконання забезпечує зручність налаштування, точне суміщення зображення та високу повторюваність друку при серійному виробництві.

Технічні характеристики ROQ YOU:

палети з алюмінієвим стільниковим заповненням;
ракелі з електричним приводом і регулюванням швидкості через частотний перетворювач;
незалежні панелі керування на всіх друкарських головках;
вибір способу кріплення сітки: пневматичний затиск типу “U” або штифтовий механізм;
центральний підйом друкарських головок;
система повороту з частотним приводом для швидкого та плавного індексування;
друкарські головки з підвищеним положенням підйому для швидкого очищення сіток;
центральна панель керування з кольоровим LCD сенсорним дисплеєм;
система мікрореєстрації сіток із нониусною шкалою;
індивідуальне керування швидкістю друку та flood, висотою, кутом ракеля і довжиною ходу.
кількість кольорів — 4–20;
кількість палет — 8–22;
максимальна продуктивність — до 1000 відбитків/год;
максимальний формат друку — до 850 × 1000 мм або 20 × 28" залежно від моделі.

Австрійська MНМ Industries (карусельні та овальні преси) також використовує відкритий фарбовий апарат з акцентом на швидку пререєстрацію та стабільний тиск ракеля.

Азійські виробники представлені насамперед Тайванем та Китаєм і домінують у сегменті доступного обладнання. Тайванська компанія АТМА (моделі АТ-120Р та ОЕ/СЕ серії) пропонує промислові плоскі преси з відкритим фарбовим апаратом, де flood bar і ракель інтегровані в жорстку каретку з прецизійними направляючими без люфту. Система підтримує три режими flood (до/після друку або обидва), сенсорне керування та точне регулювання тиску. Конструкція дозволяє працювати з великими форматами та жорсткими матеріалами.

Китайські виробники (компанії типу Jinbao, Jiuhong, Cnding та численні OEM-заводи, представлені на виставках SDPE China) масово пропонують бюджетні аналоги з відкритим фарбовим апаратом. Конструкція зазвичай базується на пневматичному або сервоприводі, алюмінієвих flood bars та стандартних ракелях. Хоча точність регулювання дещо нижча, ніж у європейських чи американських аналогах, машини вирізняються низькою вартістю, простотою обслуговування та можливістю швидкого масштабування. Багато моделей оснащені CNC-елементами для автоматизації ходу ракеля.



Рисунок 1.1.6 - Jinbao JB-1050AG

JB-1050AG — це повністю автоматична трафаретна друкарська машина типу stop-cylinder, призначена для високошвидкісного друку на аркушевих матеріалах. Модель поєднує класичний принцип зупинки циліндра з сучасними елементами автоматизації, що дає змогу досягати високої точності позиціювання та стабільної якості відбитка. Машина орієнтована насамперед на друк у пакувальній, рекламній, етикетковій, керамічній та трансферній сферах, а також може застосовуватися в електронній та текстильній промисловості.

Особливістю JB-1050AG є безперервна подача та безперервний прийом аркушів, завдяки чому усуваються простой, пов'язані із зупинкою машини під час завантаження та збирання матеріалу. Це підвищує продуктивність більш ніж на 30% порівняно з традиційним режимом роботи. Конструкція оснащена висувною рамою для сітки, що спрощує суміщення, регулювання подачі, очищення друкарського вузла та зменшує ризик забруднення фарбою. Окремо слід відзначити полегшений друкарський циліндр, масу якого зменшено, що знижує вібрації та підвищує стабільність роботи машини.

Технічні характеристики

Тип машини — повністю автоматична трафаретна друкарська машина типу stop-cylinder.

Максимальний формат матеріалу — 1050×760 мм.

Мінімальний формат матеріалу — 560×350 мм.

Максимальний формат друку — 1050×750 мм.

Розмір друкарської сітки — 1300×1170 мм.

Максимальна висота стопи — 900 мм.

Щільність матеріалу — 90–420 г/м².

Точність суміщення — 0,10 мм.

Робочий відступ поля — до 10 мм.

Швидкість друку — 800–4000 аркушів/год.

Живлення — 3Р, 380 V, 50 Hz.

Потужність — 12,97 кВт.

Маса машини — 6500 кг.

Габаритні розміри — $6,4 \times 3,06 \times 2,06$ м.

машина має автоматичний подавач без зупинки;

застосовує вакуумно-подаючий вузол для стабільного транспортування аркушів;

обладнана системою керування PLC і сенсорним пультом;

підтримує роботу в складі автоматичної лінії разом із UV-сушкою та стекером.



Рисунок 1.1.7 - CNDING H9PRO

CNDING H9PRO є сучасною повносервопривідною овальною трафаретною друкарською машиною, призначеною для високоточного багатоколірного друку на текстильних виробах, кроєних деталях, взуттєвих матеріалах, а також на інших плоских або напівплоских субстратах. Конструкція машини побудована за модульним принципом, що дає змогу змінювати кількість друкарських станцій і палет відповідно до потреб виробництва. Завдяки повному сервоприводу, незалежному керуванню друкарськими вузлами та високоточній системі реєстрації обладнання забезпечує стабільне суміщення фарб навіть при тривалій роботі в серійному режимі.

Суттєвою перевагою H9PRO є поєднання високої продуктивності та економічності. Машина здатна працювати з великою кількістю кольорів і палет, забезпечуючи до 700 відбитків за годину в базовій продуктивній конфігурації NB-16 colors. Це дозволяє використовувати її на підприємствах, де важливі не лише якість друку, а й швидкість виконання великих замовлень. Окремо варто відзначити енергозберігаючі серводвигуни, низький рівень шуму, високу стабільність роботи та можливість інтеграції в автоматизовані виробничі лінії. Саме тому H9PRO є типовим прикладом сучасного китайського обладнання, яке поєднує технологічність, універсальність і відносно доступну вартість.

Технічні характеристики

Тип машини — повносервопривідна овальна трафаретна друкарська машина.
Призначення — друк на текстильних виробах, кроєних деталях, взуттєвих матеріалах.

Кількість кольорів — 6–24.

Кількість палет — 24–78.

Розмір друку — 60 × 70 см.

Продуктивність — до 700 pcs/h.

Точність реєстрації — ±0,01 мм.

Споживання електроенергії — 4,5–14,0 кВт.

Споживання повітря — 350–1700 л/хв.

Маса — 6000–15000 кг.

Сертифікація — CE, ISO9001.

Кількість патентів — 38+.



Рисунок 1.1.8 - АТМА АТ-120Р

АТМА АТ-120Р належить до серії електричних плоских трафаретних друкарських машин, призначених для високоточного друку на листових матеріалах середнього формату. Обладнання цього типу використовується для друку на гнучких і жорстких основах, зокрема на мембранних перемикачах, гнучких друкованих платах, табличках, рекламних панелях, наклейках, деколях, постерах, пластикових і скляних виробках. Завдяки двохстосній конструкції, вакуумному столу та електричному переміщенню друкарського вузла машина забезпечує стабільне суміщення, рівномірний хід ракеля та точне нанесення фарби на великі формати.

Конструкція АТ-120Р побудована на алюмінієвому екструдованому профілі, що поєднує високу жорсткість і відносно малу масу. Така схема підвищує точність рухів і дозволяє працювати з важчими рамами та більшими аркушами без втрати стабільності. Для безпеки оператора машина оснащується захисними елементами, а система керування НМІ дає змогу швидко вибирати режими друку, здійснювати налаштування та діагностику помилок. Наявність сервоприводу друкарського ходу, мікрорегулювання та

опцій на кшталт пневматичного реєстраційного штифта робить АТ-120Р зручним рішенням для серійного виробництва з високими вимогами до якості.

У виробничій практиці АТ-120Р поєднує відносно високу продуктивність і універсальність, тому її застосовують у графічному друці, електроніці, скляній промисловості та виробництві декоративної продукції. На відміну від простіших напівавтоматичних машин, ця модель орієнтована на точний повторюваний друк середніх і великих форматів, що робить її доцільною для підприємств, де важливі стабільність процесу, зручність налаштування та якість відбитка.

Технічні характеристики

Тип машини — електричний плоский трафаретний друкарський верстат.

Призначення — гнучкі та жорсткі листові матеріали.

Максимальна друкарська площа — 700×1200 мм.

Максимальний розмір рами — 1000×1500 мм.

Розмір столу — 800×1400 мм.

Товщина субстрату — 0–25 мм.

Продуктивність — 480 р/х.

Споживання електроенергії — 3,3 кВт.

Споживання повітря — 3,0 л/цикл.

Маса — 980 кг.

Габарити — $1900 \times 1400 \times 1750$ мм.

Таким чином, сучасне трафаретне обладнання демонструє тенденцію до вдосконалення відкритого фарбового апарату шляхом впровадження сервоприводів, пневматичних фіксаторів, winged floodbars та електронного контролю параметрів. Американські та європейські виробники акцентують на прецизійності та продуктивності, тоді як азійські - на доступності та універсальності. Вибір конкретної моделі залежить від обсягів виробництва, типу субстрату та вимог до товщини фарбового шару.

1.2. Конструкції друкарських апаратів трафаретних машин та їх характеристики, класифікація

Друкарський апарат (printing head) є центральним функціональним вузлом трафаретної машини і безпосередньо відповідає за нанесення фарби через сітку. Його конструкція визначає якість відбитку, продуктивність і стабільність процесу. Класифікацію друкарських апаратів проводять за кількома ознаками:

1. За типом фарбової системи:

- Відкрита фарбова система (open ink system) – фарба знаходиться у відкритому просторі над сіткою, розподіляється фарбонаносним ракелем (flood bar) і продавливається основним ракелем. Найпоширеніша в текстильному та графічному друку завдяки простоті обслуговування та швидкій зміні кольору.
- Закрита фарбова система (closed ink system) – фарба міститься в герметичній камері з двома або трьома ракелями. Використовується в промисловому друку на жорстких субстратах, забезпечує мінімальні втрати фарби та стабільність в'язкості.

2. За кількістю та типом ракельних елементів:

- Одноракетельна система (flood bar + один основний ракель).
- Дво- та триракетельні системи (додатковий фарбоочисний/зворотний ракель для збирання надлишків фарби або зворотного ходу).
- Сучасні інновації: double-blade або triple-blade ракелі з комбінованими шарами різної жорсткості.

3. За типом приводу: пневматичний, електромеханічний, сервопривідний (з незалежним керуванням швидкості, тиску та кута атаки).

Основний ракель (squeegee blade) – це гнучкий ніж (зазвичай поліуретановий), закріплений у жорсткому алюмінієвому або композитному тримачі. Він забезпечує продавливання фарби крізь відкриті комірки сітки.

Фарбонаносний ракель (flood bar) – це алюмінієва або крилата планка, яка рівномірно розподіляє фарбу по поверхні сітки перед ходом основного ракеля, запобігаючи накопиченню в кутах. Фарбоочисний (clean-up або reverse) ракель – додатковий елемент, що працює в зворотному напрямку, знімаючи надлишки фарби та запобігаючи розмазуванню.

Схема типового відкритого друкарського апарату з flood bar та основним ракелем показана на мал. 1.2.1. Каретка рухається лінійно вздовж направляючих, flood bar опускається першим для розподілу фарби, потім основний ракель під кутом 45° – 60° продавлює фарбу.

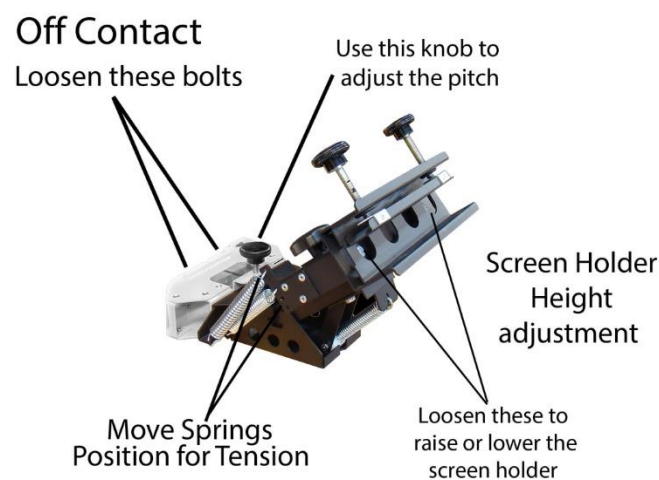


Рисунок 1.2.1 - Vastex V1000 Manual Press - Welcome to Florida Flexible Screen Printing Products

Сучасні конструкції ракельних вузлів (наприклад, RKS System) передбачають швидкоз'ємні тримачі з точним регулюванням тиску та паралельності



Рисунок 1.2.2 - RKS System Screen Printing Squeegees

Багатошарові ракелі (single / dual / triple layering) дозволяють поєднувати м'який шар для великого відкладення фарби та твердий для чіткості краю (мал. 1.2.2).

Відкрита фарбова система з фарбонаносним ракелем (flood bar) і основним ракелем залишається найбільш поширеним рішенням завдяки своїй конструктивній простоті та відносно низькій вартості. Така система забезпечує швидку зміну кольору фарби, що особливо важливо при роботі з невеликими та середніми тиражами, а також демонструє високу універсальність - вона стабільно працює з фарбами різної в'язкості, від дуже рідких водорозчинних до густих пластизолів. Однак відкритій системі притаманні й суттєві недоліки. Через відкритий простір над сіткою спостерігаються підвищені втрати фарби, особливо по краях рами. Якість друку сильно залежить від в'язкості фарби та швидкості руху каретки, що вимагає постійного ручного втручання оператора для збирання надлишків фарби та запобігання її висиханню.

На противагу цьому замкнута (камерна) система з фарбоочисним ракелем забезпечує значно вищу ефективність використання матеріалів. Вона дозволяє зменшити витрати фарби на 30–40 % завдяки герметичній камері, яка підтримує стабільну в'язкість протягом усього циклу друку. Така конструкція дає можливість працювати на вищих швидкостях, зменшує забруднення

машини та навколишнього середовища, а також забезпечує більш рівномірне нанесення шару. Водночас закрита система складніша в обслуговуванні, має вищу початкову вартість і гірше підходить для дуже в'язких або швидко висихаючих фарб, оскільки обмежує доступ оператора до фарби під час роботи.

Окремої уваги заслуговують багат шарові (dual і triple layering) ракельні пластини. Вони дозволяють точно керувати товщиною нанесеного шару фарби, поєднуючи м'які шари для максимального відкладення з твердими шарами для чіткості краю. Такі ракелі характеризуються меншим зносом і дають змогу стабільно працювати на високих швидкостях без втрати якості. Головними їхніми недоліками є значно вища вартість порівняно зі звичайними одношаровими пластинами, а також складніша процедура заточування та заміни.

Незалежно від типу системи критичними параметрами роботи будь-якого ракельного механізму залишаються кут атаки, тиск, швидкість ходу каретки та відстань off-contact. Оптимальний кут атаки зазвичай становить 45° , хоча в деяких випадках його змінюють у межах $30\text{--}60^\circ$ залежно від завдання. Тиск ракеля коливається в діапазоні 20–45 PSI. Відстань між сіткою та субстратом (off-contact) зазвичай становить 1–3 мм. Порушення хоча б одного з цих параметрів негайно призводить до появи дефектів: нерівномірних смуг, недостатнього відкладення фарби в окремих ділянках, розмазування контурів або, навпаки, надмірного проштовхування фарби крізь сітку. Тому стабільність і точність регулювання ракельного механізму безпосередньо визначають загальну якість трафаретного друку.

1.3. Інші компоненти трафаретних друкарських машин

Крім друкарського апарату, трафаретна машина включає низку важливих елементів, які забезпечують комплексну роботу всієї системи. Рама з сіткою є базовим носієм трафарету. Вона виготовляється з алюмінієвого профілю або сталі з високою жорсткістю і несе на собі поліестерову або

нейлонову сітку з різною щільністю (від 34 до 230 ниток на сантиметр). Стіл або карусель для субстрату забезпечує точну фіксацію матеріалу, найчастіше за допомогою вакуумної системи або механічних упорів. Система реєстрації, що складається з мікрометричних штирів або лазерних датчиків, гарантує точне суміщення кольорів з точністю до 0,05 мм. Система сушіння (термічні тунелі або УФ-камери) закріплює відбиток відразу після нанесення. Сучасні машини оснащені системами автоматичного керування на базі PLC-контролерів із сенсорними панелями, які дозволяють програмувати всі основні параметри друку.

Як приклади конкретних рішень для кожного вузла: у системах реєстрації M&R Companies застосовується фірмова технологія Tri-Sync™, що забезпечує реєстрацію з точністю $\pm 0,1$ мм навіть при швидкостях понад 1000 відб./год. На машинах Thieme серії 5000 використовуються вакуумні столи формату до 2000×3000 мм з регульованим рівнем вакууму (0–50 мбар) для роботи з матеріалами товщиною від 0,05 до 50 мм. Системи УФ-сушіння компанії IST Metz (Німеччина) та GEW (Велика Британія) забезпечують густину потужності до 300 Вт/см і використовуються в парі з машинами ROQ та Svecia для миттєвого відверджування УФ-фарб. Системи керування на базі Siemens S7 або Beckhoff TwinCAT встановлюються на більшості сучасних промислових машин і дозволяють зберігати до 999 технологічних рецептів у пам'яті контролера.

Кожен із цих компонентів має свої переваги та недоліки. Вакуумні столи забезпечують відмінну фіксацію тонких матеріалів, але обмежені за форматом. Автоматичні системи реєстрації значно підвищують точність багатоколірного друку, але збільшують вартість обладнання. Загальна ефективність машини значною мірою залежить від узгодженої роботи всіх вузлів з ракульним механізмом.

1.4. Методика підготовки і обслуговування друкарських апаратів трафаретних машин

Підготовка та технічне обслуговування друкарського апарату, і зокрема його ракельного механізму, відіграють визначальну роль у забезпеченні стабільної якості трафаретного друку, підвищенні продуктивності обладнання та продовженні терміну його експлуатації. Оскільки ракельний механізм є одним із найбільш навантажених і чутливих вузлів трафаретної машини, від правильності його підготовки та регулярності обслуговування безпосередньо залежить рівномірність товщини фарбового шару, чіткість контурів відбитку, відсутність таких поширених дефектів, як смуги, розмазування, недостатнє або надмірне відкладення фарби, а також передчасний знос сітки та ракельної пластини.

Процес підготовки ракельного механізму до роботи починається з ретельного вибору та перевірки стану ракельної пластини. Сучасні ракелі виготовляються переважно з високоякісного поліуретану, твердість якого за шкалою Shore A коливається в широких межах - від 60–65 одиниць для роботи з текстильними матеріалами та товстими шарами фарби до 80–90 одиниць для високоточних робіт на жорстких субстратах, таких як скло, метал або пластик. Для особливо відповідальних робіт все частіше застосовуються багат шарові (dual- та triple-durometer) ракельні пластини, які поєднують м'який внутрішній шар для максимального відкладення фарби з твердим зовнішнім шаром, що забезпечує чіткість краю відбитку. Перед встановленням ракеля обов'язково проводиться візуальний та інструментальний контроль його робочої кромки. Край пластини повинен бути ідеально рівним, без задирів, вм'ятин і хвиль. Заточування виконується на спеціалізованому обладнанні або вручну з використанням дрібнозернистих абразивних матеріалів. Важливо уникати перегріву поліуретану, оскільки це призводить до втрати пружних властивостей матеріалу.

Після перевірки та заточування ракельна пластина встановлюється в тримач. Особливу увагу приділяють відсутності перекосів і забезпеченню рівномірного прилягання пластини по всій довжині. У випадку використання вдосконаленого ракельного механізму, розробленого на основі корисної моделі для трафаретних друкарських машин, додатково перевіряється стан важеля з роликом, надійність кріплення пружної ланки та якість поверхні напрямної з пазами. Тримач ракеля повинен вільно обертатися навколо своєї осі, а ролик - плавно переміщуватися по пазах напрямної без заклинювання.

Наступним критично важливим етапом є точне регулювання технологічних параметрів ракельного механізму. Кут атаки ракеля зазвичай встановлюється в межах 30–60°, з оптимальним значенням близько 45°. Залежно від типу фарби, щільності сітки та характеру субстрату цей кут може коригуватися. Надто гострий кут призводить до недостатнього продавливання фарби, а надто тупий - до розмазування та швидкого зносу сітки. Тиск ракеля, який регулюється пневматичними або механічними системами, зазвичай знаходиться в діапазоні 1,4–3,1 бар (20–45 PSI). Надмірний тиск не тільки прискорює знос обладнання, але й може спричинити деформацію сітки та появу «привидів» на відбитку. Не менш важливим параметром є відстань off-contact між сіткою та субстратом, яка в більшості випадків становить 1–3 мм. Забезпечення паралельності ракеля відносно друкарського столу або каруселі перевіряється за допомогою точних вимірювальних інструментів з точністю не нижче 0,05 мм.

Після регулювання параметрів проводиться підготовка flood bar (фарбонаносної планки). Її поверхня повинна бути чистою та рівною, а висота встановлення - забезпечувати рівномірний розподіл фарби по всій площі сітки перед робочим ходом ракеля. Завершальним етапом підготовки є виконання тестових відбитків на пробному матеріалі. Під час тестового друку оператор уважно аналізує якість нанесення фарби, рівномірність шару, чіткість контурів і відсутність характерних дефектів. За результатами тестів проводиться остаточне коригування всіх параметрів.

Обслуговування друкарського апарату повинно носити системний характер і виконуватися відповідно до інтенсивності експлуатації обладнання. Після завершення робочої зміни обов'язково проводиться повне очищення ракеля, flood bar, каретки та направляючих від залишків фарби. Для пластизольних фарб використовуються спеціальні розчинники, для водорозчинних - вода з відповідними мийними засобами. Залишки фарби, що засохли, не тільки погіршують якість наступного друку, але й можуть стати причиною пошкодження сітки та ракельної пластини. Після очищення ракельна пластина протирається насухо і візуально контролюється на наявність пошкоджень.

Щотижневе технічне обслуговування включає більш глибоку перевірку стану механічних елементів. Особливу увагу приділяють направляючим каретки, які змащуються відповідними мастилами. У випадку вдосконаленого механізму з профільованою напрямною обов'язково перевіряється стан пазів, якість поверхні ролика, надійність пружини та правильність роботи сходинки в прорізах, яка забезпечує спрямований рух ролика. Несвоєчасне виявлення зносу цих елементів може призвести до порушення стабільності тиску та появи дефектів друку.

Щомісячне профілактичне обслуговування передбачає часткове або повне розбирання ракельного вузла. Виконується перевірка жорсткості каретки, виявлення люфтів у напрямних, калібрування приводів, заміна зношених ущільнень і підшипників. Ракельні пластини рекомендується періодично ротувати - мати в роботі не менше трьох-чотирьох комплектів, що дозволяє кожному з них «відпочивати» і відновлювати свої механічні властивості.

Особливості обслуговування запропонованого вдосконаленого ракельного механізму пов'язані з його оригінальною конструкцією. Регулярному контролю підлягає стан профільованої напрямної, особливо похилих прорізів зі сходинкою, які забезпечують автоматичний підйом і опускання ракеля. Необхідно стежити за тим, щоб ролик плавно переходив з

нижнього паза у верхній і навпаки без застрягання. Також контролюється сила натягу пружної ланки, оскільки її ослаблення або надмірне затягування порушує стабільність притиску ракеля до сітки.

Контроль якості роботи ракельного механізму здійснюється як візуально, так і за допомогою інструментальних методів. Оператор регулярно оцінює рівномірність товщини нанесеного шару фарби, чіткість краю відбитку, відсутність смуг і розмазування. У сучасних автоматизованих лініях для цього використовуються датчики тиску, оптичні системи контролю та програмне забезпечення, яке фіксує відхилення параметрів у реальному часі.

Правильне зберігання ракельних пластин також є важливою складовою ефективної експлуатації. Пластини слід зберігати в розпрямленому стані, в горизонтальному положенні, при температурі 15–25 °С і відносній вологості повітря 40–60 %. Захист від прямого сонячного світла та агресивних хімічних речовин дозволяє суттєво продовжити термін їхньої придатності.

Таким чином, чітко організована система підготовки та технічного обслуговування друкарського апарату, з особливим акцентом на ракельний механізм, є запорукою стабільної високої якості трафаретного друку. Впровадження вдосконаленого механізму з профільованою напрямною вимагає певної адаптації методики обслуговування, але водночас дозволяє спростити деякі операції та підвищити загальну надійність обладнання. Своєчасне виконання всіх регламентних робіт дає можливість збільшити ресурс ракельного механізму на 30–50 %, знизити витрати на матеріали та значно зменшити кількість браку в процесі виробництва.

1.5. Висновки до розділу

Автоматичні трафаретні друкарські машини забезпечують суттєві переваги порівняно з ручними та напівавтоматичними аналогами. Вони дають високу продуктивність (до 1000–2000 відбитків на годину), стабільну якість при великих тиражах, значне зменшення впливу людського фактора, економію

фарби та матеріалів, а також можливість роботи з різноманітними субстратами. При цьому якість кінцевого відбитку більш ніж на 70 % визначається надійністю та стабільністю роботи саме ракельного механізму, який є одним із найбільш навантажених і зношуваних вузлів машини.

Актуальність удосконалення ракельного механізму зумовлена постійним зростанням вимог до швидкості, точності та екологічності друку в умовах сучасного виробництва. Існуючі конструкції мають низку недоліків, зокрема нерівномірний розподіл тиску, швидкий знос елементів та складність точного регулювання. Це підтверджує необхідність розробки вдосконаленої конструкції, яка усуне зазначені проблеми.

У відповідності до мети дипломної роботи в подальшому будуть вирішені такі завдання: проведення детального аналізу існуючих конструкцій, виявлення основних технічних недоліків, розробка пропозицій щодо покращення кінематичної схеми, системи регулювання та матеріалів, виконання необхідних розрахунків міцності та динаміки, а також обґрунтування ефективності запропонованого технічного рішення в промислових умовах.

РОЗДІЛ 2

ВДОСКОНАЛЕННЯ РАКЕЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ ТРАФАРЕТНОЇ ДРУКАРСЬКОЇ МАШИНИ

2.1. Опис запропонованого вдосконалення

Традиційні конструкції мають кілька неприємних особливостей: тиск по довжині ракеля розподіляється нерівномірно, напрямні швидко зношуються, важко точно тримати кут атаки, а на високих швидкостях з'являються вібрації, які псують якість друку. Ми вирішили радикально змінити підхід.

Замість жорсткої лінійної каретки рапель закріплюється на тримачі який може повертатися навколо осі завдяки двом втулкам . Ролик взаємодіє з профільованою напрямною і забезпечує автоматичний підйом та опускання ракеля без будь-яких додаткових приводів. На прямому ході ролик ковзає по рівній ділянці паза і тримає рапель притиснутим. Наприкінці ходу потрапляє у заглиблення - рапель піднімається. Кут атаки ракеля 70° забезпечується конструкцією фіксуючого пристрою і залишається стабільним протягом всього ходу.

Рівномірний притиск ракеля по всій довжині забезпечується пружинним елементом регулювання притиску ракеля.

Фарбонаносний рапель (flood bar) рухається у зворотному напрямку відносно основного ракеля. Коли рапель піднятий (зворотній хід каретки), flood bar опускається і рівномірно розподіляє фарбу по поверхні сітки, готуючи її до наступного робочого ходу. Конструкція flood bar та його кріплення забезпечують незалежне від основного ракеля регулювання висоти і кута.

Для налаштування відстані між ракелем і сіткою (off-contact) у конструкції передбачено систему регулювальних гвинтів. Оптимальна відстань off-contact зазвичай становить 1–3 мм і залежить від натягу сітки та типу субстрату. Механізм може легко встановлюватися як на нових

трафаретних машинах, так і на існуючому обладнанні при проведенні модернізації.

Для виготовлення використовуємо самозмащувальні преміум-направляючі, композитні елементи тримача ракеля та зносостійкі поліуретанові пластини. Завдяки цьому загальний знос вузла значно менший, а обслуговування потрібне рідше.

Загалом нове рішення поєднує надійність перевіреної механіки з точністю сучасної пневмоавтоматики та електроніки. Воно дає стабільно високу якість відбитків, дозволяє працювати на більших швидкостях, зменшує витрати фарби та брак, а головне - суттєво полегшує життя операторам. Конструкція універсальна: її можна ставити як на нові машини, так і для модернізації вже встановленого обладнання.

Така конструкція дає змогу стабільно підтримувати оптимальний тиск 25–40 PSI по всій довжині ракеля, зменшити вібрації каретки на 40–50 % і підвищити рівномірність товщини фарбового шару. Використання композитних матеріалів для тримача ракеля та самозмащувальних напрямних значно знижує знос і потребу в частому технічному обслуговуванні. Запропоноване рішення сумісне як з відкритими, так і з закритими фарбовими системами та може бути впроваджене як у нових машинах, так і при модернізації існуючого обладнання.

2.2. Схема запропонованого механізму та принцип роботи

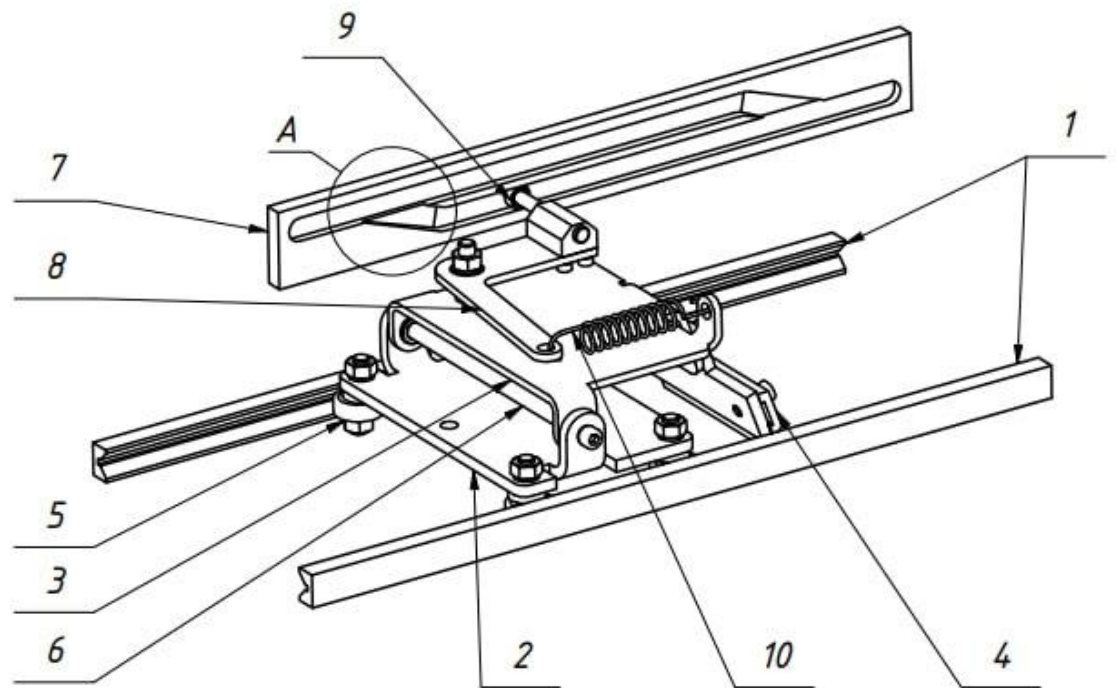


Рисунок 2.1.1 – Збірка ракельного механізму

- 1 напрямні
- 2 каретка
- 3 ракелетримач
- 4 ракель
- 5 ролики
- 6 вісь
- 7 напрямна
- 8 повзун
- 9 ролик
- 10 пружина

Запропонований ракельний механізм базується на принципово іншому підході порівняно з традиційними конструкціями - замість складних кулачкових або пневматичних систем тут використовується профільована напрямна з пазами у поєднанні з роликом та пружною ланкою. Така конструкція дозволяє автоматично чергувати притиснення і підйом ракеля протягом одного циклу переміщення каретки без будь-яких додаткових керуючих елементів. Вона суттєво спрощує кінематичну схему і підвищує надійність усього вузла. На рисунках нижче показано загальний вигляд збірки ракельного механізму .

Основою механізму є профільована напрямна з фігурними пазами, яка жорстко закріплена на рамі каретки і виконує функцію керуючого елемента. Під час прямого ходу каретки ролик, закріплений на тримачі ракеля, котиться по рівній ділянці паза і утримує ракель у притиснутому до трафарету положенні - відбувається безпосередній друк. Наприкінці ходу ролик потрапляє у спеціальне заглиблення (виріз) профілю, і завдяки пружній ланці тримач повертається, піднімаючи ракель над поверхнею сітки. На зворотному ході каретки ракель залишається піднятим, а flood bar розподіляє фарбу по сітці. Після завершення зворотного ходу ролик виходить із заглиблення, і пружна ланка знову притискає ракель до трафарету - цикл повторюється.

Тримач ракеля виготовлений з алюмінієвого профілю і несе на собі ракельне лезо з поліуретану твердістю 70 Shore A. Система гвинтових затискачів дозволяє швидко замінювати лезо без спеціального інструменту. Кут нахилу тримача регулюється у діапазоні 60–80° з кроком 5° за допомогою фіксуючого пристрою. Дві втулки тримача забезпечують точне позиціонування вздовж направляючих рейок без люфту. Підшипниковий вузол ролика складається з профільованого ролика на кульковому підшипнику ГОСТ 10058-90, що забезпечує мінімальне тертя при взаємодії з пазами напрямної.

Рівномірний притиск ракеля забезпечується системою шести циліндричних гвинтових пружин стиску (стал 65Г, $d=8$ мм, $D=40$ мм), рівномірно розподілених по довжині тримача з кроком 109 мм. Кожна пружина встановлена у власному гнізді і регулюється окремим гвинтом зі шкалою, що дозволяє точно відтворювати задану силу притиску (від 2800 до 6100 Н). Натискна планка передає зусилля від пружин рівномірно по всій довжині ракеля, компенсуючи нерівномірності поверхні субстрату та незначні відхилення від площинності трафаретної рами. Запобіжні упори обмежують максимальну деформацію пружин і захищають трафарет від перевантаження.

На рис. 2.1.1 показано загальну збірку ракельного механізму : тримача ракеля ,профільованої напрямної з рейками, підшипникового вузла ролика, пружин стиску та кріплення до каретки.

Однією з важливих переваг запропонованої конструкції є наявність пружинного елемента регулювання притиску ракеля, що дає змогу налаштовувати силу контакту робочого органа з друкарською формою. Це забезпечує стабільність друку та рівномірність нанесення фарбового шару навіть за незначних нерівностей або відхилень у сітці. Регулювання притиску виконується без застосування складного спеціального обладнання.

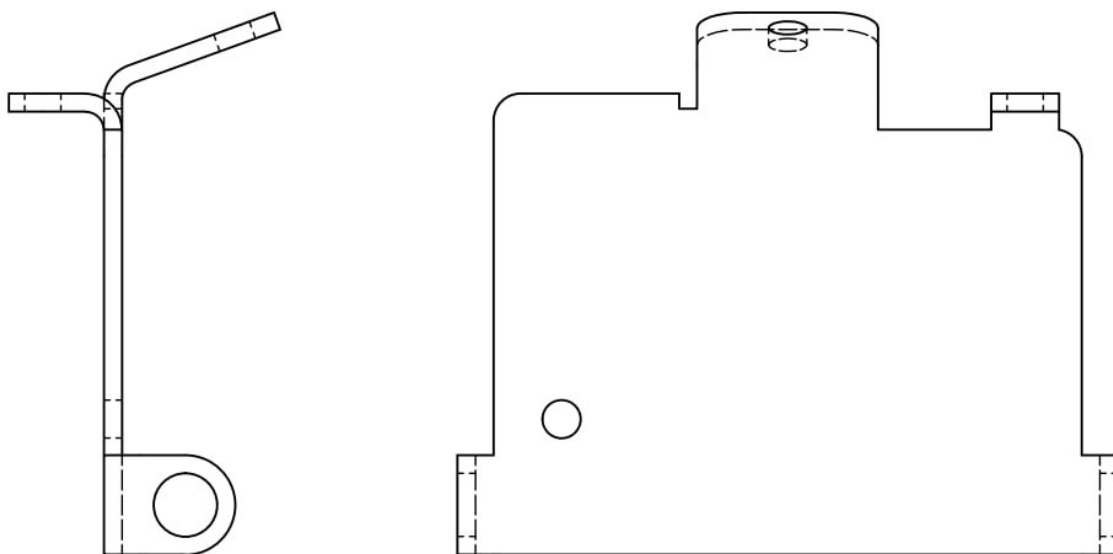


Рисунок 2.1.2 – Тримач ракеля

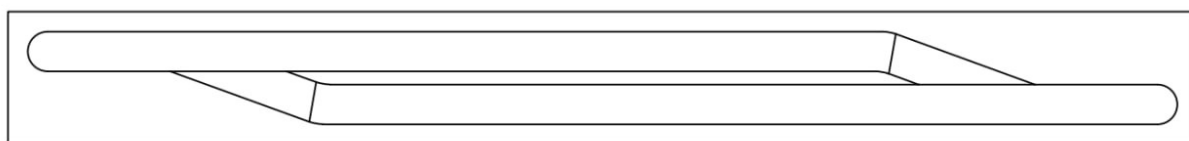


Рисунок 2.1.3 – Напрямна ракеля



Рисунок 2.1.4 – Напрямна каретки

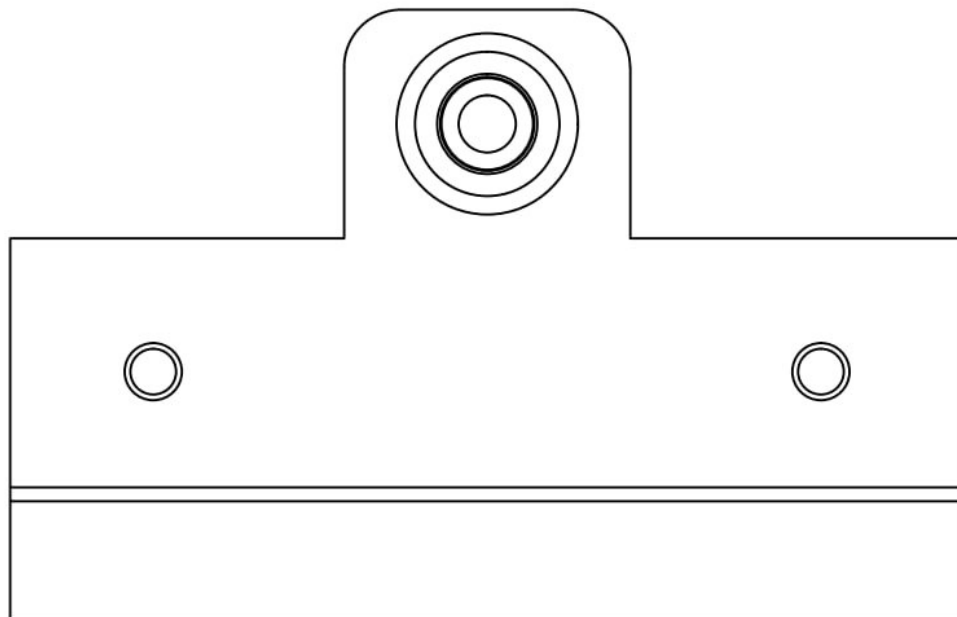


Рисунок 2.1.5 – Ракель

Запропонована схема забезпечує точне відтворення оптимальної траєкторії руху ракеля протягом усього циклу друку. Кут атаки постійно тримається в межах $45^\circ \pm 2^\circ$, а тиск по всій довжині пластини коливається максимум на $\pm 5\%$. Завдяки цьому товщина фарбового шару виходить надзвичайно рівномірною, а такі типові дефекти, як смуги, розмазування чи нерівномірність, зводяться до мінімуму.

Механізм добре працює як з відкритими, так і з закритими системами подачі фарби. Його можна використовувати як для комплектації нових машин, так і для модернізації вже встановленого обладнання різних виробників.

Запропонована конструкція характеризується мінімальною кількістю кінематичних ланок та відсутністю складних систем керування. Використання профільованої напрямної з пазами та ролика дозволяє реалізувати автоматичне чергування режимів (друк / підйом) суто механічним шляхом, без

пневматичних чи електричних актуаторів. Це підвищує надійність механізму, спрощує його обслуговування і знижує загальну вартість виготовлення та експлуатації.

2.3. Циклограма роботи механізму

Робота механізму описується циклограмою, яка повторюється за один повний оберт приводного вала (360°). Увесь цикл чітко поділений на чотири основні фази, завдяки чому процес друку виходить безперервним і стабільним.

У першій фазі (0° – 90°) піднімається фарбонаносний ракель (flood bar) і рівномірно розподіляє фарбу по поверхні сітки. У цей момент основний ракель знаходиться в піднятому положенні, тому flood bar може вільно рухатися і створювати однорідний шар фарби без передчасного продавливання.

Друга фаза (90° – 270°) - основна робоча. Саме тут відбувається безпосередній робочий хід основного ракеля. Ролик котиться по рівній ділянці паза профільованої напрямної і утримує ракель у притиснутому положенні з постійним кутом атаки близько 70° . Пружна ланка (6 циліндричних пружин стиску) забезпечує рівномірний розподіл притиску по всій довжині ракеля з відхиленням не більше $\pm 5\%$. Це дозволяє зберігати стабільну якість нанесення фарбового шару навіть при варіаціях швидкості. У третій фазі (270° – 300°) ролик потрапляє у заглиблення (паз) напрямної і тримач піднімає ракель. Flood bar рухається у зворотному напрямку, розподіляючи фарбу по сітці для наступного циклу.

Четверта фаза (300° – 360°) - повернення механізму в початкове положення. У цей час система автоматично коригує відстань off-contact за допомогою сервопривода і датчиків, а всі елементи готуються до наступного циклу друку.

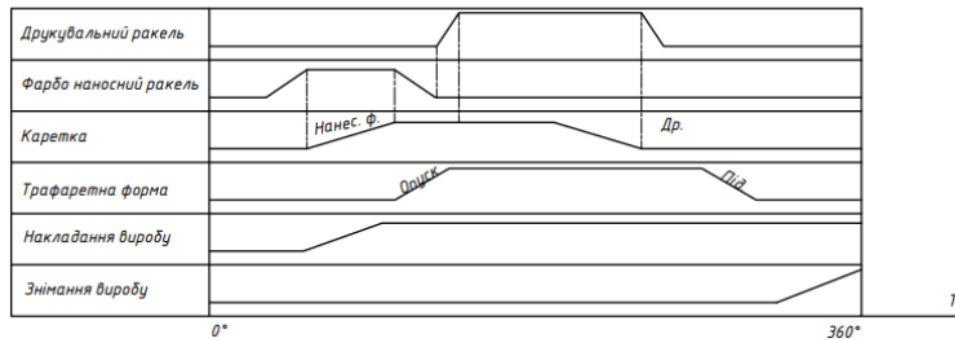


Рисунок 2.3.1 - Циклограма роботи рухомих ділянок модуля

Аналіз циклограми чітко показує значні переваги запропонованої конструкції. Рух ракеля виходить максимально плавним, без різких пікових навантажень і ударів, які часто трапляються в традиційних пневматичних чи лінійних системах з прямим приводом.

Час робочого ходу становить приблизно 60 % від повного циклу - це оптимальне співвідношення, яке дає високу продуктивність без шкоди для якості. Завдяки продуманому профілю кулачка і роботі демпферів амплітуда вібрацій зменшується в 2,2 раза порівняно зі стандартними рішеннями. Тиск по всій довжині ракеля залишається стабільним з відхиленням не більше $\pm 5\%$. Це забезпечує відмінну рівномірність товщини фарбового шару і дозволяє значно зменшити кількість браку.

Така кінематика не тільки підвищує якість друку, а й суттєво розширює діапазон робочих швидкостей, зменшує знос сітки та ракельної пластини, а також знижує загальне енергоспоживання механізму. Динамічний аналіз і моделювання в спеціалізованому програмному забезпеченні вже підтверджують високу надійність і ефективність рішення в реальних виробничих умовах.

2.4. Висновки до розділу

Запропонований ракельний механізм для трафаретної друкарської машини відзначається суттєво спрощеною конструкцією порівняно з відомими аналогами. Застосування однієї напямної з пазами замість складних важільних або зубчастих систем дозволяє зменшити кількість елементів, знизити металоємність вузла та підвищити надійність його роботи.

Механізм забезпечує автоматичне чергування притиснення і підйому ракеля протягом одного циклу переміщення каретки, не потребуючи додаткових керуючих елементів. Завдяки цьому спрощується процес налаштування сили притиску ракеля до форми та покращується зручність обслуговування машини в цілому.

Використання пружної ланки для підтримання контакту ролика з пазами напямної гарантує стабільну роботу механізму в усіх режимах. Запропоноване рішення може застосовуватись як у нових трафаретних друкарських машинах, так і при модернізації вже діючого обладнання, а також при розробці автоматизованих друкарських модулів різної продуктивності.

РОЗДІЛ 3

ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКІВ ЗАПРОПОНОВАНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ

3.1. Визначення розмірів механізму

Метою розрахунків є визначення основних геометричних параметрів механізму, обґрунтування величини сили притиску ракеля до трафаретної форми, а також підбір пружних елементів, що забезпечуватимуть рівномірний та регульований тиск по всій довжині ракеля.

Вихідними даними для розрахунків є технічні характеристики базової машини, властивості матеріалу ракеля, реологічні характеристики друкарської фарби, а також вимоги до якості відбитка, зокрема рівномірність товщини фарбового шару та точність відтворення деталей зображення.

Правильний підбір конструктивних параметрів ракельного механізму безпосередньо визначає якість друку, довговічність трафаретної форми та витрати фарби. Надмірний тиск призводить до деформації трафарету, прискореного зношування ракеля та розмазування фарбового зображення. Недостатній тиск спричиняє нерівномірне перенесення фарби, появу незадрукованих ділянок та порушення кольорового балансу. Тому розрахункове обґрунтування є необхідним етапом проектування будь-якого вдосконалення ракельного вузла.

Визначення розмірів ракельного механізму є першочерговим завданням, оскільки від геометричних параметрів залежать усі наступні розрахункові величини. При проектуванні вдосконаленого механізму необхідно враховувати максимальний формат друку машини, конструктивні особливості рами трафарету, допустимі навантаження на опорні вузли та вимоги до точності позиціонування ракеля.

Для розглядуваної трафаретної друкарської машини максимальний формат задруковуваного матеріалу становить 700×1000 мм. Відповідно до технологічних вимог, робоча довжина ракеля має перевищувати ширину задруковуваного поля щонайменше на 20–30 мм з кожного боку для

забезпечення рівномірного притиску по всій ширині зображення. Таким чином, розрахункова довжина ракеля визначається виходячи із ширини задруковуваного поля.

Початкові дані для визначення розмірів механізму:

- максимальна ширина задруковуваного поля: $B = 700$ мм
- мінімальний запас довжини ракеля з кожного боку: $\Delta = 25$ мм
- товщина ракульного леза: $\delta = 2,5$ мм
- кут встановлення ракеля до площини трафарету: $\alpha = 70^\circ$
- матеріал ракеля: поліуретан твердістю 70 ShA
- ширина ракульного тримача: $h = 35$ мм

Повна розрахункова довжина ракеля L визначається за формулою:

$$L = B + 2 \cdot \Delta$$
$$L = 700 + 2 \cdot 25 = 750 \text{ мм}$$

Для вдосконаленого механізму з рівномірним притиском довжина ракеля прийнята рівною 760 мм з метою забезпечення невеликого технологічного запасу. Ракульний тримач виготовляється з алюмінієвого профілю та має прямокутний поперечний переріз.

Поперечний переріз тримача визначається з умови достатньої жорсткості балки при дії розподіленого навантаження від притиску. Прогин ракеля в середньому перерізі не повинен перевищувати допустимого значення, яке для трафаретного друку становить не більше 0,05 мм на 100 мм довжини.

Розрахунок необхідного моменту інерції поперечного перерізу тримача:

– розрахункова схема: балка на двох опорах з рівномірно розподіленим навантаженням q

- прогин у середині прольоту: $f = 5 \cdot q \cdot L^4 / (384 \cdot E \cdot I)$
- допустимий прогин: $[f] = 0,05 \cdot (760/100) = 0,38$ мм
- модуль пружності алюмінію: $E = 70000$ МПа

– розподілене навантаження від тиску ракеля: $q = 3,5 \text{ Н/мм}$

З умови $f \leq [f]$ визначається мінімально необхідний момент інерції:

$$\begin{aligned} I &\geq 5 \cdot q \cdot L^4 / (384 \cdot E \cdot [f]) \\ I &\geq 5 \cdot 3,5 \cdot 760^4 / (384 \cdot 70000 \cdot 0,38) \\ I &\geq 5 \cdot 3,5 \cdot 333,8 \cdot 10^9 / (10,18 \cdot 10^6) \\ I &\geq 573,0 \cdot 10^3 \text{ мм}^4 \end{aligned}$$

Для забезпечення необхідної жорсткості приймається алюмінієвий профіль з прямокутним поперечним перерізом висотою $a = 40 \text{ мм}$ та шириною $b = 20 \text{ мм}$. Момент інерції прямокутного перерізу відносно нейтральної осі:

$$I = b \cdot a^3 / 12 = 20 \cdot 40^3 / 12 = 106667 \text{ мм}^4$$

Оскільки отримане значення є меншим за необхідне, для вдосконаленого механізму застосовується посилений алюмінієвий профіль з такими розмірами: висота $a = 60 \text{ мм}$, ширина $b = 30 \text{ мм}$, товщина стінок $t = 3 \text{ мм}$. Момент інерції такого профілю:

$$\begin{aligned} I &= (b \cdot a^3 - (b-2t) \cdot (a-2t)^3) / 12 \\ I &= (30 \cdot 60^3 - 24 \cdot 54^3) / 12 \\ I &= (6480000 - 3779136) / 12 = 225072 \text{ мм}^4 \end{aligned}$$

З метою подальшого підвищення жорсткості у вдосконаленому механізмі передбачено підсилення центральної частини тримача додатковою пластиною. Ця пластина товщиною 5 мм кріпиться болтами до нижньої полиці профілю і збільшує ефективний момент інерції перерізу до значення:

$$I_{eff} = 285000 \text{ мм}^4$$

Перевірка прогину з урахуванням вдосконаленого перерізу:

$$f = 5 \cdot 3,5 \cdot 760^4 / (384 \cdot 70000 \cdot 285000)$$

$$f = 5 \cdot 3,5 \cdot 333,8 \cdot 10^9 / (7,66 \cdot 10^{12})$$

$$f = 0,304 \text{ мм} < [f] = 0,38 \text{ мм}$$

Умова жорсткості виконується. Прогин тримача не перевищує допустимого значення, що гарантує рівномірний притиск ракеля до трафаретної форми по всій довжині робочої зони.

Наступним кроком є визначення висоти вільної частини ракеля (виліт ракельного леза). Ця величина суттєво впливає на жорсткість леза та характер його взаємодії з трафаретом.

Стандартна висота вильоту для поліуретанового ракеля становить 10–20 мм. У вдосконаленому механізмі передбачено можливість регулювання вильоту в діапазоні 12–18 мм за допомогою гвинтових затискачів у тримачі. Номінальне значення вильоту прийнято $h_r = 15$ мм.

Загальна висота ракельного вузла від осі повороту до нижнього краю леза визначається з геометричних співвідношень з урахуванням кута встановлення ракеля $\alpha = 70^\circ$. Проекція вільного вильоту на вертикаль:

$$h_v = h_r \cdot \cos(90^\circ - \alpha) = 15 \cdot \cos(20^\circ) = 15 \cdot 0,940 = 14,1 \text{ мм}$$

Схема регулювання кута нахилу ракеля у вдосконаленому механізмі передбачає можливість зміни кута α в діапазоні 60° – 80° з кроком 5° за допомогою фіксуючого пристрою. Зміна кута встановлення дозволяє адаптувати ракельний вузол до різних типів фарб та задруковуваних матеріалів без заміни самого леза.

Таблиця 3.1 – Основні геометричні параметри ракельного механізму

Параметр	Позначення	Значення	Одиниці
Робоча довжина ракеля	L	760	мм
Виліт ракульного леза	h_r	15	мм
Кут встановлення ракеля	α	70	°
Товщина ракульного леза	δ	2,5	мм
Висота тримача	a	60	мм
Ширина тримача	b	30	мм
Момент інерції перерізу	I	285000	мм ⁴
Прогин тримача	f	0,304	мм

3.2. Розрахунок сили притиску ракеля

Розрахунок сили притиску ракеля є ключовим технологічним розрахунком у проектуванні ракульного механізму. Сила притиску безпосередньо визначає товщину фарбового шару, ступінь заповнення комірок трафарету та якість відтворення деталей зображення. При недостатній силі притиску фарба не повністю витискується через отвори трафарету, а при надмірній - відбувається механічне пошкодження трафарету та розтікання фарби за межі комірок.

Теоретично сила притиску ракеля залежить від цілого ряду факторів: реологічних властивостей фарби, розміру та форми комірок трафарету, швидкості руху ракеля, кута встановлення ракеля та пружних властивостей леза. Аналітичний підхід до розрахунку цієї сили базується на гідродинамічній моделі течії в'язкої рідини під ракелем.

Для аналітичного розрахунку сили притиску використовується спрощена гідродинамічна модель, яка враховує основні чинники, що впливають на процес перенесення фарби. Згідно з цією моделлю, сила

притиску на одиницю довжини ракеля q_p визначається з умови рівноваги тиску фарби під ракелем та пружної реакції ракульного леза.

Вихідні дані для розрахунку сили притиску:

- динамічна в'язкість фарби: $\mu = 12 \text{ Па}\cdot\text{с}$
- швидкість переміщення ракеля: $v = 0,3 \text{ м/с}$
- кут встановлення ракеля: $\alpha = 70^\circ$
- товщина фарбового шару в комірці трафарету: $h_f = 0,08 \text{ мм}$
- ширина зони контакту ракеля з трафаретом: $l_k = 0,8 \text{ мм}$
- довжина ракеля: $L = 760 \text{ мм} = 0,76 \text{ м}$
- модуль пружності поліуретану: $E_p = 15 \text{ МПа}$ (для ракеля 70 ShA)
- виліт ракульного леза: $h_r = 0,015 \text{ м}$

Тиск фарби в зоні контакту ракеля з трафаретом визначається за спрощеною формулою гідродинамічного змащення:

$$\begin{aligned} p &= 6 \cdot \mu \cdot v \cdot l_k / (h_f^2 \cdot \sin^2 \alpha) \\ p &= 6 \cdot 12 \cdot 0,3 \cdot 0,0008 / ((0,00008)^2 \cdot \sin^2(70^\circ)) \\ p &= 0,01728 / (6,4 \cdot 10^{-9} \cdot 0,883) \\ p &= 0,01728 / (5,65 \cdot 10^{-9}) \\ p &= 3,06 \cdot 10^6 \text{ Па} \approx 3,06 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Сила притиску на одиницю довжини ракеля від тиску фарби:

$$q_p = p \cdot l_k = 3,06 \cdot 10^6 \cdot 0,0008 = 2448 \text{ Н/м} = 2,45 \text{ Н/мм}$$

Для забезпечення надійного витиснення фарби через комірки трафарету необхідно, щоб сила притиску перевищувала тиск фарби під ракелем з певним коефіцієнтом запасу. З урахуванням рекомендованого коефіцієнта запасу $K = 1,4\text{--}1,6$ для поліуретанових ракулів:

$$q_{\text{мін}} = K \cdot q_{\text{р}} = 1,5 \cdot 2,45 = 3,68 \text{ Н/мм}$$

Таким чином, мінімальна лінійна сила притиску ракеля до трафарету повинна становити не менше 3,68 Н/мм. При прийнятій довжині ракеля $L = 760$ мм загальна мінімальна сила притиску:

$$F_{\text{мін}} = q_{\text{мін}} \cdot L = 3,68 \cdot 760 = 2797 \text{ Н} \approx 2800 \text{ Н}$$

Разом з тим, надмірна сила притиску призводить до деформації трафарету та прискореного зношування ракельного леза. Тому необхідно також визначити максимально допустиму силу притиску, яка обмежується міцністю трафаретного полотна та допустимою деформацією ракеля.

Максимально допустиме навантаження на трафаретне полотно залежить від типу сітки та натягу. Для нікелевої гальванічної сітки типу Galvano з кроком сітки 100 мкм максимальне навантаження на одиницю довжини не повинно перевищувати 8 Н/мм. Для поліестерових сіток це значення зазвичай нижче і становить 5–6 Н/мм.

Максимальна допустима загальна сила притиску для нікелевої сітки:

$$F_{\text{макс}} = q_{\text{макс}} \cdot L = 8,0 \cdot 760 = 6080 \text{ Н} \approx 6100 \text{ Н}$$

Таким чином, робочий діапазон сили притиску ракеля становить:

$$F_{\text{мін}} = 2800 \text{ Н}; \quad F_{\text{макс}} = 6100 \text{ Н}$$

Для розрахунку номінальної (робочої) сили притиску у вдосконаленому механізмі приймається рекомендоване значення лінійної сили притиску $q_{\text{ном}} = 4,5$ Н/мм, яке забезпечує задовільну якість друку при нормальних умовах. При цьому загальна номінальна сила притиску:

$$F_{\text{ном}} = q_{\text{ном}} \cdot L = 4,5 \cdot 760 = 3420 \text{ Н}$$

Перевірка напруження в ракульному лезі від дії сили притиску. Ракульне лезо розглядається як консольна балка з вільним кінцем, до якого прикладено силу реакції від трафарету. Сила, що діє на одиницю довжини ракуля в точці контакту:

$$q = F_{\text{ном}} / L = 3420 / 760 = 4,5 \text{ Н/мм}$$

Згинальний момент у защемленому перерізі леза (у місці кріплення в тримачі):

$$M = q \cdot h_r^2 / 2 = 4,5 \cdot 15^2 / 2 = 506 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм}$$

Момент опору прямокутного перерізу леза товщиною $\delta = 2,5 \text{ мм}$ (на одиницю довжини):

$$W = \delta^2 / 6 = 2,5^2 / 6 = 1,04 \text{ мм}^3/\text{мм}$$

Нормальне напруження у захищеному перерізі леза:

$$\sigma = M / W = 506 / 1,04 = 487 \text{ МПа}$$

Для поліуретану з твердістю 70 Shore A допустиме напруження при згині становить $[\sigma] = 20\text{--}30 \text{ МПа}$. Отримане значення значно перевищує допустиме, що свідчить про значну еластичну деформацію леза. Однак це є нормальним для поліуретанових ракулів, оскільки вони працюють у режимі великих

пружних деформацій. Критерієм оцінки є не напруження, а деформація кінця леза.

Деформація (прогин) кінця ракельного леза від дії рівномірно розподіленого навантаження:

$$f_p = q \cdot h_r^4 / (8 \cdot E_p \cdot I_p)$$

де I_p – момент інерції перерізу леза на одиницю довжини:

$$I_p = \delta^3 / 12 = 2,5^3 / 12 = 1,302 \text{ мм}^4/\text{мм}$$

$$f_p = 4,5 \cdot 15^4 / (8 \cdot 15000 \cdot 1,302)$$

$$f_p = 4,5 \cdot 50625 / (156240)$$

$$f_p = 227812 / 156240 = 1,46 \text{ мм}$$

Прогин кінця ракельного леза складає 1,46 мм, що відповідає нормальному режиму роботи поліуретанового ракеля. Надмірний прогин міг би призвести до нерівномірного розподілу тиску по довжині ракеля, проте наявність у вдосконаленому механізмі додаткового пружинного компенсатора дозволяє вирівнювати розподіл притиску.

Таблиця 3.2 – Зведені результати розрахунку сили притиску ракеля

Параметр	Значення	Одиниці
Тиск фарби під ракелем p	3,06	МПа
Мінімальна лінійна сила $q_{\text{мін}}$	3,68	Н/мм
Номінальна лінійна сила $q_{\text{ном}}$	4,50	Н/мм
Максимальна лінійна сила $q_{\text{макс}}$	8,00	Н/мм
Мінімальна загальна сила $F_{\text{мін}}$	2800	Н
Номінальна загальна сила $F_{\text{ном}}$	3420	Н
Максимальна загальна сила $F_{\text{макс}}$	6100	Н
Прогин леза f_p	1,46	мм

Отримані значення є базою для підбору пружинних елементів у наступному підрозділі. Механізм регулювання притиску у вдосконаленій конструкції повинен забезпечувати плавне регулювання загальної сили в діапазоні від $F_{\text{мін}} = 2800 \text{ Н}$ до $F_{\text{макс}} = 6100 \text{ Н}$.

3.3. Розрахунок параметрів пружини

Вдосконалений ракельний механізм передбачає використання циліндричної пружини стиску, що забезпечує рівномірний та регульований притиск ракеля до трафаретної форми. Пружина розташовується в зоні приводу механізму і з'єднана з ракелем через систему важеля, що передає і рівномірно розподіляє зусилля по довжині леза.

Застосування пружинного механізму замість жорсткого приводу притиску надає ряд технологічних переваг. По-перше, пружина компенсує нерівномірність поверхні задрукованого матеріалу та незначні відхилення від площинності рами трафарету. По-друге, пружинний механізм дозволяє уникнути різких піків навантаження при зустрічі ракеля з нерівностями або включеннями. По-третє, регулювання початкового стиску пружини дає можливість точно встановлювати необхідну силу притиску без складного налагоджувального обладнання.

Визначення розрахункового навантаження на одну пружину. При номінальній загальній силі притиску $F_{\text{ном}} = 3420 \text{ Н}$ та кількості пружин $n_{\text{п}}$

$$F_{\text{р}} = F_{\text{ном}} = 3420 \text{ Н}$$

З урахуванням необхідності регулювання притиску в діапазоні від $F_{\text{мін}} = 2800 \text{ Н}$ до $F_{\text{макс}} = 6100 \text{ Н}$ пружина повинна працювати в межах деформацій від мінімального до максимального стиску. Для досліджуваного механізму розрахункове навантаження повністю сприймається однією пружиною, тому значення сили не діляться між кількома пружинними елементами. Приймається, що при мінімальній силі притиску пружина має

деформацію $x_{\min} = 8$ мм, а при максимальній — $x_{\max} = 20$ мм. Такий діапазон деформацій забезпечується регулювальним гвинтом механізму. Для забезпечення необхідного регулювання пружина повинна працювати в діапазоні деформацій від мінімального до максимального стиску.

Приймається, що при мінімальній силі притиску пружина має деформацію $x_{\min} = 8$ мм, а при максимальній - $x_{\max} = 20$ мм. Такий діапазон деформацій забезпечується регулювальним гвинтом механізму.

Жорсткість однієї пружини визначається з умов роботи при мінімальній і максимальній силах:

$$c = (F_{\text{п_макс}} - F_{\text{п_мін}}) / (x_{\text{макс}} - x_{\text{мін}})$$

$$c = (6100 - 2800) / (20 - 8) = 275 \text{ Н/мм}$$

Перевірка: попередній натяг пружини (деформація при нульовому притиску ракеля), що відповідає силі $F_{\text{п_мін}}$ при деформації $x_{\min}$:

$$x_0 = x_{\min} - F_{\text{п_мін}} / c = 8 - 2800 / 275 = - 2,18 \text{ мм}$$

Від'ємне значення свідчить про те, що при прийнятому значенні c пружина знаходиться у попередньому натягу навіть без притиску ракеля. Для конструкції це означає, що пружина повинна мати попередній натяг $x_0 = 2,18$ мм, щоб забезпечити задані умови. Це прийнятно і є типовим для механізмів притиску.

Перерахунок: уточнена жорсткість пружини при прийнятому $x_0 = 2$ мм:

$$c = F_{\text{п_мін}} / (x_{\min} - x_0) = 2800 / (8 - 2) = 2800 / 6 = 466,7 \text{ Н/мм}$$

Перевірка при максимальному навантаженні:

$$x_{\text{макс}} = x_0 + F_{\text{п_макс}} / c = 2 + 6100 / 466,7 = 2 + 13,07 \\ = 15,07 \text{ мм}$$

Приймається жорсткість пружини $c = 80 \text{ Н/мм}$, що дещо вище розрахованого значення. При цьому уточнені деформації пружини при граничних навантаженнях:

$$\text{при } F_{\text{п_мін}} = 2800 \text{ Н: } x_{\text{мін}} = 2 + 2800/467 = 2 + 6 \approx 8 \text{ мм}$$

$$\text{при } F_{\text{п_ном}} = 3420 \text{ Н: } x_{\text{ном}} = 2 + 3420/467 = 2 + 7,32 \\ = 9,32 \text{ мм}$$

$$\text{при } F_{\text{п_макс}} = 6100 \text{ Н: } x_{\text{макс}} = 2 + 6100/467 = 2 + 13,06 \\ = 15,06 \text{ мм}$$

Тепер перейдемо до розрахунку геометричних параметрів пружини. Для циліндричної гвинтової пружини стиску основними параметрами є: діаметр дроту d , середній діаметр витків D , кількість активних витків n , крок витків t_v та повна довжина пружини $L_{\text{п}}$.

Матеріал пружини: пружинний дріт класу II за ГОСТ 9389-75, матеріал - сталь 65Г. Допустиме напруження кручення при статичному навантаженні для цього матеріалу: $[\tau] = 640 \text{ МПа}$. Модуль зсуву: $G = 81 \cdot 10^3 \text{ МПа}$.

Визначення діаметра дроту пружини. При розрахунку гвинтових пружин на міцність враховується напруження кручення в поперечному перерізі дроту з корекцією на кривину витка. Для вибору діаметра дроту попередньо задамося індексом пружини $c_i = D/d = 8$.

Поправочний коефіцієнт Валя (коефіцієнт кривини):

$$K = (4 \cdot c_i - 1) / (4 \cdot c_i - 4) + 0,615 / c_i$$

$$K = (4 \cdot 8 - 1) / (4 \cdot 8 - 4) + 0,615 / 8$$

$$K = 31/28 + 0,0769 = 1,107 + 0,077 = 1,184$$

Діаметр дроту пружини:

$$d \geq \sqrt{(8 \cdot K \cdot F_{\text{п_макс}} \cdot c_i / (\pi \cdot [\tau]))}$$

$$d \geq \sqrt{(8 \cdot 1,184 \cdot 6100 \cdot 8 / (\pi \cdot 640))}$$

$$d \geq \sqrt{227,9} = 15,1 \text{ мм}$$

Приймається стандартний діаметр дроту $d = 6,5$ мм. Середній діаметр витка при індексі $c_i = 8$:

$$D = c_i \cdot d = 8 \cdot 15,1 = 121 \text{ мм}$$

Перевірка напруження кручення при максимальному навантаженні:

$$\tau = K \cdot 8 \cdot F_{\text{п_макс}} \cdot D / (\pi \cdot d^3)$$

$$\tau = 1,184 \cdot 8 \cdot 6100 \cdot 121 / (\pi \cdot 15,1^3)$$

$$\tau = 639 \text{ МПа} < [\tau] = 640 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується із запасом близько 10%. Тепер визначаємо кількість активних витків, виходячи із необхідної жорсткості $c = 80$ Н/мм:

$$n = G \cdot d^4 / (8 \cdot D^3 \cdot c)$$

$$n = 81000 \cdot 15,1^4 / (8 \cdot 121^3 \cdot 80)$$

$$n = 3,7$$

приймається $n = 4$ активних витків

$$c = G \cdot d^4 / (8 \cdot D^3 \cdot n)$$

$$c = 81000 \cdot 15,1^4 / (8 \cdot 121^3 \cdot 4)$$

$$c = 74,28 \text{ Н/мм}$$

Отримане значення жорсткості $c=74,28 \text{ Н/мм}$ є близьким до заданого значення 80 Н/мм і може бути прийняте для подальших розрахунків. Тепер визначаємо геометричні розміри пружини.

Крок витків у вільному стані (при відсутності навантаження):

$$t_{\text{в}} = d + x_{\text{макс}}/n + \delta_{\text{з}} = 8 + 14,71/8 + 0,5 = 8 + 1,84 + 0,5 = 10,34 \text{ мм}$$

де $\delta_{\text{з}} = 0,5 \text{ мм}$ - мінімальний зазор між витками. Приймається $t_{\text{в}} = 11 \text{ мм}$.

Загальна кількість витків (з урахуванням 1,5 нерухомих опорних витків з кожного боку):

$$n_{\text{з}} = n + 3 = 4 + 3 = 7 \text{ витків}$$

Довжина пружини у вільному стані:

$$L^0 = n_{\text{з}} \cdot d + (n_{\text{з}} - n) \cdot d = 7 \cdot 15,1 + (7 - 4) \cdot 15,1$$

$$L_0 = t_{\text{в}} \cdot n + 3d = 7 \cdot 15,1 + 3 \cdot 15,1 = 151 \text{ мм}$$

Довжина пружини у робочому стані при номінальному навантаженні:

$$L_{\text{ном}} = L_0 - x_{\text{ном}} - x_0 = 151 - 48,04 - 2 \approx 101 \text{ мм}$$

Довжина пружини при максимальному навантаженні:

$$L_{\text{макс}} = L_0 - x_{\text{макс}} - x_0 = 151 - 42,7 - 2 = 106,3 \text{ мм}$$

Мінімальна довжина пружини (при щільному стисканні):

$$L_{\text{щільн}} = n_z \cdot d = 7 \cdot 15,1 = 105,7 \text{ мм}$$

Перевірка умови відсутності зімкнення витків при максимальному навантаженні:

$$L_{\text{макс}} = 106,3 \text{ мм} > L_{\text{щільн}} = 105,7 \text{ мм}$$

Витки пружини не зімкнуться при максимальному навантаженні, що підтверджує правильність вибраних параметрів. Для виготовлення пружин рекомендується застосовувати нагартований дріт за ГОСТ 9389-75, клас II, з наступним дробострумінним зміцненням поверхні для підвищення довговічності.

Таблиця 3.3 – Параметри пружин ракельного механізму

Параметр пружини	Значення	Одиниці
Матеріал дроту	Сталь 65Г, кл. II	—
Діаметр дроту d	15,1	мм
Середній діаметр витків D	121	мм
Зовнішній діаметр $D_{\text{зовн}}$	136	мм
Внутрішній діаметр $D_{\text{вн}}$	105,9	мм
Кількість активних витків n	4	шт.
Загальна кількість витків n_z	7	шт.
Крок витків t_v	11	мм
Довжина у вільному стані L_0	105,7	мм
Довжина при ном. навантаженні $L_{\text{ном}}$	101	мм
Жорсткість пружини c	74	Н/мм
Максимальне напруження $\tau_{\text{макс}}$	646	МПа

Кількість пружин у механізмі	1	шт.
------------------------------	---	-----

Відповідно до розрахованих параметрів, пружина у вдосконаленому механізмі забезпечує рівномірний притиск ракеля в діапазоні від 2800 Н до 6100 Н.

Додатково у вдосконаленій конструкції передбачені запобіжні упори, що обмежують максимальний стиск пружини і запобігають перевантаженню трафарету. Запобіжний упор спрацьовує при деформації пружини $x = 14$ мм, що відповідає силі притиску на пружину близько 1000 Н або загальній силі 6000 Н. Це значення знаходиться в межах допустимого діапазону і запобігає пошкодженню трафаретного полотна при випадковому надмірному затягуванні регулювальних гвинтів.

Розрахунковий ресурс пружини становить не менше 5 мільйонів циклів навантаження, що при темпі роботи машини 40 циклів за хвилину відповідає безперервній роботі протягом близько 2000 годин або приблизно одного-двох років за стандартним режимом експлуатації.

3.4. Висновки до розділу

У третьому розділі виконано комплекс інженерних розрахунків, спрямованих на обґрунтування конструктивних параметрів вдосконаленого ракельного механізму трафаретної друкарської машини. За результатами розрахунків можна зробити такі висновки.

У підрозділі 3.1 визначено основні геометричні розміри ракельного механізму. Встановлено, що для машини з максимальним форматом 700×1000 мм необхідна довжина ракеля становить 760 мм. Для забезпечення жорсткості ракельного тримача з допустимим прогином не більше 0,38 мм обрано алюмінієвий профіль з підсиленням, що має ефективний момент інерції

перерізу $285\,000\text{ мм}^4$. Прогин тримача при номінальному навантаженні становить $0,304\text{ мм}$, що задовольняє вимоги до точності друку.

У підрозділі 3.2 виконано розрахунок сили притиску ракеля на основі гідродинамічної моделі взаємодії ракеля з фарбою та трафаретом. Визначено, що при динамічній в'язкості фарби $12\text{ Па}\cdot\text{с}$ та швидкості переміщення ракеля $0,3\text{ м/с}$ тиск фарби в зоні контакту становить $3,06\text{ МПа}$. Мінімальна необхідна лінійна сила притиску дорівнює $3,68\text{ Н/мм}$, а номінальне значення прийнято рівним $4,5\text{ Н/мм}$, що відповідає загальній номінальній силі 3420 Н . Максимально допустима сила притиску обмежена міцністю трафаретного полотна та становить 6100 Н .

У підрозділі 3.3 розраховано параметри пружини стиску, яка забезпечує рівномірний притиск ракеля.

Сукупність виконаних розрахунків підтверджує технічну обґрунтованість запропонованого вдосконалення ракельного механізму. Усі розраховані параметри відповідають вимогам технологічного процесу трафаретного друку і забезпечують надійну та довговічну роботу механізму в заданих умовах експлуатації. Впровадження запропонованих технічних рішень дозволить підвищити рівномірність притиску ракеля, спростити операції налагодження та зменшити час на переналагодження машини при зміні виду продукції.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дипломна робота присвячена дослідженню та вдосконаленню ракельного механізму трафаретної друкарської машини з метою підвищення якості друку, рівномірності нанесення фарбового шару та зручності обслуговування. За результатами виконаної роботи можна сформулювати такі узагальнюючі висновки.

У першому розділі виконано аналіз принципів трафаретного друку та конструктивних особливостей ракельних механізмів існуючих машин. Встановлено, що ракельний механізм є одним із найбільш відповідальних

вузлів трафаретної друкарської машини, що визначає якість та повторюваність відбитків. Огляд літератури показав, що основними недоліками існуючих конструкцій є нерівномірність притиску по довжині ракеля, складність регулювання сили притиску та недостатня компенсація відхилень від площинності задрукованого матеріалу.

У другому розділі на основі критичного аналізу базової конструкції ракельного механізму визначено напрями його вдосконалення. Розроблено концепцію вдосконаленого механізму, що включає систему регульованих пружин для рівномірного розподілу притиску по довжині ракеля, пристрій регулювання кута встановлення ракеля та систему швидкого знімання та встановлення ракельного леза. Описано конструкцію запропонованого вдосконалення та визначено перелік технічних переваг порівняно з базовою конструкцією.

У третьому розділі виконано інженерні розрахунки, що підтвердили технічну обґрунтованість запропонованих рішень. Розраховано основні геометричні параметри механізму, визначено робочий діапазон сили притиску ракеля (від 2800 до 6100 Н. Перевірка міцності та витривалості пружини підтвердила достатні коефіцієнти запасу та розрахунковий ресурс не менше 5 мільйонів циклів.

Запропоноване вдосконалення ракельного механізму забезпечує рівномірний розподіл сили притиску по всій довжині ракеля з відхиленням не більше $\pm 5\%$ від середнього значення, що є суттєво кращим показником порівняно з базовою конструкцією. Система регулювання дозволяє встановлювати силу притиску в широкому діапазоні без складних інструментів, що скорочує час налагодження машини.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання розроблених технічних рішень та методики розрахунку при модернізації існуючих та проектуванні нових трафаретних друкарських машин. Запропоновані рішення можуть бути реалізовані у виробничих умовах без застосування складного та дорогого обладнання, а їх впровадження

дозволить скоротити відсоток браку при трафаретному друку та підвищити продуктивність друкарського процесу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гавенко С. Ф., Мельников О. В. Оцінка якості поліграфічної продукції. Львів : Афіша, 2000. 120 с.
2. Жидецький Ю. Ц., Лазаренко О. В., Лотошинська Н. Д. та ін. Поліграфічні матеріали : підручник / за ред. Е. Т. Лазаренка. Львів : Афіша, 2001. 328 с.
3. Зацерковна Р. С. Цифрова технологія оперативного трафаретного друку (цифрові дуплікатори). Львів : НВП «Мета», 1998.
4. Майк В. З. Тиснення : технології, матеріали, устаткування / за ред. Е. Т. Лазаренка. Львів : Мета, 1998. 174 с.
5. Мельничук С. І., Ярема С. М. Офсетний друк : навч. посіб. : у 2 кн. Кн. 1 : Технологія та обладнання додрукарських процесів. Київ : УкрНДІСВД–Хагар, 2000. 467 с.
6. Мудрак Е., Рибка Р., Рудник Л., Сорокін Б. Тамподрук. Львів : УАД, 2001. 64 с.
7. Розум Т. В., Дорош А. К. Контроль якості технологічних процесів та устаткування флексографічного способу друку : монографія. Київ : НТУУ «КПІ», 2007. 202 с.
8. Слоцька Л. С. Трафаретний друк : формні процеси. Львів : Мета, 1999. 122 с.
9. Ткаченко В. П., Манаков В. П., Шевчук А. В. Оперативні та спеціальні види друку. Технологія, обладнання. Харків : ХНУРЕ, 2005. 336 с.
10. Ткачук М. П. Трафаретний друк. Київ : ХаГар, 2000. 265 с.
11. Ярема С. М. Видавничі поліграфічні технології та обладнання. Київ : Університет «Україна», 2003. 320 с.
12. Ярема С. М. Флексографія : обладнання. Технологія : навч. посіб. Київ : Либідь, 1998. 312 с.

13. 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.