

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Розробка пристрою для автоматизованого вивантаження виробів легкої промисловості після трафаретного друку

Рівень вищої освіти Магістр

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітня програма «Галузеве машинобудування»

Шифр КвРМБ.024402.01.06 ПЗ

Виконав здобувач 2 курсу група МБм-24-1


Підпис

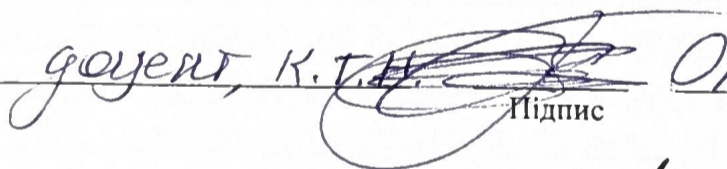
Олександр ЛОЗІНСЬКИЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук


Підпис

Володимир ОНОФРІЙЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер доцент, к. т. н.


Підпис

Олександр ТИМОЩУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри МАЕЕС


Підпис

Віталій НЕЙМАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

10.12.2025
Дата

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень Магістр

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітня програма «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к.т.н., доц. Неймак В.С.

В.С. Неймак 12 .2025р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Лозінський Олександр Володимирович

1. Тема роботи Розробка пристрою автоматизованого вивантаження виробів легкої промисловості після трафаретного друку

керівник роботи Онофрійчук Володимир Іванович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 25 08 2025р. № 65

2. Термін подання студентом роботи на кафедру 10 грудня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Процес вивантаження та транспортування гнучких виробів після трафаретного друку

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз технологічного процесу та огляд існуючих рішень для вивантаження готових виробів. 2. Конструювання механізму вивантаження та транспортування готових виробів. 3. Основні розрахунки. Висновки. Перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Пристрої вивантаження та транспортування виробів легкої промисловості (ДО, А1) 2. Структурна схема пристрою (С1, А4) 3. Кінематична схема приводу осі X та Y (К3, А2) 4. Кінематична схема приводу захватного механізму (К3(2), А4) 5. Захватний пристрій (Д1, А4) 6. Кінематична схема. Аксенометричний вигляд (Д1, А2) 7. Загальна циклограма роботи пристрою (ДТ, А4) 8. Пристрій вивантаження та транспортування готових трафаретних виробів. Ізометричний вигляд (Д1, А1) 9. Складальне креслення (СК, А1)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

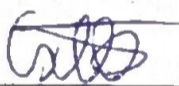
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 1 вересня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Термін виконання	Примітка
1. Огляд та аналіз вихідних технічних рішень та постановка завдань.	1.10.2025р.	Виконано
2. Розробка конструктивних та компоувальних рішень у нап'ятому середовищі	10.11.2025р.	Виконано
3. Проведення проектних та перевірочних розрахунків	1.12.2025р.	Виконано
4. Оформлення текстової та графічної частини квал. роботи	7.12.2025р.	Виконано

Збобувач

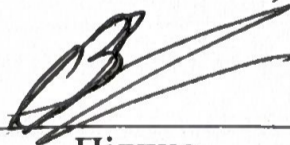


Підпис

Олександр ЛОЗІНСЬКИЙ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи



Підпис


Володимир ОНОФРІЙЧУК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Лозінський Олександр Володимирович
2. Тема магістерської роботи Розробка пристрою для автоматизованого вивантаження виробів легкої промисловості після трафаретного друку
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____
4. Об'єм магістерської роботи: креслень 6 арк., сторінок записки 74
5. У кваліфікаційній роботі розглянуто питання автоматизації процесу зняття та транспортування гнучких виробів після трафаретного друку. Проаналізовано існуючі технологічні та технічні рішення, обґрунтовано вибір принципу дії та розроблено конструкцію автоматизованого пристрою вивантаження виробів. Виконано основні розрахунки, що підтверджують працездатність запропонованої конструкції. Отримані результати можуть бути використані для підвищення ефективності роботи обладнання легкої промисловості.

Підпис студента 


" 10 " 12 2025 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 4 від " 29 " 12 2025 р.

Оцінка проекту ЕК Відмінно / А / 100
Рекомендації ЕК Впровадження у виробництво




Особливі відмітки —

Технічний секретар Пішкова Д.В. 

" 29 " 12 2025 р.

ЗМІСТ

	С.
Вступ	5
1 Аналіз технологічного процесу та огляд існуючих рішень для вивантаження готових виробів	7
1.1 Технологічний процес трафаретного друку на текстильних виробках	7
1.2 Існуючі способи вивантаження та транспортування гнучких виробів	13
Висновок до першого розділу	22
2 Конструювання механізму вивантаження та транспортування готових виробів	24
2.1 Структурна схеми пристрою	24
2.2 Принципова кінематична схема пристрою	28
2.3 Розроблення конструкції пристрою	38
2.4 Опис роботи механізму в технологічному циклі	48
Висновок до другого розділу	51
3 Основні розрахунки	52
3.1 Розрахунок загальної маси конструкції	52
3.2 Розрахунок зубчастих пасів	56
3.3 Розрахунок допустимих напружень	60
3.4 Розрахунок енергоспоживання	67
Висновок до третього розділу	69
Висновки	70
Перелік джерел посилання	71
Додаток А	
Додаток Б	

КвРМБ.024402.01.06 ПЗ								
Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата	Розробка пристрою для автоматизованого вивантаження виробів легкої промисловості після трафаретного друку	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Лозінський О.В.						
Перевір.		Онофрійчук В.І.					4	74
Н.контр.		Неймак В.С.				ХНУ, гр. МБм-24-1		
Ватвер.								

ВСТУП

Трафаретний друк є одним із найпоширеніших методів нанесення зображень на вироби завдяки високій стійкості, універсальності технології та можливості роботи з широким різноманіттям матеріалів. Значну популярність мають автоматизовані карусельні трафаретні верстати, які забезпечують серійність, повторюваність та високу якість друку. Однак, незважаючи на технологічний розвиток обладнання, низка операцій у таких верстатах і досі виконується вручну, що обмежує продуктивність і впливає на стабільність трафаретного друку.

Найпоширенішою з ручних є операція зняття надрукованого текстильного виробу з друкарської платформи та його подальша передача до сушильної лінії. Оскільки виріб має гнучку структуру, навіть незначні помилки можуть спричинити деформації.

У сучасних умовах зростання попиту на автоматизацію виробництва, у легкій промисловості актуальною є розробка механізмів, здатних автоматизувати операції після трафаретного друку. Одним із перспективних напрямів є створення спеціалізованих маніпуляційних пристроїв для делікатного зняття та транспортування текстильних виробів після друку.

Робота з гнучкими матеріалами створює особливі інженерні виклики. На відміну від листових або жорстких деталей, текстиль не має стабільної форми. Тому механізм зняття повинен забезпечувати м'який захват, плавність рухів, точне позиціонування та мінімальне механічне навантаження на готовий виріб.

Метою магістерської роботи є розробка автоматизованого механізму зняття та транспортування текстильних виробів після трафаретного друку з обґрунтуванням конструктивних параметрів, принципу дії та вибору оптимальних технічних рішень.

Об'єктом дослідження є процес зняття та транспортування готових

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

текстильних виробів після трафаретного друку.

Предметом дослідження є конструкція та параметри автоматизованого механізму на основі лінійного маніпулятора.

Методи дослідження включають структурний та кінематичний аналіз механізмів, теоретичні методи розрахунку рухомих систем, інженерні розрахунки сил, моментів і навантажень та сучасні методи комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна роботи полягає у поєднанні лінійної маніпуляційної системи з механічними захватами, оптимізованої під роботу з гнучкими текстильними виробами у складі трафаретного верстата.

Практичне значення роботи полягає у можливості інтеграції розробленого механізму до автоматизованої лінії трафаретного друку, що забезпечить підвищення продуктивності, зменшення кількості браку та зниження залежності виробництва від ручної праці.

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ВИВАНТАЖЕННЯ ГОТОВИХ ВИРОБІВ

1.1 Технологічний процес трафаретного друку на текстильних виробках

Трафаретний друк (шовкографія) – це спосіб нанесення зображення на різні типи поверхонь за допомогою спеціальної друкарської форми, крізь яку фарба проникає на виріб (рис.1.1). [1]

У сучасних умовах трафаретний друк вважається одним з найбільш поширених і технологічно розвинених способів нанесення зображень, який охоплює найрізноманітніші сфери застосування. Сучасна шовкографія активно використовується у виробництві текстильних виробів та одягу, пакувальної продукції, рекламних матеріалів, а також у автомобільній, електронній, керамічній та скляній промисловості. Завдяки можливості друку на матеріалах різної форми, товщини та фізико-механічних властивостей трафаретний друк зберігає свою актуальність і конкурентоспроможність у порівнянні з іншими методами нанесення зображень.

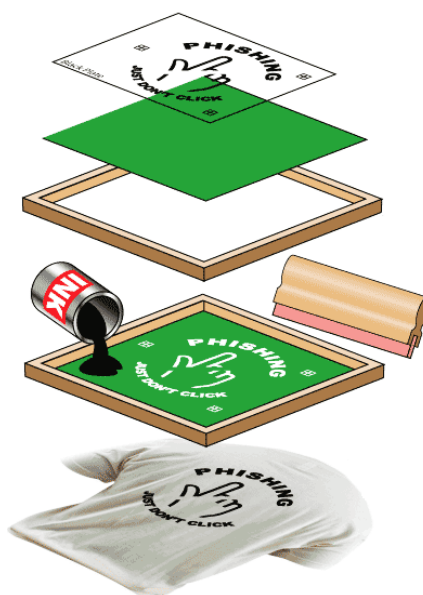


Рисунок 1.1 – Технологія трафаретного друку

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		7

Переваги трафаретного друку:

- а) високі надійність і довговічність обладнання;
- б) низький термін окупності бізнесу.

Недоліки трафаретного друку:

- а) брудне виробництво, яке вимагає великих площ;
- б) велика кількість супутнього обладнання;
- в) необхідність наявності досвідченого персоналу;
- г) недоцільність друку малих тиражів.

1.1.1 Етапи трафаретного друку

Процес трафаретного друку ділиться на декілька основних етапів, після яких можна отримати готовий виріб:

а) підготовка дизайну – ключовий етап у шовкографії, оскільки від якості дизайну залежить результат кінцевого друку. Поширеним методом виготовлення дизайну для трафаретного друку є створення зображення за допомогою спеціальних комп'ютерних застосунків;

б) виготовлення трафаретної сітки – після розроблення дизайну формується трафаретна сітка, через яку в подальшому наноситься фарба. На попередньо знежирену сітку, виготовлену з поліефірного моноволокна наноситься світлочутлива емульсія, що після сушіння засвічується під дією ультрафіолетового випромінювання. Для отримання якісного прямого трафарету необхідно забезпечити рівномірне світлочутливе покриття на тій ділянці сітки, де планується копіювання зображення. Незасвічені ділянки вимиваються водою, утворюючи друкуючі елементи; [2]

в) виготовлення трафаретної рамки – трафаретні рами можуть виготовлятися з дерева або металу. Дерев'яні рами недорогі та прості у виготовленні, проте мають певні недоліки в експлуатації, такі як: вразливість

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		8

до вологи, обмежин термін служби і т.п. Металеві рами вважаються найнадійнішими і стабільними для використання у трафаретному друці. Вони зазвичай виготовляються з алюмінієвих або сталевих профілів з квадратним або прямокутним перерізом. Від якості рамки залежить успішність виконання друку; [2]

г) натягування трафаретної сітки – трафаретну сітку натягують на рамку з спеціально встановленим зусиллям. На дерев'яні рами сітку можна натягувати вручну. Тканина захоплюється спеціальними щипцями з широкими губками. Потім полотно закріплюють скобами. Великі виробництва зазвичай використовують спеціалізовані електромеханічні та пневматичні пристрої натагування трафаретної сітки. Якщо тканину недостатньо сильно натягнуто, то під час друку може статися деформація лінійних розмірів зображення і розбіжність контурів окремих кольорів під час багатокольорового друку;

д) нанесення фарби – фарби мають бути досить текучими, щоб під впливом ракеля проникати через сітчасту форму, але не настільки рідкими, щоб самостійно витікати на зворотний бік трафарету. Для отримання чіткого зображення трафаретній фарбі необхідно бути аномально в'язкою, тобто змінювати свою текучість залежно від прикладеного на неї навантаження. Ракель – це інструмент, який продавлює фарбу крізь сітку (рис.1.2); [3]



Рисунок 1.2 – Сучасний вигляд ручного ракеля

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		9

е) висушування готових виробів – один із ключових етапів у технологічному процесі трафаретного друку, оскільки саме на цій стадії формується остаточна якість відбитка надрукованої деталі. Метою висушування є видалення розчинників або води з фарбового шару та забезпечення його повного закріплення на поверхні виробу. Максимальна продуктивність сушіння досягається застосуванням тунельних сушильних пристроїв (рис.1.3).



Рисунок 1.3 – Електрична конвеєрна сушарка Anatol Solutions [4]

Кожен етап має суттєвий вплив на якість друку, точність передачі зображення та стабільність технологічного процесу.

1.1.2 Системи автоматизації трафаретного друку

Друкарські машини для шовкографії можуть класифікуватися за:

- а) формою друкуючої поверхні (плоскодрукарські, планшетні, ротаційні);
- б) ступеня автоматизації (ручні, автоматичні, напівавтоматичні);
- в) формою друку (для друку на об'ємних / плоских матеріалах);
- г) кольоровістю (однокольорові / багатокольорові);

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		10

Верстати для трафаретного друку представлені різними типами обладнання, що відрізняються конструкцією та призначенням. До найпростіших належать ручні верстати, які використовуються для друку на плоских матеріалах або у вигляді карусельних систем із робочими столами та друкованими формами, що обертаються незалежно один від одного (рис.1.4 а).

Для підвищення продуктивності застосовуються планшетні напівавтомати та автомати, у яких матеріал фіксується на столі, а ракульна система рухається механізовано, забезпечуючи стабільну якість відбитка. Циліндрові плоскодрукарські машини використовують плоску форму, але матеріал переміщується по циліндричній поверхні, що дозволяє друкувати на еластичних та тонких носіях (рис.1.4 б).



Рисунок 1.4 – Сучасні трафаретні верстати карусельного типу:
а) ручний; б) автоматичний планшетний

Також існують такі види верстатів:

а) листові ротаційні трафаретні верстати – оснащені циліндричною формою та друкарською поверхнею, забезпечуючи високу швидкість і точність друку;

б) рулонні ротаційні трафаретні верстати – ракуль розміщується всередині циліндра з формою, а всі елементи працюють синхронно. Складність конструкції робить їх менш поширеними;

в) комбіновані трафаретні верстати – поєднують можливості кількох типів обладнання, що дозволяє працювати з плоскими та об’ємними виробами й розширює технологічні можливості виробництва.

1.1.3 Проблеми впровадження автоматизації процесу зняття та транспортування готових текстильних виробів в трафаретному друці

Автоматизація етапу вивантаження, завантаження та транспортування готових виробів у трафаретному друці залишається складним завданням через специфічні властивості текстильних матеріалів та особливості технологічного процесу. Основною проблемою є специфіка оброблюваних матеріалів: текстильні вироби мають низьку жорсткість, схильні до деформації та не зберігають геометрію під дією зовнішніх зусиль. Це різко обмежує застосування стандартних промислових пристроїв.

Суттєвим ускладненням є використання спеціального клею-адгезиву, яким обробляють друкарські платформи для фіксації тканини під час друку. Після нанесення фарби виріб щільно прилипає до столу, що потребує прикладання контрольованої та рівномірно розподіленої сили відриву. Нерівномірне зняття може призвести до локальної деформації, змазування зображення або відшарування фарби, що унеможлиблює застосування простих виштовхувачів або різких механічних рухів.

Додаткові труднощі виникають через необхідність точної синхронізації механізмів відриву та транспортування із роботою друкарських станцій. Варіативність форматів платформ, типів тканин, ступеня адгезії та кількості нанесених шарів фарби вимагає широкого діапазону налаштувань, що ускладнює створення універсального автоматизованого пристрою.

Таким чином, автоматизація процесу зняття та транспортування гнучких виробів у трафаретному друці потребує спеціалізованих рішень, здатних

забезпечити плавний, контрольований відрив виробу з урахуванням сили адгезії клею, мінімальний вплив на геометрію матеріалу та стабільне позиціонування для подальшого транспортування.

1.2 Існуючі способи вивантаження та транспортування гнучких виробів

У процесах трафаретного друку та суміжних виробництвах важливим етапом є безпечно та акуратно відокремлення гнучкого готового виробу від робочої поверхні та його подальше транспортування. Від обраного способу зняття та переміщення залежить цілісність матеріалу та якість відбитка. У промисловості застосовується низка підходів, що відрізняються конструктивною складністю, ступенем автоматизації та призначенням.

1.2.1 Ручний спосіб зняття гнучких виробів

Ручний спосіб є найпоширенішим способом відокремлення і транспортування гнучких виробів на більшості малих та середніх виробництв. Це суттєво обмежує продуктивність і стабільність якості друку. Оператор верстата відділяє готовий виріб від друкарської платформи вручну та укладає на проміжний стіл, сушильний конвеєр або в сушильну шафу.

Основні недоліки цього способу:

- а) можливість пошкодження свіжого друку через дотик або згинання тканини;
- б) збільшення часу циклу друку через участь оператора;
- в) залежність стабільності процесу від кваліфікації персоналу;
- г) висока втомлюваність при серійному виробництві.

Перевагою є простота реалізації та відсутність складного обладнання, проте цей спосіб не забезпечує стабільної якості при високій продуктивності.

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		13

1.2.2 Пневматичні та електромеханічні виштовхувачі

Одним із найпоширеніших напрямів механізованого зняття виробів із робочої платформи є використання виштовхувальних механізмів, що забезпечують короткочасне підняття або зсув деталі після завершення циклу. Залежно від типу приводу, такі пристрої можуть бути пневматичними або електромеханічними.

Пневматичні виштовхувачі діють за рахунок тиску стисненого повітря, яке через пневморозподільник подається у робочу камеру циліндра, переміщуючи шток або штовхальну пластину (рис.1.5).

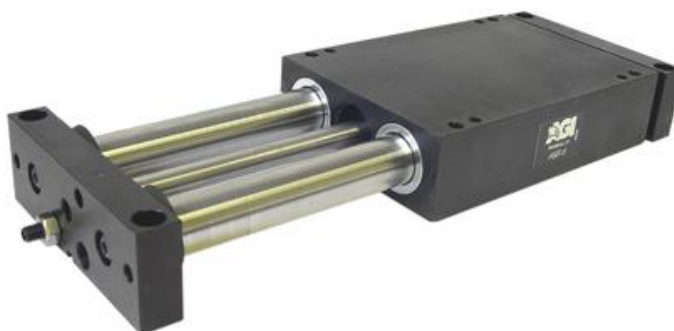


Рисунок 1.5 – Пневматичний лінійний виштовхувач

Перевагами таких систем є:

- а) простота конструкції та низька вартість компонентів;
- б) висока швидкодія і короткий час реакції (до 0,1 с);
- в) плавне регулювання зусилля шляхом зміни тиску подачі.

Недоліки полягають у обмеженій точності позиціонування, наявності інерційних коливань, а також у потребі в пневмокомпресорі, системи фільтрації та підготовки повітря.

Більш сучасним рішенням є електромеханічні виштовхувачі, побудовані на базі лінійних сервоприводів або сервоактуаторів. Такі системи забезпечують високоточне позиціонування рухомого елемента (рис.1.6).

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		14



Рисунок 1.6 – Електромеханічний лінійний виштовхувач

Основні переваги:

- а) можливість програмного налаштування швидкості, прискорення та траєкторії руху;
- б) висока повторюваність і точність позиціонування ($<0,1$ мм);
- в) відсутність шуму і коливань тиску, властивих пневмосистемам;

До недоліків належать висока вартість приводу та потреба в електронному керуванні, однак ці недоліки компенсуються підвищеною стабільністю процесу та можливістю синхронізації з іншими вузлами.

Такі системи прості у реалізації, але мають обмежене застосування: вони підходять лише для жорстких або напівтвердих основ (пластик, картон), не для тканини. У випадку з трафаретним друком, на платформу, де буде розміщуватися заготовка, зазвичай розпилюють спеціальний клей-спрей для надійною фіксації та уникнення зсуву деталі. Тому цей спосіб не зовсім підходить для нашої задачі.

1.2.3 Вакуумні підйомники

Вакуумні підйомники використовуються для підхоплення виробу за поверхню або край за допомогою присосок. Ці системи добре працюють з гнучкими матеріалами, але потребують точного позиціонування і обмежують

швидкість циклу через інерційність вакууму (рис.1.7).



Рисунок 1.7 – Маніпулятор з вакуумними присосками Pisko [5]

Вакуумні присоски часто використовуються як захвати в ручних або автоматизованих системах транспортування. Вони мають кілька переваг у таких системах, включаючи те, що вони відносно прості, компактні, легкі, недорогі та вимагають мінімального обслуговування. Вони здатні міцно захоплювати деталі в системах з високою швидкістю руху, а також забезпечують обережне транспортування крихких деталей. [6]

Більшість конструкцій вакуумних присосок складаються з двох основних компонентів:

а) гума, яка контактує з заготовкою і утворює ущільнення вакуумної присоски, підтримуючи рівень вакууму всередині;

б) металеві деталі та фітінги — це компоненти, що полегшують монтаж вакуумної присоски на робочому місці.

Зазвичай види вакуумних присосок класифікують за їхньою формою або призначенням:

а) плоскі присоски – одні з найпоширеніших, призначені для роботи з широким спектром об'єктів, як плоских, так і злегка вигнутих. Наприклад, вони підходять для переміщення металевих пластин у пресах або делікатного транспортування тонких деформованих матеріалів, таких як картон, папір або пластик;

б) вакуумні присоски з сільфоном – використовуються при обробці деталей з перепадами рівнів, які потребують компенсації. При застосуванні вакууму сільфон стискається, ефективно піднімаючи деталь;

в) прямокутні присоски – спеціально розроблені для ефективної обробки вузьких деталей або в ситуаціях, коли оптимізація доступної площі поверхні має вирішальне значення. [7]

1.2.4 Маніпуляторні системи

Одним із найперспективніших напрямів автоматизації процесів зняття та переміщення виробів є застосування маніпуляторних систем, побудованих на базі електромеханічних приводів та мікропроцесорного керування. Маніпуляторні системи належать до найбільш гнучких і універсальних засобів автоматизації технологічних процесів. Їхнє основне призначення полягає у захопленні, переміщенні, орієнтації та укладанні виробів або заготовок в межах робочої зони обладнання.

Маніпулятор є багатоланковим механізмом із приводами обертового або поступального типу, який здатен відтворювати задані рухи у просторі за певною траєкторією. Є широкий спектр типів конструкцій маніпуляторів, нижче наведено чотири найпоширеніших із них:

а) маніпулятор декартового (лінійного) типу – складається з трьох лінійних пристроїв, що рухаються паралельно координатним осям X, Y та Z. Такий маніпулятор також відомий як маніпулятор XYZ або маніпулятор

лінійного типу. Основними перевагами маніпулятора декартового типу є простота управління та точність позиціонування (рис.1.8);



Рисунок 1.8 – Маніпулятор декартового типу

б) маніпулятор циліндричного типу – складається з двох основних рухових елементів: лінійного переміщення вздовж осі Z та обертання навколо осі Z. Це дозволяє маніпулятору виконувати рухи вздовж осі Z та обертатись навколо цієї осі (рис.1.9);

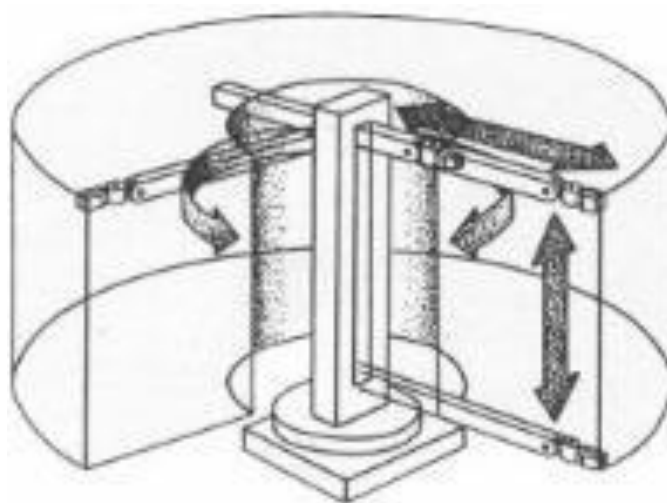


Рисунок 1.9 – Маніпулятор циліндричного типу

в) маніпулятор сферичного типу – має можливість обертатись у трьох основних координат: обертання навколо осі Z, обертання навколо осі Y та обертання навколо осі X. Ці рухи дозволяють маніпулятору здійснювати обертання у всіх трьох осях, що надає йому гнучкість у роботі з об'єктами у сферичних координатах (рис.1.10). [8]

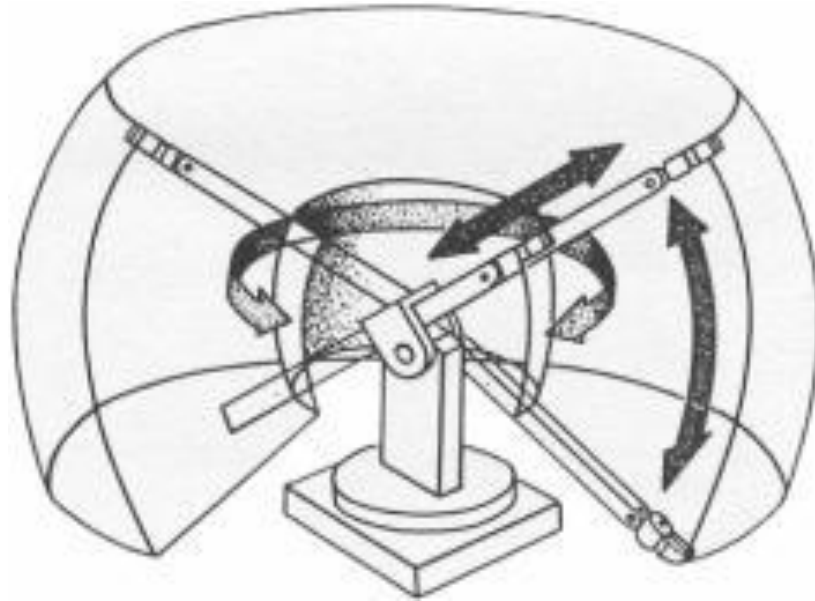


Рисунок 1.10 – Маніпулятор сферичного типу

г) полярний робот-маніпулятор – це стаціонарні типи машин, які мають руки, що підтримуються сферичними робочими оболонками. Їхня конструкція є складнішою, ніж більшість інших роботів. Вони мають пару поворотних шарнірів, які працюють разом із призматичним шарніром. Полярні роботи використовуються для виконання таких операцій, як підбір і розміщення та палетування, серед інших повторюваних завдань (рис.1.11). [9]

Залежно від призначення, робочий орган маніпулятора може бути оснащений механічними, пневматичними, вакуумними або магнітними захоплювачами, які забезпечують утримання деталей різної форми, маси та матеріалу.

1.2.5 Типи приводів захватних пристроїв

Однією з найважливіших ланок, що визначає технологічні можливості промислового робота, є захватний пристрій. Захватні пристрої призначені для захвату і утримання об'єкту маніпулювання в процесі його переміщення. Під час їх конструювання враховують форму заготовки, її властивості, умови перебігу технологічного процесу (рис.1.12).



Рисунок 1.12 – Елекромеханічний захватний пристрій

В залежності від характеру дії на об'єкт маніпулювання розрізняють чотири типи захватних пристроїв:

- а) механічні (рис.1.12);
- б) вакуумні (рис.1.13 а);
- в) магнітні (рис.1.13 б);
- г) інші, що використовують фізико-хімічні властивості об'єкту.

Комбінування дозволяє отримати синергію властивостей різних приводів, оптимізувати роботу в зонах, де потрібна керована сила, висока швидкодія або адаптивність до форми та властивостей деталі.

Висновок до першого розділу

Проведений всебічний аналіз технологічного процесу трафаретного друку, класифікації друкарського обладнання та існуючих способів вивантаження та транспортування гнучких виробів показав, що одним із найбільш проблемних етапів технологічного циклу трафаретного друку є вивантаження готового виробу з друкарської платформи верстата та його подальше транспортування. Складність автоматизації цього процесу обумовлена низькою жорсткістю текстильних матеріалів, необхідністю делікатного контрольованого відриву від поверхні платформи з клейовим шаром, високими вимогами до точності позиціонування, а також обмеженим простором у зоні друку. Аналіз наявних промислових рішень показує, що більшість з них залишаються або малоефективними, або надмірно складними для впровадження у складі трафаретних верстатів мало- та середньосерійного виробництва.

Отже, результати проведеного огляду підтверджують актуальність розроблення спеціалізованого механізму для автоматизованого зняття та транспортування готових текстильних виробів у трафаретному друці. Створення такого пристрою є технічно обґрунтованим та доцільним, оскільки дозволяє підвищити продуктивність, стабільність якості готової продукції та рівень автоматизації виробничого процесу.

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		23

2 КОНСТРУЮВАННЯ МЕХАНІЗМУ ВИВАНТАЖЕННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ ГОТОВИХ ВИРОБІВ

2.1 Структурна і функціональна схеми пристрою

Структурна і функціональна схеми пристрою вивантаження та транспортування готових виробів є основою для подальшого конструкторського опрацювання. Вони дозволяють встановити склад системи, взаємозв'язки між окремими вузлами, принципи обміну сигналами та логіку виконання технологічного циклу. Структурна схема визначає, з яких елементів складається пристрій, а функціональна – які функції виконують ці елементи та в якій послідовності.

2.1.1 Вибір принципу дії механізму вивантаження та транспортування готових виробів.

Під час огляду і аналізу існуючих технологічних рішень, було запропоновано реалізацію механізму зняття та транспортування текстильної деталі у вигляді лінійного маніпулятора, оснащеного двома незалежними захватами, що захоплюють тканину у двох точках з однієї сторони і синхронно перетягують її на приймальний конвеєр (рис.2.1).

Такий підхід поєднує простоту конструкції та можливість тонкого налаштування траєкторії й сили через електромеханічні приводи.

Переваги рішення:

а) мінімальний контакт із зафарбованою поверхнею, отже низький ризик змащування;

б) точний контроль траєкторії і сили;

в) проста механіка – лінійні направляючі, ремінні приводи;

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		24

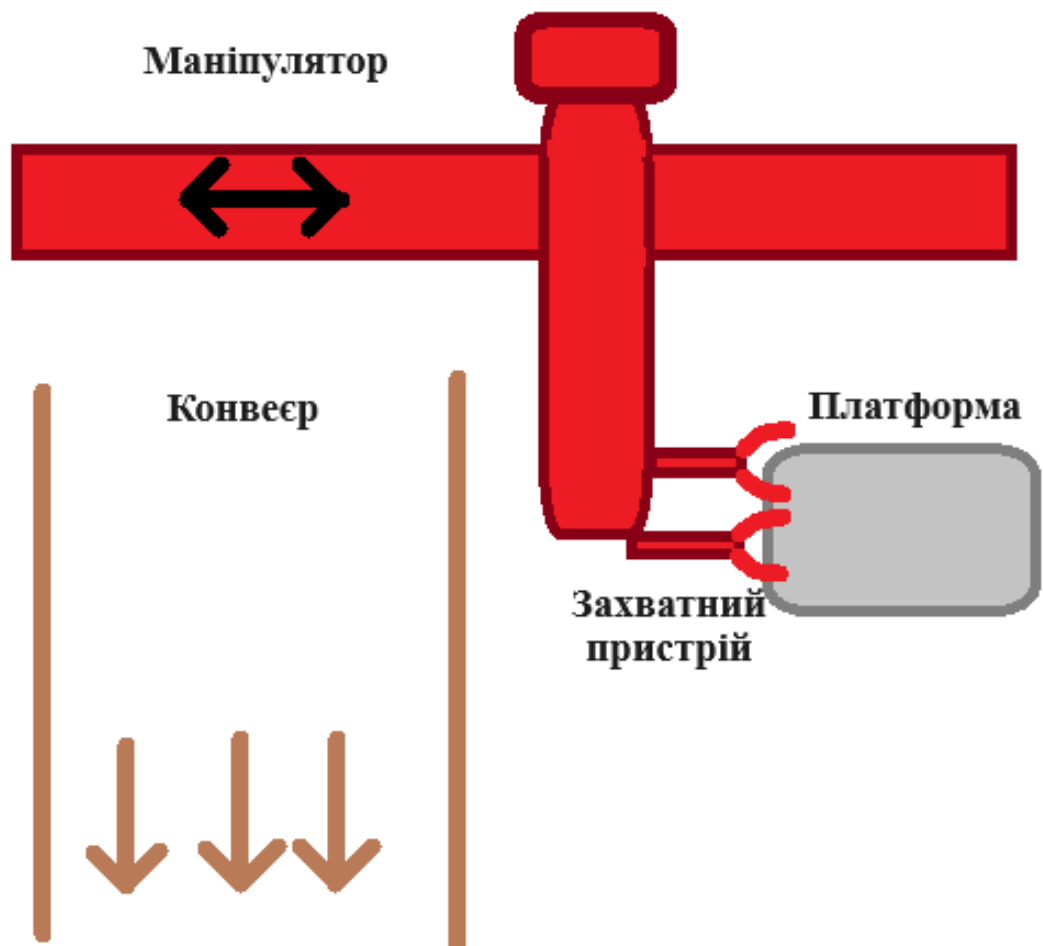


Рисунок 2.1 – Ілюстративна схема принципу дії механізму зняття транспортування готових виробів

г) можливість двоточкового захоплення для кращого контролю натягу тканини при перетягуванні – зменшує складки і перекоси;

д) гнучке керування – обидва захвати можуть працювати синхронно або з невеликим зсувом для корекції натягу;

е) інтеграція зі стандартним конвеєром – проста передача і укладання.

Обмеження та недоліки:

а) потреба у точному визначенні місця захвату;

б) складність при дуже великих або малорозмірних деталях;

в) потрібна система контролю натягу тканини, щоб уникнути розтягування або деформацій виробу.

2.1.1 Структурна схема пристрою

Структурна схема демонструє основні складові системи та характер інформаційних, силових і механічних зв'язків між ними. Структурна схема показує ці елементи у вигляді окремих функціональних блоків із відповідними зв'язками між ними. (рис.2.2)

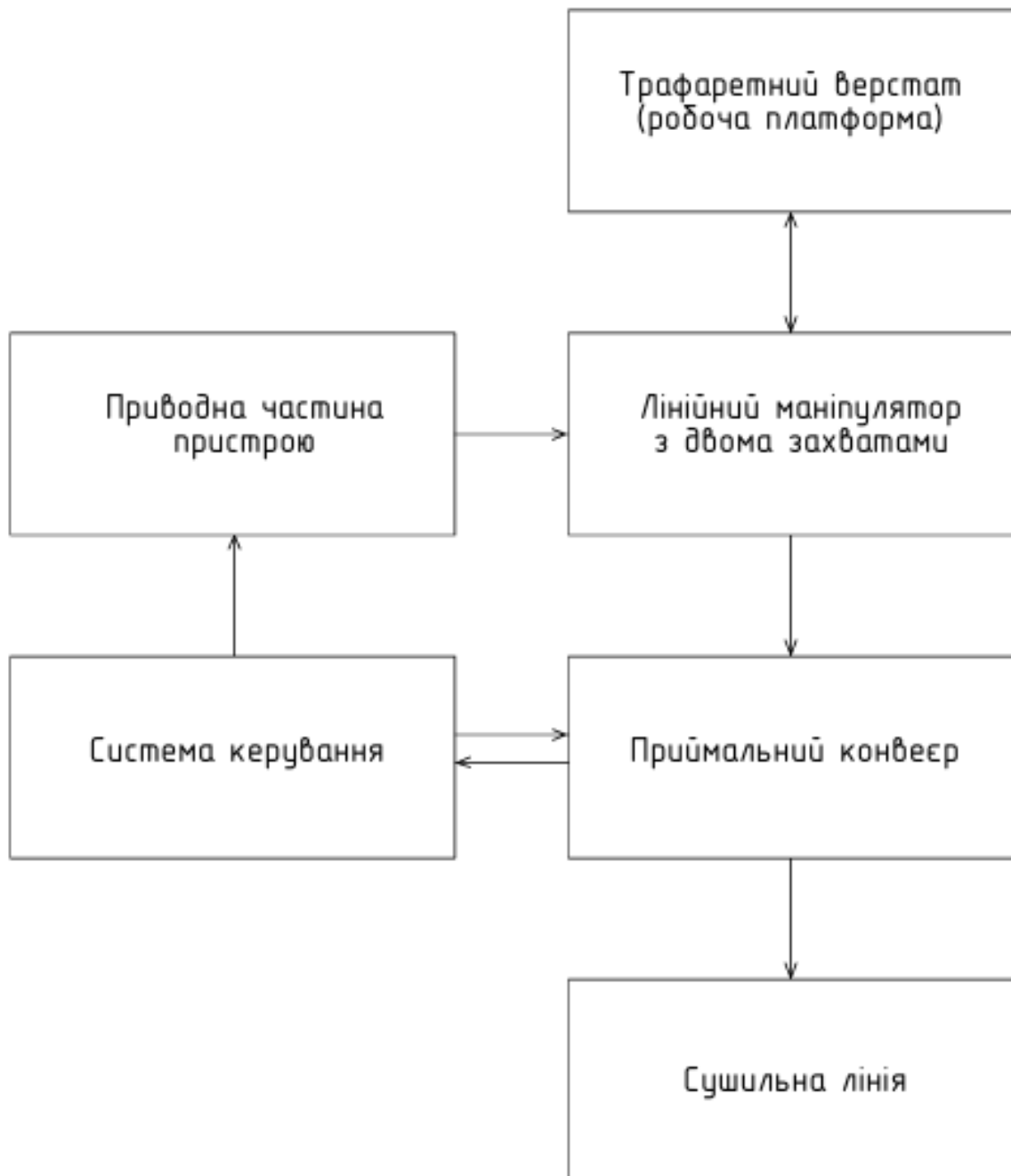


Рисунок 2.2 – Структурна схема пристрою

Пристрій складається з таких основних блоків:

1) трафаретний верстат – служить носієм готового виробу. У вузлі встановлено друковану платформу з клейовим шаром, до якої тимчасово фіксується текстильний виріб під час нанесення зображення;

2) лінійний маніпулятор з захватним пристроєм – складається з напрямних та приводів осі X та Y, що забезпечує горизонтальне переміщення рухомих кареток. Маніпулятор здійснює переміщення захватного пристрою до робочої зони трафаретного верстату та транспортування готового виробу до приймального конвеєра. Захватний пристрій призначений для делікатного відриву гнучкого виробу від платформи;

3) приймальний конвеєр – приймає готовий виріб від маніпулятора після операції вивантаження з платформи та забезпечує його стабільне транспортування до сушильного блоку. Конвеєр узгоджений за швидкістю з роботою маніпулятора, що запобігає зміщенню або деформації виробу;

4) система керування – основний логічний елемент пристрою, який координує роботу приводів, сенсорів і виконавчих механізмів. Система керування забезпечує синхронізацію дій маніпулятора з технологічним циклом трафаретного друку, контроль послідовності операцій, а також корекцію параметрів руху залежно від умов роботи;

5) приводна частина пристрою – включає електродвигун осей лінійного переміщення, елементи передачі руху, а також блоки керування приводами та джерела живлення. Приводна частина забезпечує реалізацію заданих траєкторій руху, формування необхідних зусиль для відриву готового виробу та його подальшого транспортування;

6) сушильна лінія – призначена для термічної обробки готових виробів з метою закріплення фарби після трафаретного друку. Сушильний блок забезпечує стабільний температурний режим і рівномірний прогрів матеріалу, що гарантує необхідну якість та стійкість нанесеного зображення.

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		27

2.2 Принципова кінематична схема пристрою

2.2.1 Принципова кінематична схема приводу осей X та Y

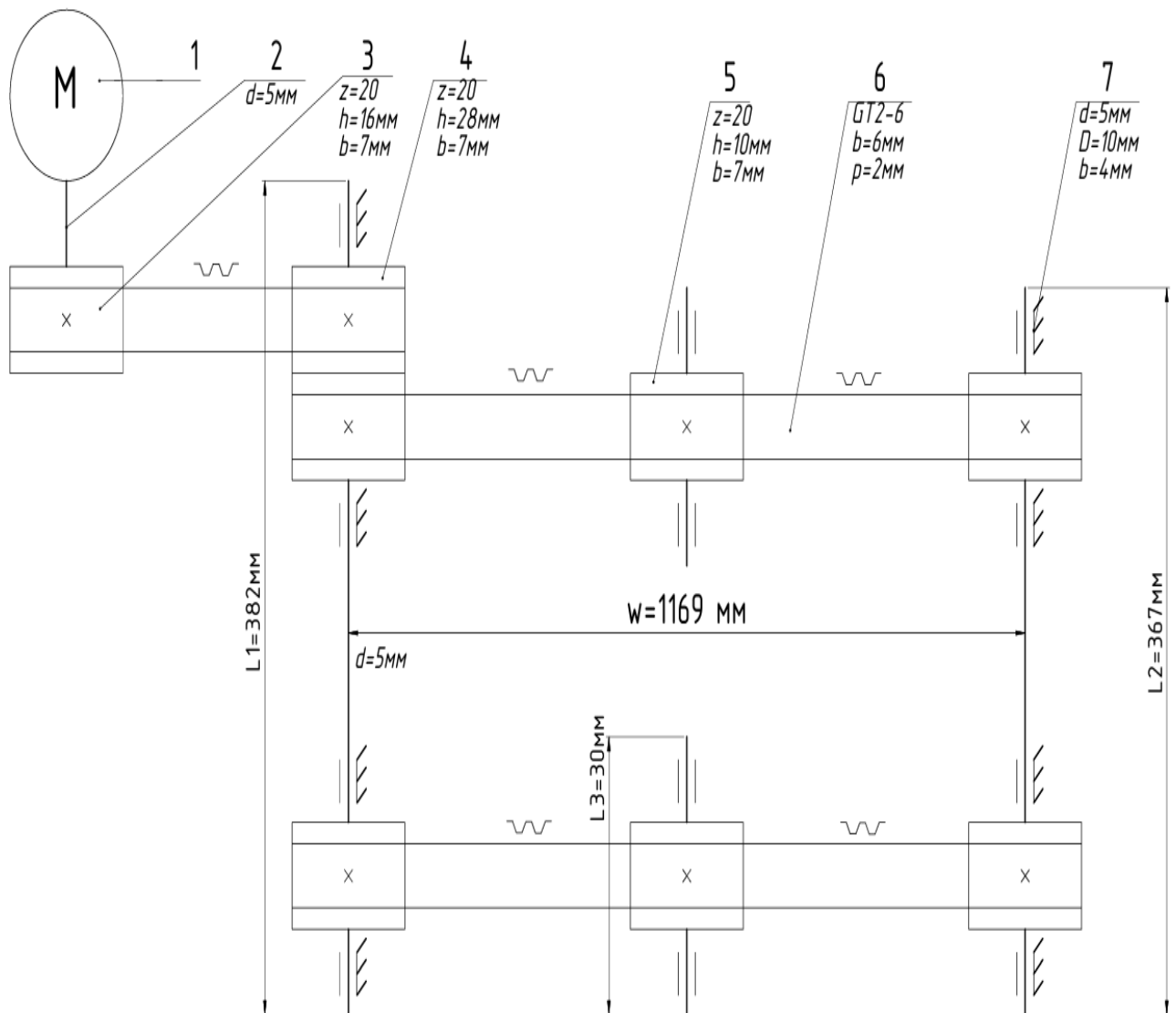
Принципова кінематична схема пристрою відображає основні кінематичні ланки, їх взаємозв'язки та спосіб передавання руху від приводів до виконавчих механізмів системи. Вона дозволяє встановити структуру механізму, визначити характер переміщення робочих органів та обґрунтувати вибір типів приводів, напрямних і кінематичних пар. Побудова такої схеми є базовим етапом проектування, оскільки забезпечує розуміння роботи механізму незалежно від конструктивних деталей та геометричних розмірів.

У проєктованому пристрої, призначеному для зняття гнучких текстильних виробів із друкарської платформи трафаретного верстата та їх подальшого транспортування на конвеєр, використано лінійну кінематичну структуру. Робочий орган переміщується у просторі за допомогою лінійних рухів уздовж відповідних осей, а захоплення та відрив виробу забезпечуються окремим механізмом із двома незалежними захватами. Така компоновка дозволяє реалізувати плавні та контрольовані траєкторії переміщення, що є критично важливим при роботі з гнучкими матеріалами та ускладнених умовах відриву від липкої поверхні платформи.

Кінематична схема включає передавальні механізми руху, напрямні осей переміщення, каретки з робочим органом та виконавчі органи у вигляді двох захватів.

Осі X та Y забезпечують горизонтальне переміщення робочого органу з захватним механізмом від зони друку трафаретного верстата до приймального конвеєра. Кінематично ці паралельні осі являють собою лінійний механізм поступального руху, у якому обертання приводного електродвигуна перетворюється на лінійне переміщення рухомої ланки (рис.2.3).

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		28



1 – кроковий двигун NEMA 23; 2 – обертовий вал; 3 – зубчастий шків електродвигуна; 4 – зубчастий шків подвійний; 5 – зубчастий шків; 6 – зубчастий пас GT2-6; 7 – підшипник кочення

Рисунок 2.3 – Кінематична схема приводу осі X та Y

Основними елементами кінематичної схеми осі X та Y є:

1) кроковий електродвигун NEMA 23 (рис.2.4), закріплений на нерухомій рамі. Він створює обертальний рух, який передається на ведучий шків. Потрібні параметри крокового двигуна розраховуються під час кінематичних розрахунків пристрою;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КвРМБ.024402.01.06 ПЗ

Арк.

29



Рисунок 2.4 – Кроковий двигун NEMA 23

2) обертовий вал – вал діаметром $d = 5$ мм. Один з валів вмонтований в конструкцію електродвигуна, довжиною 20 мм. Два довгих вали з ідентичним діаметром, закріплені на конструкціях зі шківками та мають довжину $L_1 = 382$ мм, $L_2 = 367$ мм. Їх міжосьова відстань $w = 1169$ мм. Довжина інших валів $L_3 = 367$ мм. Загальна кількість обертових валів – 5;

3) зубчастий шків крокового електродвигуна (рис.2.5 а) – зубчастий шків з кількістю зубів $z = 20$, робоча ширина шківки $b = 7$ мм, загальна ширина шківки $h = 16$ мм, матеріал – алюміній або сталь. Закріплюється до валу електродвигуна за допомогою двох установочних гвинтів;

4) подвійний зубчастий шків (рис.2.5 б) – зубчастий шків з двома посадковими місцями під пас. Кількість зубів $z = 20$, робоча ширина шківки $b = 7$ мм, загальна ширина шківки $h = 28$ мм, матеріал – алюміній або сталь. Перше посадочне під пас місце розташоване паралельно посадочному місцю шківки електродвигуна. Закріплюється до обертового валу за допомогою двох установочних гвинтів;

5) зубчастий шків (рис.2.5 в) – шків з кількістю зубів $z = 20$, робоча ширина $b = 7$ мм, загальна ширина $h = 10$ мм, матеріал – алюміній або сталь. Два центральних шківки встановлені в корпусі несучої структури і забезпечують її лінійний рух. Інші виконують роль введеного шківки.

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		30

Закріплюється до обертового валу за допомогою двох установочних гвинтів
 Загальна кількість шківів – 5;

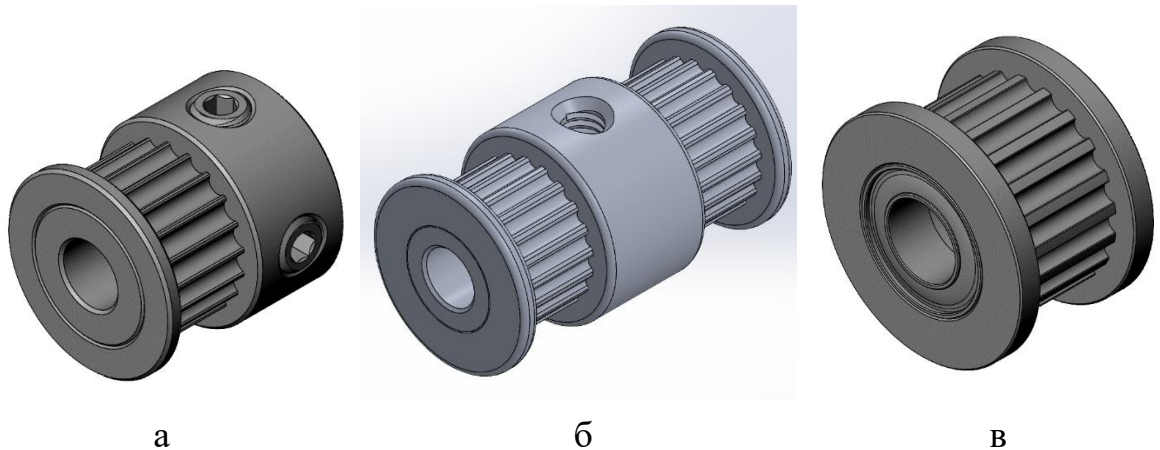


Рисунок 2.5 – Зубчасті шківів: а – зубчастий шків електродвигуна;
 б – подвійний зубчастий шків; в – зубчастий шків

б) зубчастий пас (рис.2.6) – стандартний зубчастий пас GT2-6, армований скловолокном. Ширина паса $b = 6$ мм, відстань між зубцями $p = 2$ мм. Зубчасті паси встановлюються на шків електродвигуна і подвійний шків та між двома шківками фіксованих кареток. Загальна кількість пасів – 3. Довжина пасів розраховується при конструюванні моделі пристрою;

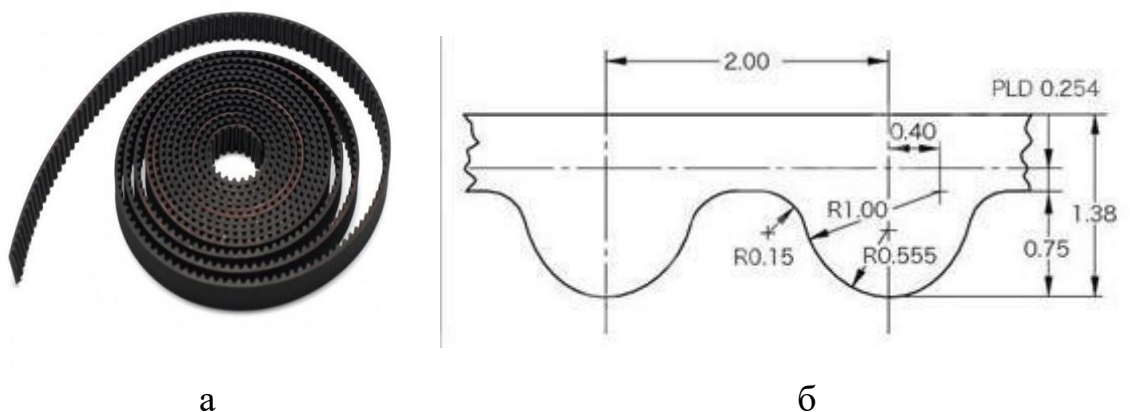


Рисунок 2.6 – Зубчастий пас GT2-6: а – загальний вигляд; б – розміри профіля [12]

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КвРМБ.024402.01.06 ПЗ

Арк.

31

7) підшипники кочення (рис .2.7) – запресовуються на усі обертові вали пристрою окрім вала крокового двигуна. Внутрішній діаметр $d = 5$ мм, зовнішній діаметр $D = 10$ мм, ширина підшипника $b = 4$ мм. Розташовуються на крайніх нерухомих та на рухомих каретках попарно;

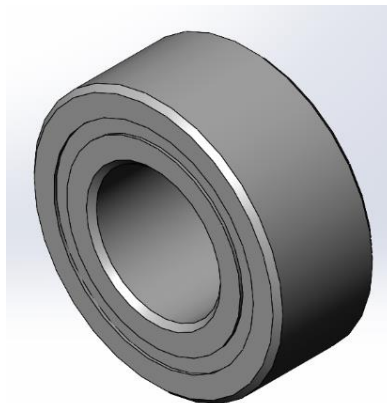
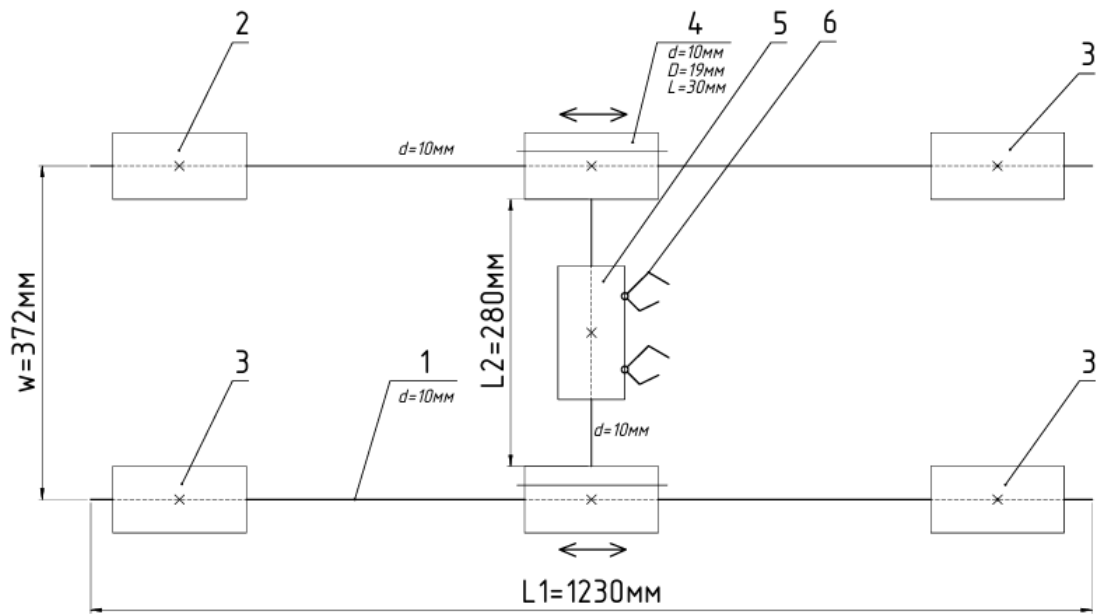


Рисунок 2.7 – Підшипник кочення

Вище перелічені елементи утворюють єдиний кінематичний ланцюг, у якому обертовий рух перетворюється на поступальний (лінійний), що забезпечує горизонтальне переміщення маніпулятора вздовж осей X та Y. На рисунку 2.8 показано схему кінематики лінійного руху. Основними елементами кінематики лінійного руху осі X та Y є:

1) лінійний вал – два вали діаметром $d = 10$ мм та довжиною $L_1 = 382$ мм, забезпечують паралельний лінійний рух кареток з вбудованим лінійним підшипником. Їх міжосьова відстань $w = 372$ мм. Між двома рухомими каретками закріплюють два інші вали, довжиною $L_2 = 367$ мм, які фіксують основну нерухому каретку із захватним пристроєм;

2) крайня фіксована каретка під подвійний шків (рис.2.9) – нерухома деталь вузла лінійного руху закріплена на крайній точці лінійного валу, найближче до крокового двигуна. На деталі встановлено подвійний шків із запресованим обертовим валом та підшипниками. В подвійному шківу перше посадочне під пас місце розташоване паралельно посадочному місцю шківів двигуна;



1 – лінійний вал; 2 – крайня фіксована каретка під подвійний шків;
 3 – крайня фіксована каретка; 4 – рухома каретка з вбудованим лінійним підшипником; 5 – фіксована каретка захватного пристрою;
 6 – захватний пристрій

Рисунок 2.8 – Кінематика лінійного руху

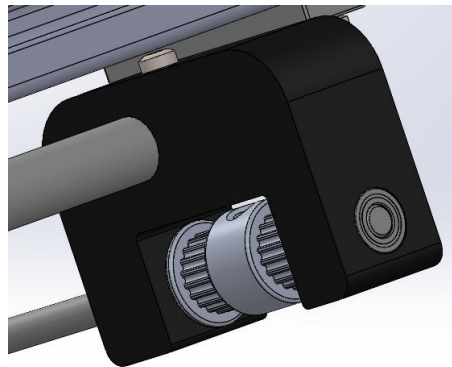


Рисунок 2.9 – Крайня фіксована каретка під подвійний шків

3) крайня фіксована каретка (рис.2.10) – нерухомі деталі вузла лінійного руху закріплені на крайніх точках лінійних валів. На деталі встановлено зубчастий шків із запресованим обертовим валом та підшипниками. Загальна кількість кареток – 3;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КвРМБ.024402.01.06 ПЗ

Арк.

33

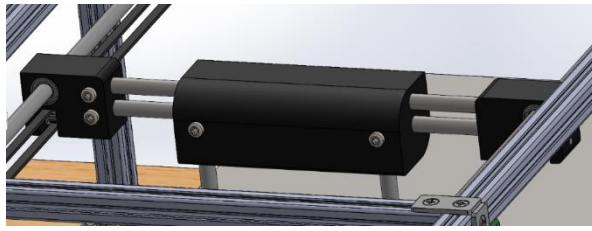
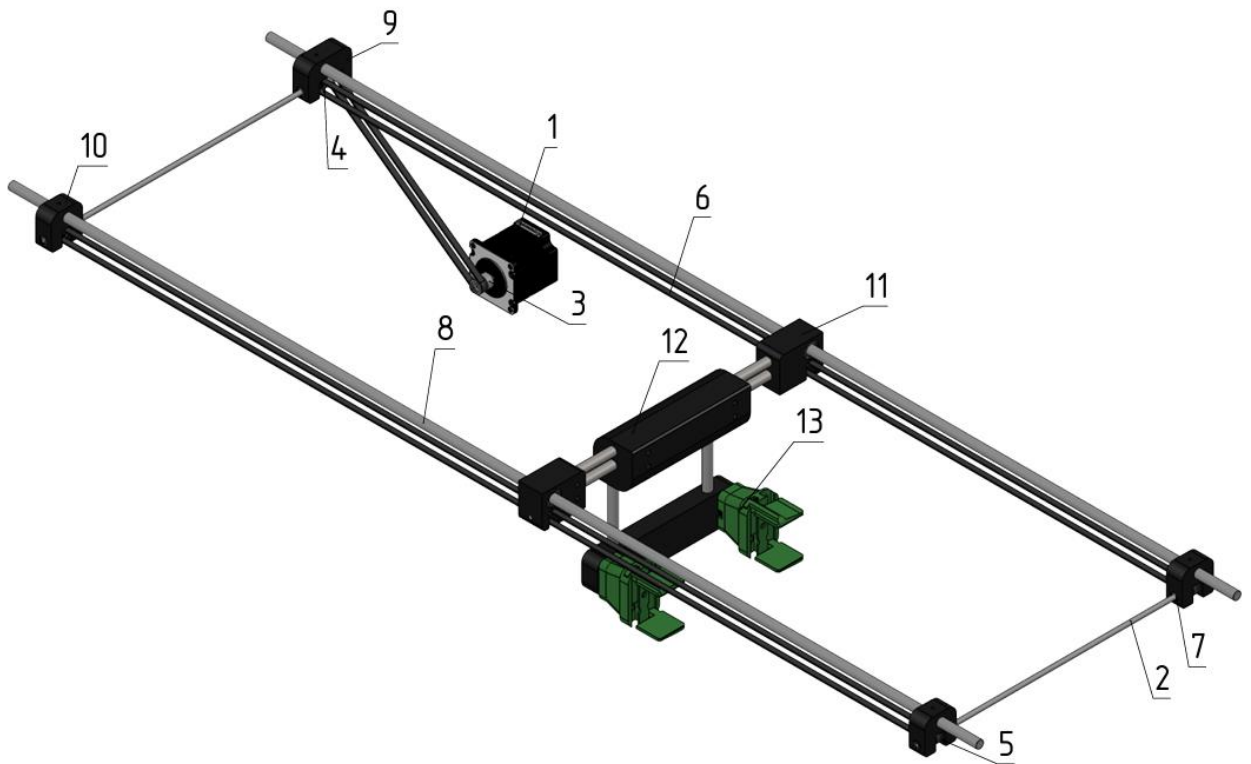


Рисунок 2.12 – Фіксована каретка захватного пристрою

б) захватний пристрій – на кінематичній схемі умовно зображені два, незалежних один від одного захватних механізмів. Більш детально про захватний механізм буде розглянуто у наступному підпункті.



- 1 – кроковий електродвигун NEMA 23; 2 – обертовий вал; 3 – зубчастий шків крокового двигуна; 4 – подвійний зубчастий шків; 5 – зубчастий шків; 6 – зубчастий пас GT2-6; 7 – підшипник кочення; 8 – лінійний вал; 9 – фіксована каретка під подвійний шків; 10 – фіксована каретка; 11 – рухома каретка з вбудованим лінійним підшипником; 12 – фіксована каретка захватного пристрою; 13 – захватний пристрій

Рисунок 2.13 – Кінематична схема осі X та Y аксонометричний вигляд

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КвРМБ.024402.01.06 ПЗ

Арк.

35

На рисунку 2.13 зображена тривимірна кінематична схема осі X та Y з усіма вище переліченими елементами.

2.2.2 Принципова кінематична схема приводу захватного механізму

У запропонованій конструкції використано електромеханічний лінійний привід, у якому обертальний рух прямозубої шестерні, закріпленої на серводвигуні перетворюється на поступальний рух завдяки двом зубчастим рейкам, розташованим з двох сторін.

Для подальшого конструювання було обрано запозичену модель паралельного лінійного захвату (рис.2.14). Механізм працює по системі редуктора з рейковою передачею, що складається з двох захватів та центральної прямозубої шестерні. В якості приводу механізму виступає мікросерводвигун SG90, розташований всередині корпусу захвату. Розмір шестерні розрахований таким чином, щоб при її оберті на 180 градусів захват розкривався на 47 мм в одну сторону та щільно закривався в іншу [13]. Для забезпечення рівномірного притискання та зменшення деформації матеріалу захватний механізм оснащений еластичною накладкою.

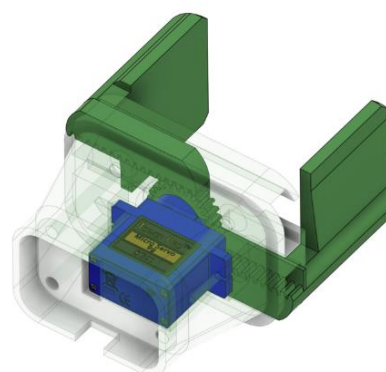
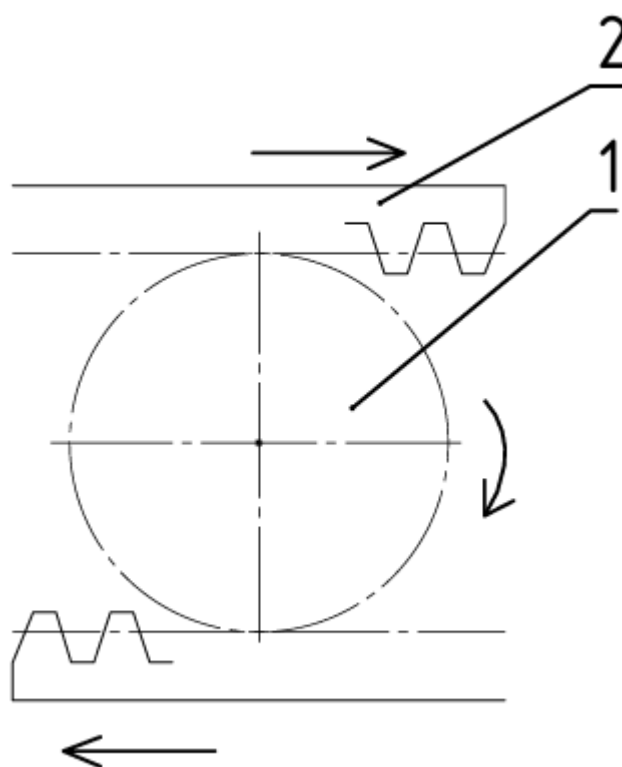


Рисунок 2.14 – Захватний пристрій [13]

Привід захватного механізму призначений для надійного утримання та контрольованого відпускання гнучкого виробу під час його зняття з платформи

трафаретного верстату та подальшого транспортування. Кінематична схема захватного механізму забезпечує перетворення руху приводу у лінійне переміщення робочих елементів захвату (рис.2.15).



1 – прямозуба шестерня; 2 – зубчаста рейка

Рисунок 2.15 – Кінематична схема приводу захватного механізму

В пристрої вивантаження та транспортування гнучких виробів буде розміщено два однакових, незалежних один від одного приводів захвату. Основними елементами кінематичної схеми приводу захватного механізму є:

- 1) мікросерводвигун SG90 (рис.2.16) – розміщується всередині корпусу захвату та передає обертовий рух на прямозубу шестерню;
- 2) шестерня прямозуба – перетворює обертальний рух в поступальний за допомогою двох зубчастих рейок;
- 3) зубчасті рейки – дві зубчасті рейки розташовані з двох протилежних сторін шестерні. При обертанні шестерні на 180 градусів, виконують лінійний рух в протилежні сторони.



Рисунок 2.16 – Мікросерводвигун SG90

2.3 Розроблення конструкції пристрою

Розроблення конструкції механізму зняття та транспортування виробів є ключовим етапом проектування, під час якого формується технічний вигляд пристрою, визначаються основні компоненти та принципи їх взаємодії. На цьому етапі здійснюється вибір конструктивних рішень, що забезпечують необхідну жорсткість, точність позиціонування, швидкодію та надійність роботи механізму в умовах трафаретного друку.

Конструкція пристрою формується на основі результатів аналізу вимог до технологічного процесу, кінематичної схеми та особливостей роботи з гнучкими текстильними матеріалами.

2.3.1 Каркас пристрою

Каркас пристрою виконує опорну функцію, забезпечуючи жорсткість і точність роботи механізму. В конструкції пристрою присутні два типи каркасів:

а) основний каркас – має форму П-подібної конструкції, що дозволяє вільно переміщати робочий орган над платформою та конвеєром (рис.2.17).

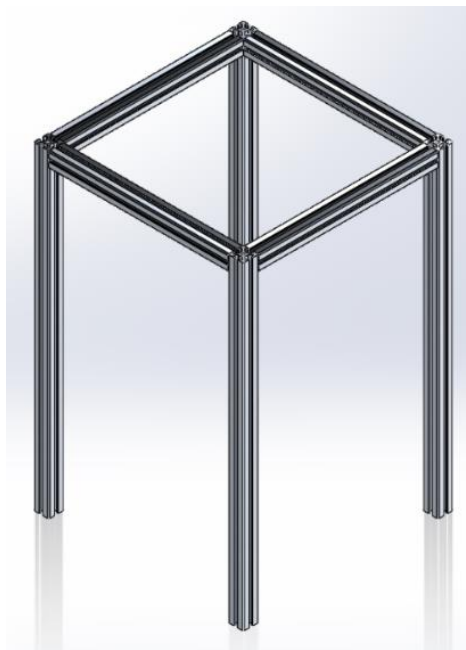


Рисунок 2.17 – Основна рама ізометричний вигляд

Рама виконується з алюмінієвого профілю 40×40 мм (рис 2.18). Використання верстатного алюмінієвого профілю забезпечує низьку масу конструкції, достатню жорсткість на вигин і кручення та можливість зручного монтажу направляючих та кабельних каналів.

Висота конструкції 820 мм. Завдяки використанню алюмінієвих верстатних профілів – висоту конструкції можливо змінити. За потреби можна підібрати довшу або коротшу довжину чотирьох опорних профілів. Довжина і ширина основної рами пристрою однакові та складають 540 мм.

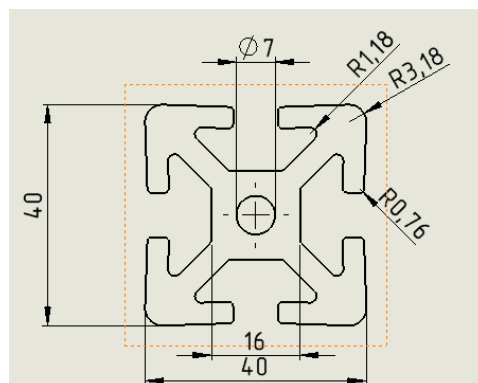


Рисунок 2.18 – Алюмінієвий верстатний профіль 40×40 мм

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КвРМБ.024402.01.06 ПЗ

Арк.

39

Алюмінієві верстатні профілі з'єднуються між собою за допомогою спеціальних кутових з'єднувачів в нижній частині. Вони спеціально розраховані під Т-подібні пази профілю та фіксуються на чотири гвинти М5 довжиною 12 мм (рис.2.19).

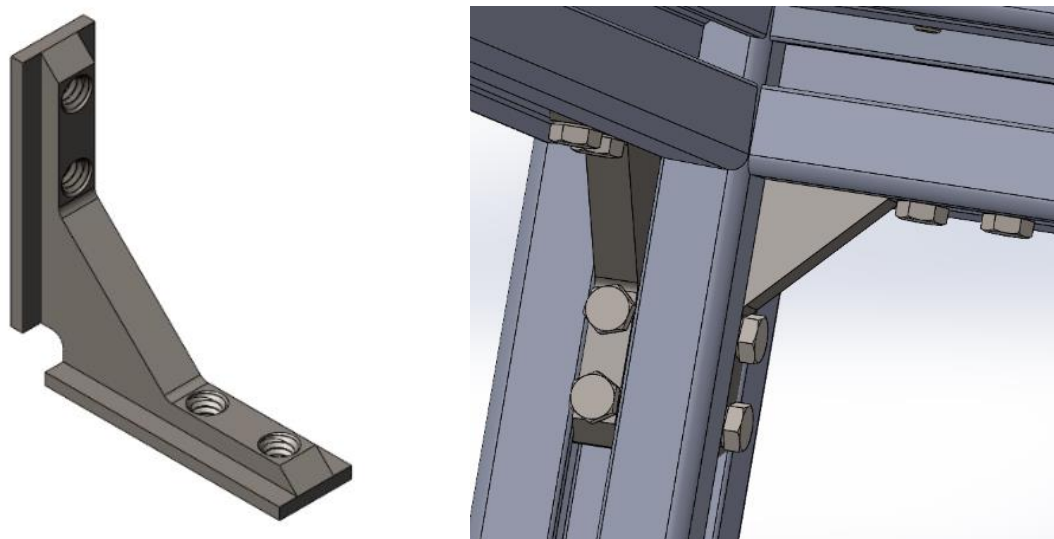


Рисунок 2.19 – Кутовий з'єднувач та приклад закріплення профілів

У подальшому на несучий каркас конструкції в якості столу передбачається встановлення дошки ЛДСП (ламінованої деревно-стружкової плити) товщиною 16 мм, яка виконує функцію верхньої монтажною та захисної поверхні. Довжина і ширина плити однакові та складають 600 мм (рис.2.20).



Рисунок 2.20 – Плита ЛДСП

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		40

Панель ЛДСП жорстко закріплюється до алюмінієвого профілю за допомогою чотирьох спеціальних зажимів по два на кожную сторону та фіксуються з'єднанням гвинт-гайка. Використовуються гвинти М5 довжиною 30 мм та відповідні гайки (рис.2.21). Створення отворів на дошці виконується при встановленні зажимів. Відстань між зажимами є довільною, але не близькою одна до іншої;

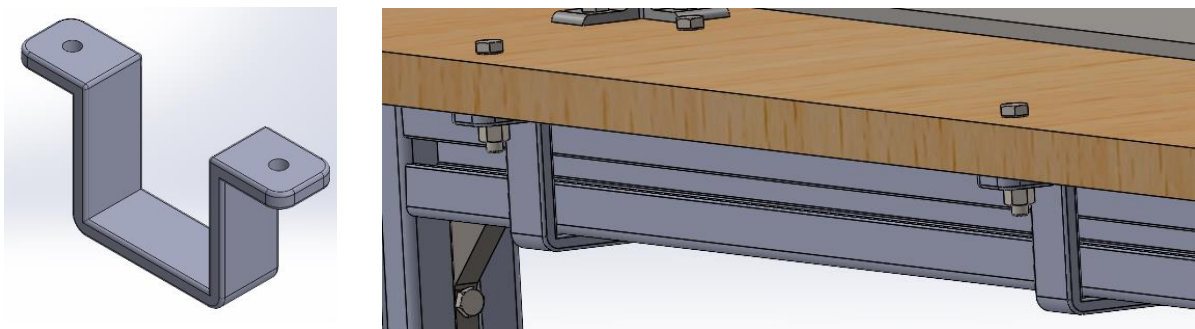


Рисунок 2.21 – Зажим стола та приклад з'єднання

б) каркас маніпулятора – є базовим несучим елементом конструкції та призначений для розміщення і фіксації основних вузлів механізму вивантаження та транспортування виробів (рис.2.22).

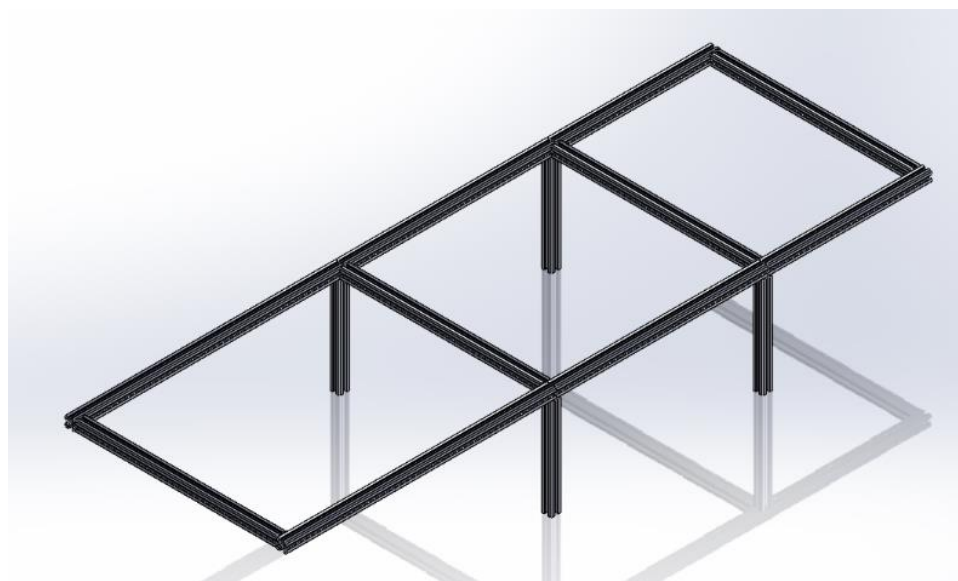


Рисунок 2.22 – Каркас маніпулятора ізометричний вигляд

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		41

У проєктованому пристрої каркас виконано з алюмінієвих верстатних профілів перерізом 20×20 мм, що забезпечують оптимальне поєднання жорсткості, малої маси та зручності монтажу (рис.2.23). Загальна довжина каркасу 1220 мм, ширина 420 мм. Між двома довгими профілями встановлюють чотири поперечних, два з яких кріпляться по краям. Третій профіль кріпиться на відстані 480 мм від лівого, четвертий на відстані 280 мм від протилежного (правого). Таким чином ліва сторона буде працювати біля приймального конвеєра, а протилежна буде розташована біля платформи трафаретного верстату.

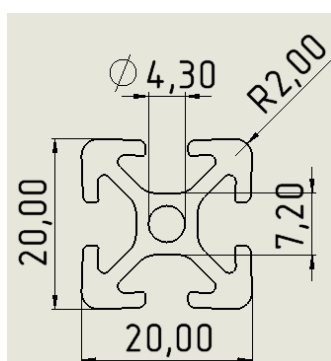


Рисунок 2.23 – Переріз алюмінієвого верстатного профілю 20×20 мм

Вертикальні елементи каркаса виконують функцію опор і забезпечують необхідну жорсткість конструкції у вертикальній площині, тоді як горизонтальні профілі формують робочу раму для кріплення осі X та допоміжних вузлів. Для зменшення прогинів і підвищення стійкості конструкції каркас має додаткові поперечні перемички, які рівномірно розподіляють навантаження.

Верстатні профілі з'єднуються між собою за допомогою спеціальних прямих з'єднувачів. Вони спеціально розраховані під T-подібні пази профілю та фіксуються на два гвинти М5 з потайною головкою. Такі з'єднувачі кріпляться на майже усіх верхніх стикових точках (рис. 2.24). Загальна кількість з'єднань – 12.

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		42

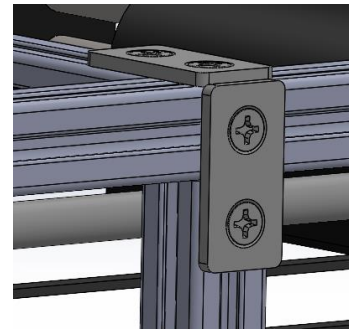
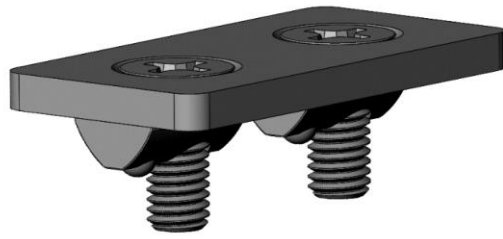
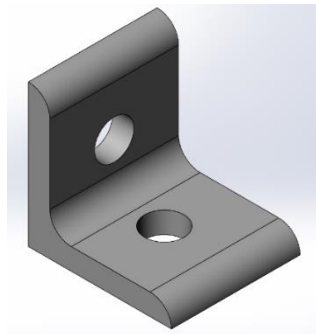
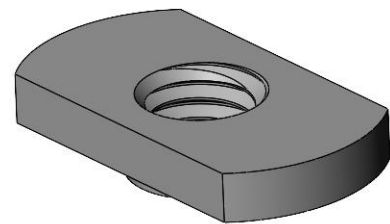


Рисунок 2.24 – З'єднання верхніх профілів каркасу маніпулятора

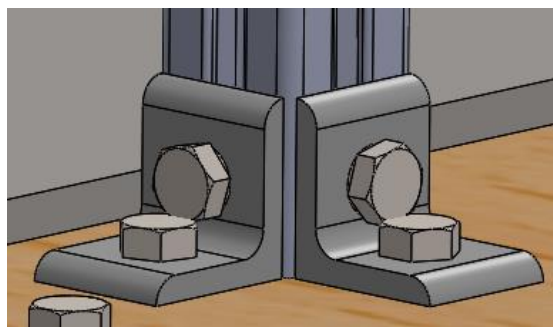
До плити основної рами каркас маніпулятора кріпиться кутовими з'єднувачами (рис.2.25 а,в). Зі сторони профілів застосовується спеціальна Т-подібна гайка, яка міцно фіксується за допомогою гвинта М5 з тонкою головкою, довжиною 10мм (рис.2.25 б). До дошки з'єднувач фіксується методом гвинт-гайка за допомогою гвинтів М5, довжиною 30 мм та відповідними гайками. Загальна кількість з'єднань – 8.



а



б



в

Рисунок 2.25 – З'єднання каркасу маніпулятора до плити основного каркасу: а – кутовий з'єднувач; б – Т-подібна гайка; в – приклад з'єднання

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КвРМБ.024402.01.06 ПЗ

Арк.

43

Між вертикальними профілями каркасу встановлюється спеціальна приймальна плита, виготовлена з сталюого листа з полірованою поверхнею та товщиною 5 мм (рис.2.26). Вона виконує функцію безпечного транспортування готового виробу завдяки гладкій поверхні. Довжина плити складає 750 мм, а ширина 350 мм. На відстані 10 мм від довшої сторони листа просверлюють вісім отворів діаметром 5 мм.

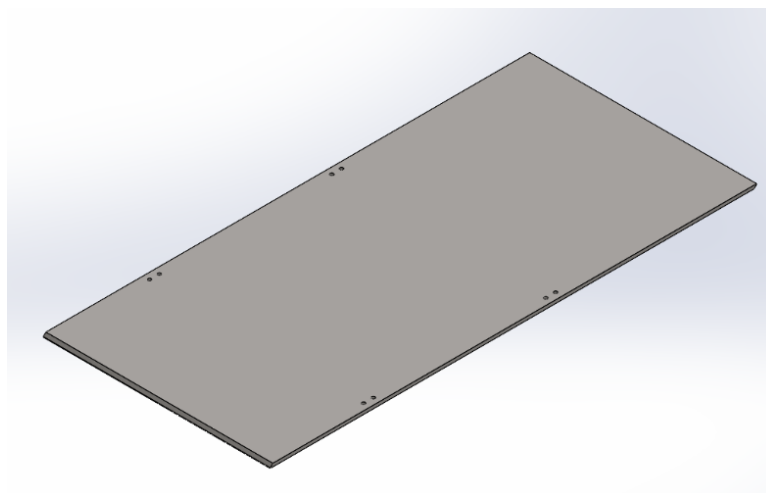


Рисунок 2.26 – Приймальна плита

Далі лист фіксують до столу основного каркасу за допомогою з'єднання гвинт-гайка, гвинтами М5 довжиною 30 мм та відповідними гайками. Зі сторони трафаретного верстату кріпиться з рекомендованою відстанню 150 мм від столу основного каркасу. З протилежної сторони лист повинен бути розміщений вертикально краю столу.

2.3.2 Несуча структура горизонтального руху пристрою

На каркасі маніпулятора встановлюються лінійні напрямні у вигляді круглих валів, які слугують основою для переміщення рухомих кареток. Два лінійних вали, діаметром 10 мм розміщуються вздовж довгих сторін каркасу маніпулятора та фіксуються за допомогою спеціальних затискачів, які водночас закріплюються до профілю. Довжина валів $L = 1230$ мм.

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		44

Рекомендовано при затисканні валів залишати відступ, приблизно 10 мм. Чотири затискачі фіксуються на верстатних провілях за допомогою гвинтів М4 та Т-подібних гайок (рис.2.27).

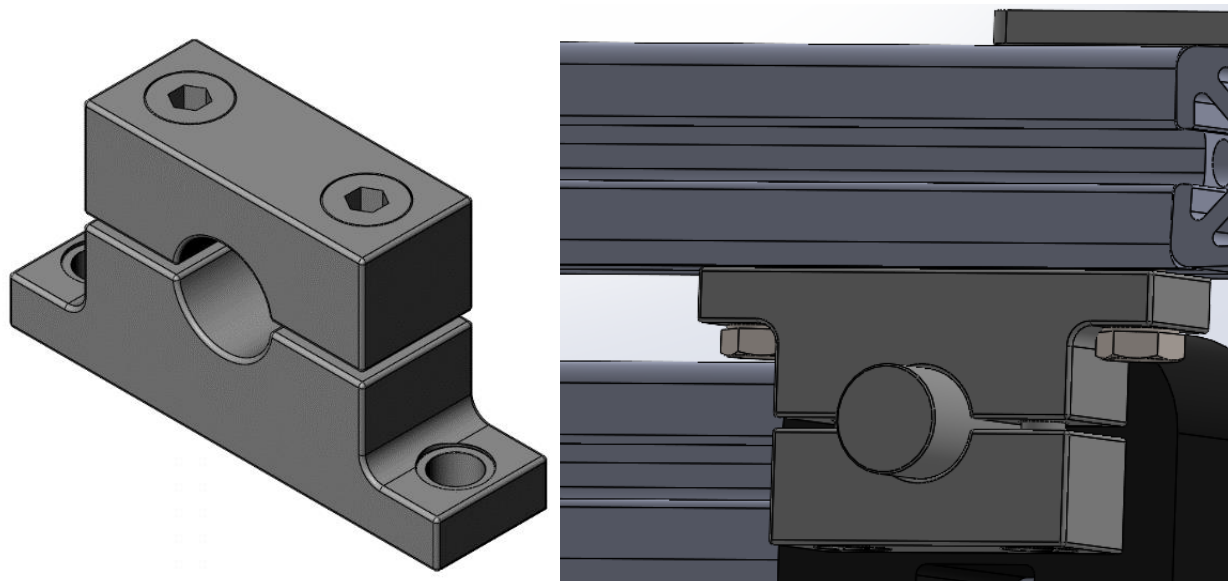


Рисунок 2.27 – Затискач валу та приклад з'єднання

Перед цим на кожен з валів встановлюються по дві фіксовані каретки (рис.2.10), одна з яких розрахована для встановлення подвійного зубчастого шківа і розташована найближче до крокового двигуна (рис. 2.9) та одну рухоми каретку (рис.2.11) між ними. На рисунку 2.28 зображено приклад установки цих конструкцій на вал. Завдяки прорахунку габаритів конструкції, рухома каретка повинна вільно рухатися в лінійному напрямку вздовж валу та не торкатися конструкції маніпулятора.

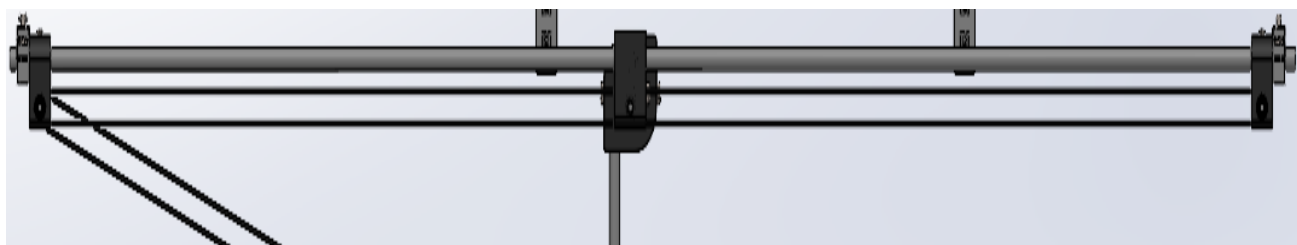


Рисунок 2.28 – Приклад встановлення кареток на вал

Нерухомі каретки фіксуються на вал за допомогою гвинтів М3, які закріплюються у верхніх отворах з запаяними різьбовими втулками. За допомогою лінійного переміщення фіксованих кареток також виконується натягування зубчатого пасу.

2.3.3 Несуча структура захватного пристрою

Фіксована каретка захватного пристрою (рис.2.11) фіксується рівно по центру за допомогою двох поперечних валів, діаметром 10 мм, які водночас закріплені до рухомих кареток. Довжина поперечних валів $L = 280$ мм.

В нижній частині каретки захватного пристрою перпендикулярно до столу фіксуються два вали, діаметром 10 мм та довжиною 160 мм. Далі вони закріплюються до корпусу захватного механізму, який завдяки своїй конструкції здатен регулювати захватний механізм по висоті. Близьче до країв корпусу закріплюються два захватних пристрої за допомогою гвинтів М4.

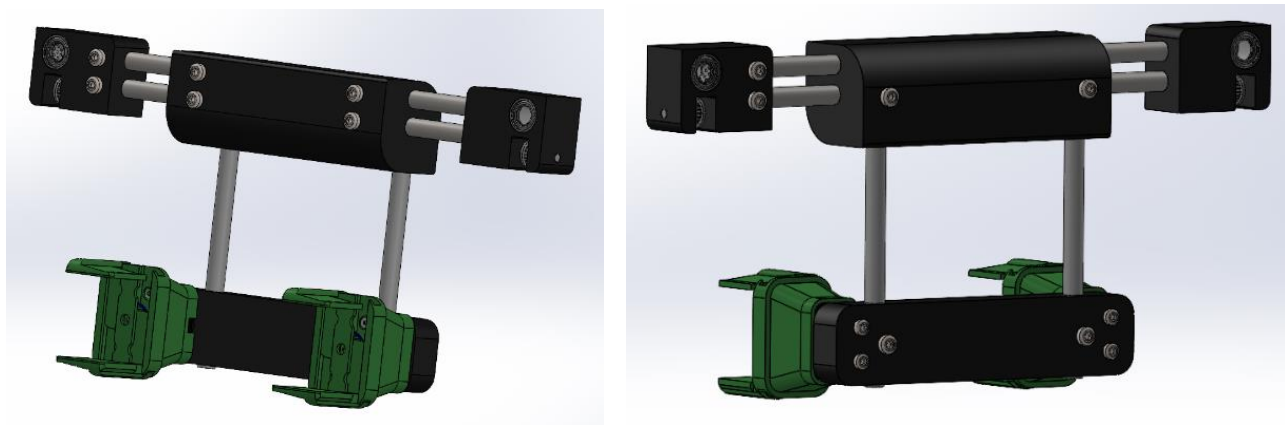


Рисунок 2.29 – Приклад встановлення конструкції захватного пристрою

На рисунку 2.29 зображено приклад встановлення конструкції захватного пристрою. Усі вали фіксуються за допомогою гвинтів М5, які закріплюються у отворах з запаяними різьбовими втулками.

2.3.4 Приводи обертового руху пристрою

Головним приводом механізму є кроковий електродвигун NEMA 23, який встановлюється на дошці основного каркасу за допомогою спеціального кріплення. Двигун розташовується зі сторони приймального конвеєра в одному з кутів плити основного каркасу (рис.2.30).

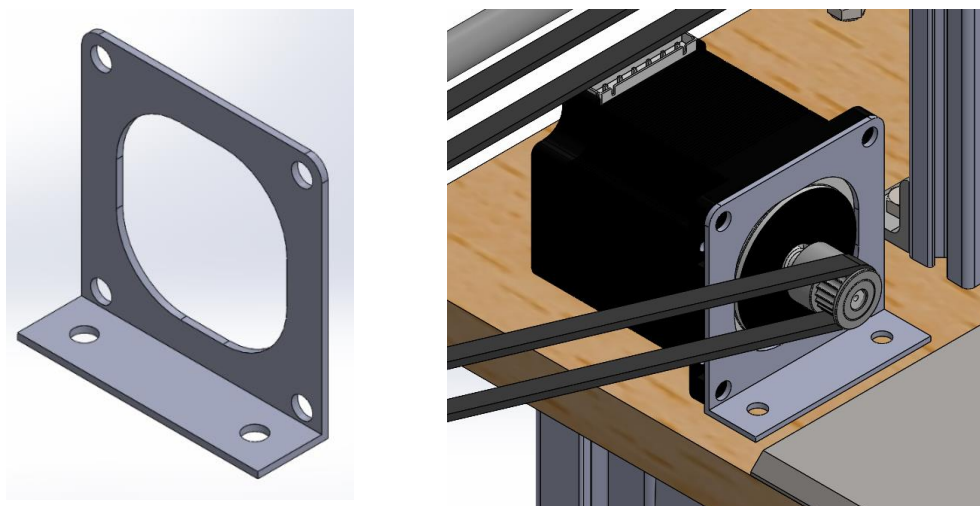


Рисунок 2.30 – Холдер крокового електродвигуна та приклад розміщення

Між фіксованими каретками, їх підшипниками та шківками запресовують два довгих обертових вали, діаметром 5 мм. Довжина валів різна. Для пари каретки з подвійним шківом і звичайної каретки – довжина обертового вала складає 382 мм. Для пари звичайних нерухомих кареток – довжина вала складає 367 мм.

Для рухомих кареток, їх підшипників та шківків запресовують окремі обертові вали, діаметром 5 мм та довжиною 30 мм.

Обертові вали призначені для передачі крутного моменту та обертального руху між елементами механізму, забезпечення розміщення і фіксації деталей передачі, сприйняття радіальних та осьових навантажень, а також забезпечення точності та надійності роботи механічної системи. [14]

2.4 Опис роботи механізму в технологічному циклі

Робота автоматизованого пристрою вивантаження виробів здійснюється синхронно з технологічним циклом трафаретного друку та включає послідовність взаємопов'язаних операцій.

Після завершення операції нанесення фарби та підйому друкарської форми друкарська платформа з готовим виробом фіксується у визначеному положенні. У цей момент система керування подає сигнал на початок роботи механізму вивантаження.

Лінійний маніпулятор переміщується вздовж горизонтальної осі X у зону друкарської платформи. Після позиціонування маніпулятора над виробом здійснюється опускання захватного механізму. Захвати синхронно змикаються та фіксують край гнучкого виробу у двох точках з однієї сторони платформи.

Після повного відокремлення виробу маніпулятор здійснює горизонтальне переміщення у напрямку приймального конвеєра сушильної лінії. У визначеній позиції маніпулятор переміщується назад на коротку задану відстань водночас розмикаючи захвати. Виріб укладається на конвеєр для подальшого транспортування та сушіння.

Після завершення операції вивантаження маніпулятор повертається у вихідне положення, що забезпечує готовність пристрою до наступного технологічного циклу друку.

2.4.1 Загальна циклограма роботи пристрою

Для того що було легше скласти циклограму, слід розділити роботу пристрою на три основних розділи:

- 1) горизонтальний рух осі x та y (x_0, x_1, x_{-1}, x_{-2});
- 2) відкривання та закривання захватів (z_0, z_1);

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		48

3) вимикання і вмикання приймального конвеєра (y_0, y_1).

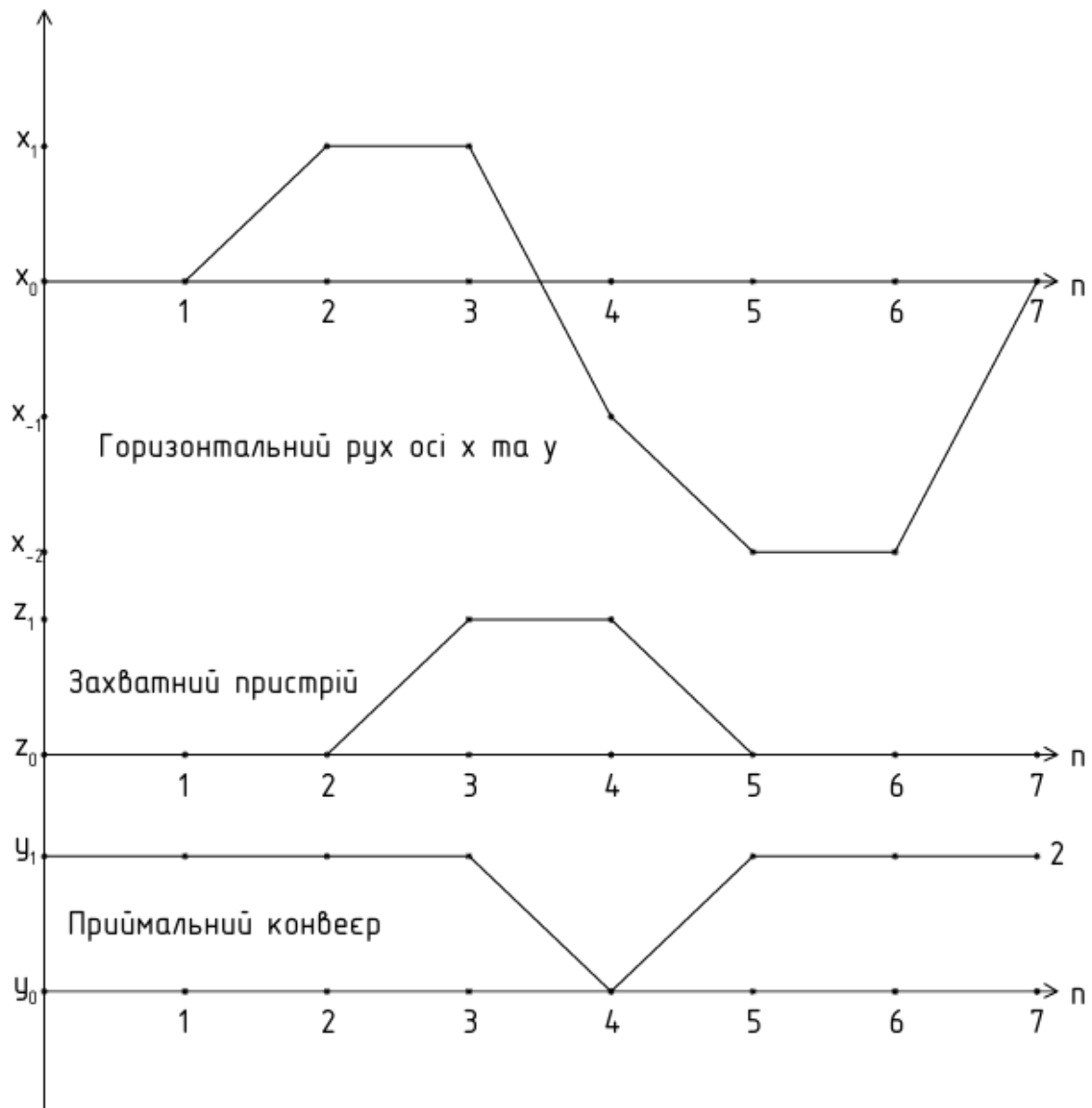


Рисунок 2.31 – Загальна циклограма роботи пристрою

На рисунку 2.28 зображенна загальна циклограма роботи пристрою, побудованна за допомогою вище перелічених даних. Технологійний цикл роботи пристрою вивантаження та транспортування готових виробів поділяється на декілька послідовних етапів:

1) маніпулятор знаходиться в початковому положенні (x_0), приймальний конвеєр ввімкнений (y_1), захват відкритий (z_0);

2) маніпулятор рухається до платформи трафаретного верстату (x_1), приймальний конвеєр ввімкнений (y_1), захват відкритий (z_0);

3) маніпулятор знаходиться біля платформи трафаретного верстату (x_1), приймальний конвеєр ввімкнений (y_1), захват закривається (z_1);

4) маніпулятор рухається до приймального конвеєра (x_{-1}), приймальний конвеєр вимикається (y_0), захват закритий (z_1);

5) маніпулятор переміщується назад на коротку задану відстань (x_{-2}), приймальний конвеєр вмикається (y_1), захват відкривається (z_0);

6) маніпулятор стоїть в тому ж положенні (x_{-2}), приймальний конвеєр ввімкнено (y_1), захват відкритий (z_0);

7) маніпулятор переміщується в початкове положення (x_0), приймальний конвеєр ввімкнено (y_1), захват відкритий (z_0).

Таблиця 2.1 – Умовна циклограма пристрою

Цикл	Етап						
	1	2	3	4	5	6	7
Маніпулятор в початковому положенні							
Маніпулятор біля трафаретного верстату							
Маніпулятор біля приймального конвеєра							
Маніпулятор переміщений назад на коротку задану відстань							
Захват відкритий							
Захват закритий							
Конвеєр рухається							
Конвеєр зупинений							

Таблиця 2.1 зображає умовну циклограму роботи пристрою. Вона поділяється на етапи та цикли. Чорним кольором показано активність циклів на кожному з етапів.

Висновок до другого розділу

Виконано конструювання механізму вивантаження та транспортування готових виробів після трафаретного друку. На основі аналізу умов роботи, технологічних обмежень і особливостей гнучких текстильних виробів запропоновано конструктивну схему автоматизованого пристрою, що забезпечує зняття виробу з робочої платформи та його подальше переміщення на приймальний конвеєр.

Розроблено загальну компоновку механізму, визначено принцип його роботи в складі технологічного циклу трафаретного друку, а також підібрано основні конструктивні елементи та компоненти, зокрема каркас із алюмінієвих верстатних профілів, лінійні вали з підшипниками ковзання, зубчасто-пасові передачі та захватний механізм. Обґрунтовано застосування лінійної схеми переміщення, що забезпечує простоту конструкції, надійність роботи та можливість подальшої модернізації.

Виконано тривимірне моделювання основних вузлів механізму в середовищі САД-системи, що дозволило уточнити габаритні розміри, взаємне розташування елементів та перевірити кінематичну узгодженість роботи приводу. Запропоновані конструктивні рішення відповідають вимогам автоматизації процесів у легкій промисловості та можуть бути реалізовані з використанням стандартних комплектуючих.

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		51

3 ОСНОВНІ РОЗРАХУНКИ

3.1 Розрахунок загальної маси конструкції

Розрахунок загальної маси конструкції необхідний для:

- а) оцінки навантажень на приводи осей;
- в) перевірки несучої здатності каркаса.

Загальна маса конструкції визначається як сума мас усіх основних елементів:

$$m_{\text{заг}} = \sum m_i, \quad (3.1)$$

де m_i – маса окремого конструктивного елемента, кг;

При розрахунку не будуть враховуватися деталі з'єднання, шківни, паси, підшипники, кроковий двигун та захватний механізм.

3.1.1 Розрахунок маси каркасів маніпулятора

Основний каркас пристрою побудований на основі алюмінієвих верстатних профілів 40×40 мм. Каркас маніпулятора побудований на основі профілів 20×20 мм. Для визначення маси каркасів необхідно знати їх погонну масу та загальну довжину:

$$m_1 = m_{\text{пог}_1} \cdot L_1 + m_{\text{пог}_2} \cdot L_2, \quad (3.2)$$

де $m_{\text{пог}_1}$ – погонна маса профілів 40×40 мм, кг/м;

L_1 – загальна довжина профілів 40×40 мм, м;

$m_{\text{пог}_2}$ – погонна маса профілів 20×20 мм, кг/м;

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		52

L_2 – загальна довжина профілів 20×20 мм, м.

Погонна маса алюмінієвого профілю 40×40 мм $m_{\text{пог}_1} = 1,5 \text{ кг/м}$,
 $m_{\text{пог}_2} = 0,7 \text{ кг/м}$. Під час конструювання каркасу пристрою було враховано загальну довжину використаних профілів $L_1 = 5,12 \text{ м}$, $L_2 = 4,72 \text{ м}$. Отже за формулою (3.2):

$$m_1 = 1,5 \cdot 5,12 + 0,7 \cdot 4,72 = 10,98 \text{ кг.}$$

Основною перевагою використання алюмінієвих верстатних профілів при розробці конструкції каркасів пристрою є їх низька маса та вартість.

3.1.2 Розрахунок лінійних та обертових валів

В конструкцію приводів входять сталі лінійні вали, діаметром $D_1 = 10 \text{ мм}$. Та обертові вали, діаметром $D_2 = 5 \text{ мм}$.

Для визначення маси валів необхідно знати їх погонну масу та загальну довжину:

$$m_2 = (m_{\text{пог}_3} \cdot L_3) + (m_{\text{пог}_4} \cdot L_4), \quad (3.3)$$

де $m_{\text{пог}_3}$ – погонна маса лінійного валу з діаметром 10 мм, кг/м ;

$m_{\text{пог}_4}$ – погонна маса обертового валу з діаметром 5 мм, кг/м ;

L_3 – загальна довжина лінійних валів, м;

L_4 – загальна довжина обертових валів, м.

Погонна маса сталюого лінійного валу $m_{\text{пог}_3} = 0,6 \text{ кг/м}$, обертового валу $m_{\text{пог}_4} = 0,15 \text{ кг/м}$. Під час конструювання було враховано загальну довжину всіх валів $L_3 = 3,34 \text{ м}$, $L_4 = 0,8 \text{ м}$. Отже за формулою (3.3):

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		53

$$m_2 = (0,6 \cdot 3,34) + (0,15 \cdot 0,8) = 2,1 \text{ кг.}$$

Використання валів з сталевого сплаву призначено для жорсткості та уникання їх згину. Перевагою сталевих валів є низька вартість. Основним недоліком є здатність до корозії.

3.1.3 Розрахунок маси кареток пристрою

Матеріалом кареток пристрою слугує пластик АБС (акрилонітрилбутадиенстирол). Можливі два методи виготовлення цих деталей:

- 1) метод лиття під тиском – в нашому випадку не підходить через високу вартість трафарету і строки виготовлення;
- 2) метод FDM друку – чудово підходить для виготовлення пробних моделей.

Було обрано метод FDM друку деталей із заповненням 100 відсотків. В конструкції пристрою присутні: три фіксовані каретки, одна фіксована каретка під подвійний шків, дві рухомих каретки та одна каретка захватного пристрою.

Маса пластикових деталей з повним заповнення вираховується за формулою:

$$m_3 = \rho_1 \cdot (V_1 \cdot 3 + V_2 + V_3 \cdot 2 + V_4), \quad (3.4)$$

де ρ_1 – густина пластику АБС, $\text{кг}/\text{м}^3$;

V_1 – об'єм фіксованої каретки, м^3 ;

V_2 – об'єм фіксованої каретки під подвійний шків, м^3 ;

V_3 – об'єм рухомої каретки, м^3 ;

V_4 – об'єм каретки захватного пристрою, м^3 .

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		54

Густина пластику АБС приблизно $1030-1050 \text{ кг/м}^3$. Було обрано середнє значення $\rho = 1040 \text{ кг/м}^3$. Конструювання всіх елементів пристрою було виконано за допомогою САД-програми SolidWorks, в якій є вбудована функція вирахування об'єму моделі. Тому за цими даними: $V_1 = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$, $V_2 = 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$, $V_3 = 4,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$, $V_4 = 3,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$. Отже за формулою (3.4):

$$m_3 = 1040 \cdot (2,4 \cdot 10^{-5} \cdot 3 + 2,9 \cdot 10^{-5} + 4,9 \cdot 10^{-5} \cdot 2 + 3,1 \cdot 10^{-4}) = 0,53 \text{ кг.}$$

3.1.4 Розрахунок маси плит основного каркасу

На основному каркасі встановлено дві плити: дошка ЛДСП, товщиною 16 мм та сталеві плити-лоток, виготовлена зі сталюого листа 5 мм. Для визначення їх маси необхідно взнати їх густину та об'єм:

$$m_4 = \rho_2 \cdot V_5 + \rho_3 \cdot V_6, \quad (3.5)$$

де ρ_2 – густина ДСП, кг/м^3 ;

V_5 – об'єм дошки ЛДСП, м^3 ;

ρ_3 – густина сталі, кг/м^3 ;

V_6 – об'єм сталевої плити, м^3 .

За ТУ України, середня густина дошки ДСП, товщиною 16 мм становить $\rho_2 = 650 \text{ кг/м}^3$. Сталева плита виготовлення зі сталюого листа згідно ДСТУ 8540:2015 зі сталі марки Ст3ПС, густина якої $\rho_3 = 7850 \text{ кг/м}^3$. За даними САД-програми SolidWorks: $V_5 = 5,76 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, $V_6 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Отже за формулою (3.5):

$$m_4 = 650 \cdot 5,76 \cdot 10^{-3} + 7850 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} = 13,9 \text{ кг.}$$

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		55

Дізнавшись масу основних елементів, за формулою (3.1) можна порахувати загальну масу конструкції:

$$m_{\text{заг}} = \sum m_i = m_1 + m_2 + m_3 + m_4;$$

$$m_{\text{заг}} = 10,98 + 2,1 + 0,53 + 13,9 = 27,5 \text{ кг.}$$

Загальна маса конструкції не враховуючи деталі з'єднання, шківви, паси, підшипники, кроковий двигун та захватний механізм складає 27,5 кілограм.

3.2 Розрахунок зубчастих пасів

3.2.1 Розрахунок довжини зубчастого пасу горизонтального руху

На осі x та y паралельно розміщується зубчаста пасова передача. Для відкритої пасової передачі довжина пасу визначається за формулою [15]:

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4C}, \quad (3.6)$$

де L – довжина пасу, мм;

C – міжосьова відстань, мм;

d_1, d_2 – ділильні діаметри шківів, мм.

Міжосьова відстань зубчастих шківів пасової передачі горизонтально руху відома: $C = 1169$ мм. Ділильний діаметр шківа визначається за формулою:

$$d = \frac{z \cdot p}{\pi}, \quad (3.7)$$

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		56

де z – кількість зубців шківа;

p – крок зубців паса GT2, мм.

Кількість зубців на ведучому і веденому шківах прийнята однаковою і становить $z = 20$. Крок зубчастого паса типу GT2 дорівнює $p = 2$ мм. Оскільки ведучий та ведений шківи мають однакову кількість зубців, їх ділильні діаметри також є рівними. На основі наведених даних ділильний діаметр шківа визначається за формулою (3.7):

$$d_1 = d_2 = \frac{20 \cdot 2}{3,14} \approx 12,73 \text{ мм.}$$

Після визначення ділильних діаметрів зубчастих шківів стає можливим розрахунок довжини зубчастого паса, який виконується за формулою (3.6):

$$\begin{aligned} L &= 2 \cdot 1169 + \frac{3,14}{2} \cdot (12,73 + 12,73) + \frac{(12,73 - 12,73)^2}{4 \cdot 1169} = \\ &= 2338 + 40 = 2378 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Для зубчастих пасів довжина зазвичай вираховується не у лінійних одиницях, а у вигляді кількості зубців, що визначається відповідною залежністю:

$$N = \frac{L}{p}, \quad (3.8)$$

$$N = \frac{2378}{2} = 1189 \text{ зубців.}$$

Отже довжина двох зубчастих пасів горизонтально руху осі x та y складає 2378 мм або 1189 зубців.

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		57

3.2.2 Розрахунок довжини зубчастого пасу між кроковим двигуном та подвійним шківом

Шків крокового електродвигуна та подвійний шків розміщені на різних рівнях по висоті, але пасова передавача залишається відкритою. Довжина пасу визначається за формулою (3.6), але міжосьова відстань у формулі вже не є чисто горизонтальною – вона визначається як просторова (геометрична) відстань між осями шківів:

$$C = \sqrt{a^2 + h^2}, \quad (3.9)$$

де a – горизонтальна відстань між осями шківів;

h – вертикальна різниця по висоті.

Горизонтальна відстань $a = 426$ мм, вертикальна різниця по висоті $h = 127$ мм. Тоді за формулою (3.9):

$$C = \sqrt{426^2 + 127^2} = \sqrt{197605} \approx 444 \text{ мм.}$$

Дізнавшись міжосьову відстань, за формулою (3.6) можна обчислити:

$$\begin{aligned} L &= 2 \cdot 444 + \frac{3,14}{2} \cdot (12,73 + 12,73) + \frac{(12,73 - 12,73)^2}{4 \cdot 444} = \\ &= 888 + 40 = 928 \text{ мм,} \end{aligned}$$

$$N = \frac{928}{2} = 464 \text{ зубців.}$$

Отже довжина зубчастого пасу між кроковим двигуном та подвійним шківом складає 928 мм або 464 зубців.

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		58

3.2.2 Розрахунок тягового зусилля зубчастого паса та підбір крутного моменту крокового двигуна

Для забезпечення надійної та довговічної роботи зубчасто-пасової передачі необхідно перевірити, щоб фактичне тягове зусилля, яке передається пасом, не перевищувало допустиме значення для обраного типу паса.

Тягове зусилля, що передається зубчастим пасом, визначається за формулою:

$$F = \frac{M}{r}, \quad (3.10)$$

де M – номінальний крутний момент крокового електродвигуна, Н · м;

r – ділительний радіус шківів, м.

Оскільки на етапі проектування конкретний момент електродвигуна ще не обраний, розрахунок виконується в параметричному вигляді. Для типових крокових двигунів NEMA 23 номінальний момент становить:

$$M = 0,52 \dots 4,24 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ділительний радіус шківів – це половина його діаметру:

$$r = \frac{d}{2} = \frac{12,73}{2} \approx 6,37 \text{ мм} = 0,00637 \text{ м}.$$

Визначимо тягове зусилля за формулою (3.10) при $M = 0,52 \text{ Н} \cdot \text{м}$:

$$F = \frac{0,52}{0,00637} \approx 81 \text{ Н};$$

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		59

При $M = 4,24 \text{ Н} \cdot \text{м}$:

$$F = \frac{4,24}{0,00637} \approx 665 \text{ Н.}$$

Для зубчастого паса GT2 шириною 6 мм, за даними технічних каталогів виробників, допустиме тягове зусилля становить: $F_{\text{доп}} = 200 \dots 300 \text{ Н}$, залежно від умов роботи та швидкісного режиму. Умова працездатності зубчастопасової передачі має вигляд:

$$F \leq F_{\text{доп}}.$$

На основі виконаних розрахунків встановлено, що при застосуванні електродвигуна з крутним моментом до приблизно 2 Н·м, фактичне тягове зусилля не перевищує допустиме значення для обраного зубчастого паса. Таким чином, умова працездатності передачі виконується, що підтверджує коректність вибору типу та ширини паса для заданих умов експлуатації.

За каталогом виробника, було обрано кроковий двигун NEMA 23, з крутним моментом $M = 1,67 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

3.3 Розрахунок допустимих напружень

3.3.1 Розрахунок допустимих напружень каркасу маніпулятора

Каркас маніпулятора призначений для закріплення напрямних елементів, приводів та захватного механізму і сприймає навантаження від власної маси конструкції, маси рухомих елементів, а також динамічні навантаження, що виникають під час роботи механізму. Для підтвердження міцності каркаса виконується розрахунок допустимих напружень:

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		60

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{гр}}}{S_{\sigma}}, \quad (3.11)$$

де $\sigma_{\text{гр}}$ – границя текучості матеріалу, Па;

S_{σ} – коефіцієнт запасу міцності.

Каркас виконаний з верстатних алюмінієвих профілів 20×20 мм, виготовлених з алюмінієвого сплаву типу AlMgSi (ДСТУ Б В. 2.6-3-95(ГОСТ 22233), для якого границя текучості становить $\sigma_{\text{гр}} = 160 \dots 190$ МПа. Для подальших розрахунків приймаємо $\sigma_{\text{гр}} = 160$ МПа. Коефіцієнт запасу міцності для машин легкої промисловості приймаємо $S_{\sigma} = 2$. Підставляючи числові значення за формулою (3.11) отримаємо:

$$[\sigma] = \frac{160}{2} = 80 \text{ МПа.}$$

Фактичні нормальні напруження в елементах каркаса визначаються за спрощеною формулою:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \quad (3.12)$$

де F – навантаження що діє на елемент каркаса, Н;

A – площа поперечного перерізу профілю, м².

Для алюмінієвого верстатного профілю 20×20 мм ефективна площа перерізу (з урахуванням порожнин) становить приблизно $A = 1,5 \cdot 10^{-4}$ м². З урахуванням маси рухомих елементів механізму та можливих динамічних навантажень приймається, що на один елемент каркаса маніпулятора діє сила $F = 200$ Н, що відповідає навантаженню з підвищеним запасом міцності. Отже за формулою (3.12):

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		61

$$\sigma = \frac{200}{1,5 \cdot 10^{-4}} \approx 1,33 \text{ МПа.}$$

Умова міцності має наступний вигляд:

$$\sigma \leq [\sigma].$$

Оскільки:

$$1,33 \text{ МПа} \leq 80 \text{ МПа,}$$

умова міцності виконується з великим запасом.

Отримані результати свідчать, що каркас маніпулятора з алюмінієвих профілів 20×20 мм має достатній запас міцності та може надійно працювати в умовах заданих навантажень. Фактичні напруження значно менші за допустимі, що підтверджує доцільність застосування обраного профілю в конструкції механізму вивантаження та транспортування готових виробів.

3.3.2 Розрахунок допустимих напружень основного каркасу

Основний каркас пристрою являє собою несучу рамну конструкцію, на якій розміщуються всі вузли механізму вивантаження та транспортування виробів. Каркас сприймає статичні та динамічні навантаження від маси обладнання, рухомих елементів і технологічних впливів, забезпечуючи геометричну стабільність та надійність роботи пристрою. Каркас виконаний з алюмінієвих верстатних профілів 40×40 мм, з'єднаних між собою кутовими елементами та кріпильними вузлами, що утворюють просторову раму.

На основний каркас діють:

а) власна маса;

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		62

- б) маса каркасу маніпулятора та приводних елементів;
- в) маса допоміжних вузлів;
- г) динамічні навантаження, що виникають під час роботи механізму.

Основним видом навантаження для елементів каркасу є згин та стиск, характерні для рамних конструкцій.

Для оцінки міцності приймається спрощена розрахункова схема, за якою навантаження від усієї маси пристрою нерівномірно розподіляється між опорними елементами каркасу.

З урахуванням запасу на динамічні впливи та можливу нерівномірність навантаження приймається, що на один горизонтальний елемент каркасу діє зосереджена сила $F = 400$ Н, що відповідає масі приблизно 40 кг з урахуванням коефіцієнта запасу. Окремий елемент основного каркасу розглядається як балка, шарнірно оперта по кінцях, на яку діє зосереджене навантаження в середині. Довжина елемента $L = 0,54$ м. Максимальний згинальний момент для такої схеми визначається за формулою:

$$M_{max} = \frac{F \cdot L}{4}, \quad (3.13)$$

де F – зосереджена сила на один горизонтальний елемент каркасу, Н;

L – довжина окремого елемента, м.

$$M_{max} = \frac{400 \cdot 0,54}{4} = 54 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Згинальні напруження визначаються за формулою:

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W}, \quad (3.14)$$

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		63

де W – момент опору алюмінієвого профілю 40×40 мм, м³

Момент опору перерізу стандартного алюмінієвого профілю 40×40 мм
 $W \approx 5,3 \cdot 10^{-6}$ м³. Тоді за формулою (3.14):

$$\sigma = \frac{54}{5,3 \cdot 10^{-6}} \approx 10 \text{ МПа.}$$

Для алюмінієвих верстатних профілів допустимі напруження становлять
 $\sigma_{\text{доп}} = 60 - 80$ МПа. Оскільки:

$$\sigma < \sigma_{\text{доп}},$$

$$10 \text{ МПа} < 80 \text{ МПа},$$

умова міцності виконується з достатнім запасом.

Результати розрахунку показують, що при дії розрахункових навантажень напруження в елементах основного каркасу не перевищують допустимих значень.

3.3.2 Розрахунок допустимих напружень лінійних валів горизонтального руху

Лінійні вали діаметров 10 мм застосовуються в конструкції маніпулятора для забезпечення поступального переміщення кареток уздовж відповідних осей. Вали сприймають навантаження від маси рухомих елементів, захватного механізму та передають зусилля від приводу. Основним видом навантаження для лінійних валів є згин, зумовлений:

- а) вагою рухомих елементів;

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		64

- б) навантаженням захватного пристрою;
- в) динамічними впливами під час руху.

Лінійний вал розглядається як балка, оперта на дві опори з максимальним навантаженням всередині. Максимальний згинальний момент обчислюється за формулою (3.13). Для розрахунку приймається, що на один вал діє зосереджене навантаження $F = 50$ Н, що відповідає масі приблизно 5 кг з урахуванням запасу міцності та можливого нерівномірного розподілу навантаження між валами. Довжина вала між опорами $L = 1,2$ м. Маючи ці дані:

$$M_{max} = \frac{50 \cdot 1,2}{4} = 15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Згинальні напруження на валу визначаються за формулою (3.14), де W – момент опору круглого перерізу вала:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32}, \quad (3.15)$$

$$W = \frac{\pi \cdot 0,01^3}{32} \approx 9,82 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Тоді, урахуванням наведених вихідних даних, розрахунок виконується за формулою (3.14):

$$\sigma = \frac{15}{9,82 \cdot 10^{-8}} \approx 152 \text{ МПа}.$$

Матеріал лінійних валів – конструкційна сталь Ст3СП, що широко використовується для лінійних напрямних елементів. Допустимі напруження

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		65

при згині даного матеріалу в середньому рівна $\sigma_{\text{доп}} = 150 - 200$ МПа.
Оскільки:

$$\sigma < \sigma_{\text{доп}},$$

$$152 \text{ МПа} < 200 \text{ МПа},$$

умова міцності виконується з допустимим запасом.

Максимальний прогин балки з центральним навантаження визначається за формулою:

$$f_{\text{max}} = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}, \quad (3.16)$$

де $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па – модуль пружності сталі;

$I = \frac{\pi d^4}{64}$ – момент інерції перерізу.

$$I = \frac{\pi \cdot (0,01)^4}{64} \approx 4,9 \cdot 10^{-10} \text{ м}^4,$$

$$f_{\text{max}} = \frac{50 \cdot (1,2)^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 4,9 \cdot 10^{-10}} = 0,17 \text{ мм}.$$

Отримане значення прогину є допустимим для механізмів переміщення легкої промисловості.

Розрахунок показав що лінійні вали діаметром 10 мм забезпечують необхідну міцність і жорсткість при заданих навантаженнях. Отримані значення напружень і прогину не перевищують допустимих і мають значний запас.

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		66

3.4 Розрахунок енергоспоживання

Енергоспоживання пристрою визначається сумарною потужністю електроприводів, що беруть участь у технологічному циклі роботи механізму вивантаження та транспортування готових виробів. До складу приводної системи входять:

- а) один кроковий електродвигун типу NEMA 23 з утримуючим моментом $M = 1,67 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- б) два мікросервоприводи SG90, що керують захватним пристроєм.

3.4.1 Розрахунок енергоспоживання крокового двигуна NEMA 23

Для крокового двигуна з утримуючим моментом $M = 1,67 \text{ Н}\cdot\text{м}$, номінальна напруга становить $U = 24 \text{ В}$, номінальний струм $I = 2,8 \text{ А}$. Оскільки кроковий двигун має дві фази, активна електрична потужність визначається за формулою:

$$P_{NEMA} = U \cdot I, \quad (3.17)$$

$$P_{NEMA} = 24 \cdot 2,8 = 67,2 \text{ Вт.}$$

З урахуванням того, що під час реальної роботи електродвигун не завжди працює на максимальному струмі, вводиться коефіцієнт використання потужності $k = 0,7$. Тоді розрахункова потужність:

$$P_{NEMA_p} = 67,2 \cdot 0,7 \approx 47 \text{ Вт.}$$

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		67

3.4.1 Розрахунок енергоспоживання мікросервоприводів SG90

Мікросерводвигуни SG90 використовуються для приводу захватного механізму. Напруга живлення становить $U = 5$ В, середній робочий струм $I = 0.5$ А. Потужність двох сервоприводів:

$$P_{SG90} = 2 \cdot (U \cdot I),$$

$$P_{SG90} = 2 \cdot (5 \cdot 0,5) = 5 \text{ Вт.}$$

Сумарна потіжність визначається як сума потужностей всіх приводів:

$$P = P_{NEMA_p} + P_{SG90},$$

$$P = 47 + 5 = 52 \text{ Вт.}$$

Припустимо, що пристрій працює протягом 8 год, $t = 8$ год. Тоді споживана електроенергія:

$$W = P \cdot t,$$

$$W = 0,052 \cdot 8 = 0,416 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Розрахунок показує, що запропонований пристрій характеризується невеликим рівнем енергоспоживання. Навіть при безперервній роботі протягом робочої зміни споживання електроенергії не перевищує 0,5 кВт·год, що є незначним для обладнання легкої промисловості та підтверджує енергоефективність розробленої конструкції.

					КВРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		68

Висновок до третього розділу

Виконано комплекс основних інженерних розрахунків, що підтверджують працездатність, міцність та доцільність застосування запропонованої конструкції механізму вивантаження та транспортування готових виробів після трафаретного друку.

Таким чином, результати виконаних розрахунків підтверджують правильність прийнятих конструктивних і технічних рішень та доводять можливість практичної реалізації запропонованого механізму вивантаження і транспортування готових виробів.

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		69

ВИСНОВКИ

1. Здійснено ґрунтовний аналіз технологічного процесу трафаретного друку та сучасних технічних рішень щодо завантаження, вивантаження та транспортування готових виробів у легкій промисловості. Встановлено, що етап вивантаження продукції після друку залишається одним з найменш автоматизованих та найбільш трудомістких, особливо у випадку роботи з гнучкими текстильними матеріалами, що обумовлює актуальність обраної теми дослідження.

2. Розроблено оригінальну конструкцію автоматизованого пристрою вивантаження та транспортування готових виробів після трафаретного друку, яка базується на застосуванні лінійного маніпулятора з двоточковим механічним захватом та інтеграцією з приймальним конвеєром. Науково-технічна новизна запропонованого рішення полягає у поєднанні простих механічних вузлів з керованими електромеханічними приводами, що дозволяє забезпечити обережне відокремлення гнучкого текстильного виробу від друкарської платформи трафаретного верстату та його подальше стабільне транспортування без порушення якості нанесеного зображення.

3. Виконані основні інженерні розрахунки міцності, жорсткості, кінематики та енергоспоживання підтвердили працездатність і надійність запропонованої конструкції. Результати розрахунків свідчать про раціональний вибір матеріалів, профілів, лінійних валів та приводів, а також про достатній запас міцності основних елементів каркасу та механізмів. Низьке енергоспоживання пристрою та модульність його конструкції створюють передумови для практичного впровадження розробки на підприємствах легкої промисловості та її подальшої модернізації.

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		70

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Технологія трафаретного друку [Електронний ресурс] URL: <https://www.fatline.com.ua/ua/blog/osobennosti-shelkografii-tehnologiya-materialy-dostoinstva.html> (дата звернення: 14.12.2024).
2. Виготовлення трафарету. Різні способи і методи в шовкографії [Електронний ресурс] URL: <https://trafaret-a.com/ua/a138945-izgotovlenie-trafareta-razlichnye.html> (дата звернення: 14.12.2024).
3. Авер'янов, В.В. Шовкографія: практичний посібник з трафаретного друку / В.В. Авер'янов – М.: Гамма, 1998. – 36 с., 4 с.
4. Solutions series electric conveyors dryers [Електронний ресурс] URL: <https://anatol.com/en/products-category/screen-printing-conveyor-dryers/> (дата звернення 20.01.2025).
5. Manipulator with suction cup HML series [Електронний ресурс] URL: <https://www.directindustry.com/prod/nihon-pisco-co-ltd/product-242523-2488556.html> (дата звернення: 30.09.2025).
6. Vacuum cups: Key uses [Електронний ресурс] URL: <https://www.pneumatictips.com/how-are-vacuum-cups-used/> (дата звернення: 30.09.2025).
7. What are vacuum cups used for? [Електронний ресурс] URL: <https://eurotech-vacuum-technologies.com/what-are-vacuum-cups-used-for/> (дата звернення: 30.09.2025).
8. Дорохов М.Ю. Роботи та маніпулятори: конспект лекцій / М.Ю. Дорохов ; Донбаська державна машинобудівна академія – Краматорськ, 2019. – 53-57 с.
9. Відмінності між роботом-маніпулятором і рукою робота [Електронний ресурс] URL: <https://www.evsint.com/uk/differences-between-robot-manipulator-and-robot-arm/> (дата звернення: 20.11.2025).

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		71

10. Polar Robot [Електроний ресурс] URL: <https://pinterest.com/> (дата звернення: 20.11.2025).

11. Поліщук Л.К. Верстатні комплекси. Проектування роботів та маніпуляторів: навчальний посібник / Л.К. Поліщук ; Вінницький Національний Технічний Університет – Вінниця, 2018. – 35-36 с.

12. Ремінь зубчастий GT2 6мм [Електроний ресурс] URL: <https://www.mini-tech.com.ua/remen-zubchatiy-gt2-6mm-steklovolokno> (дата звернення: 30.10.2025).

13. Micro Servo Parallel Gripper [Електроний ресурс] URL: <https://techniccontroller.com/3d-printed-parallel-gripper/> (дата звернення: 30.10.2025).

14. Карнаух С.Г., Таровик М.Г. Деталі машин. Машинні вали (осі) та їх опори: Методичні вказівки для студентів механічних спеціальностей / С.Г. Карнаух, М.Г. Таровик ; Донбаська державна машинобудівна академія – Краматорськ, 2019. – 4 с.

15. TIMING BELTS, PULLEYS, CHAINS AND SPROCKETS [Електроний ресурс] URL: <https://sdp-si.com/D820/PDFS/Technical-Section.pdf> – 41 с (дата звернення: 10.11.2025).

16. Cylindrical Robots [Електроний ресурс] URL: <https://robot.cfp.co.ir/en/robots/cylindrical> (дата звернення: 20.11.2025).

17. Промислові роботи [Електроний ресурс] URL: https://ssk.ua/uploads/product_media/f7/2e/w1096_eqbehnvca_e7c30849.jpg (дата звернення: 20.11.2025).

18. Cartesian robot [Електроний ресурс] URL: <https://pinterest.com/> (дата звернення: 20.11.2025).

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		72

ДОДАТОК А

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		73

ДОДАТОК Б

					КвРМБ.024402.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		74