

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**Модернізація пристрою для трафаретного друку  
на виробках легкої промисловості**

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Шифр БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент  
4 курсу групи РМ-20-1

  
Підпис

Лозінський О.В.  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

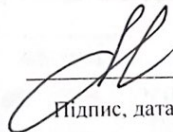
доцент Онофрійчук В.І.  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

Поліщук С.І.  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

д.т.н., проф. Поліщук О.С.  
Ініціали, прізвище

21 06 2024 р.

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Шифр і назва

Спеціалізація \_\_\_\_\_

Освітня програма Робототехнічні та мехатронні системи галузі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

21.06.2024

ЗАВДАННЯ  
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Лозінський Олександр Володимирович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Модернізація пристрою для трафаретного друку на výroбах легкої промисловості

керівник роботи Онофрійчук Володимир Іванович

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

Затверджено наказом ректора університету від 15.02.2024 р. № 8

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 21.06.2024

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики трафаретного верстату

Anatoli Color Magic

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

Вступ. 1. Технології та обладнання трафаретного друку. 2. Підбір моделі верстату та вибір комплектуючих для модернізації. 3. Розрахунок приводу піднімання та опускання ракелів. Висновки. Перелік посилань.

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

1. Види трафаретних верстатів (ДО, А1) 2. Приводи трафаретного верстату (ДІ, А2)

3. Кінематична схема електричних приводів верстату (КЗ, А2) 4. Загальна циклограма роботи верстату (ДТ, А2) 5. Привід підняття та опускання ракелей Ізометричний вигляд (ДІ, А2) 6. Привід підняття та опускання ракелей Складальне креслення (СК, А2)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз технології та обладнання трафаретного друку	1.06 - 5.06. 2024р.	Синюков
2. Підбір моделі верстату та вибір комплектуючих для модернізації	5.06 - 8.06. 2024р.	Синюков
3. Розрахунок приводу піднімання та опускання ракелей	8.06 - 15.06. 2024р.	Синюков
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу.	8.06 - 20.06. 2024р.	Синюков

Студент

Підпис

Керівник роботи

Підпис

О.В. Лозінський

Ініціали, прізвище

В.І. Онофрійчук

Ініціали, прізвище

## АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»


1. Прізвище, ім'я та по батькові Лозінський Олександр Володимирович

2. Тема бакалаврської роботи Модернізація пристрою для трафаретного друку на виробках легкої промисловості

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента Міца В.В., к.т.н.

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 64

5. Автоматичні та напівавтоматичні верстати забезпечують підвищення продуктивності та зменшення часу виробництва, що робить їх вигідним вибором для багатьох підприємств. У цілому, технологія трафаретного друку є потужним інструментом для виробників, який дозволяє досягти високої якості та ефективності в процесі виробництва. У бакалаврській роботі розробляється конструкція приводу піднімання та опускання ракелей трафаретного верстату. У розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. У першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики роботи, а саме огляд ринку готової продукції та її класифікації. У другому здійснюється підбір моделі трафаретного верстату та лінійного приводу. У третьому розділі проведено розрахунки механічних елементів приводу та його енергоспоживання.

Підпис студента 

"21" 06 2024 р.

### РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 3 від "28" 06 2024 р.

Оцінка проекту ЕК визначено / А  
Рекомендації ЕК впровадження у виробництво

Особливі відмітки —

Технічний секретар Турек А.В.

"28" 06 2024 р.

## ЗМІСТ

	стор.
Вступ	6
1 Технологія та обладнання трафаретного друку	8
1.1 Технологія трафаретного друку	8
1.2 Етапи трафаретного друку	10
1.3 Огляд систем для автоматизації трафаретного друку	19
1.4 Електричні лінійні приводи	23
<del>1.5</del> Висновок до першого розділу	25
2 Підбір моделі верстату та вибір комплектуючих для модернізації	27
2.1 Підбір моделі верстату	27
2.2 Системи приводів верстату Color Magic	29
2.3 Електричний лінійний привід Tolomatic IMA-S	34
2.4 Серводрайвери та сервопідсилювачі	36
<del>2.5</del> Висновок до другого розділу	37
3 Розрахунок приводу піднімання та опускання ракелів	39
3.1 Циклограма трафаретного верстату Anatol Color Magic	39
3.2 Проектування конструкції поперечної перекладини	41
3.3 Розрахунок перекладини на жорсткість	44
3.4 Програмний розрахунок перекладини	49
3.5 Обчислення часу спрацювання та енергоспоживання сервоактуаторів	52
<del>3.6</del> Висновок до третього розділу	59
Висновки	60

					БРМА24.00.00.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Лозінський О.В.			Модернізація пристрою для трафаретного друку на	8	4
Перевір.		Онофрійчук В.І.				64	
Н.контр.		Холодник С.І.			ХНУ гр. РМ-20-1		
Затвер.		Поліщук О.С.					

Перелік джерел посилання

61

Додаток А

Додаток Б

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

## Вступ

Трафаретний друк, відомий також як шовкографія, є одним із найстаріших та найуніверсальніших методів нанесення зображень на поверхні. Незважаючи на свою давню історію, цей метод залишається актуальним у сучасному світі завдяки своїй простоті та універсальності.

Більшість верстатів для шовкографії, в основному використовують ручні(механічні) або пневматичні системи для руху їх робочих органів. Такий варіант є економним та універсальним. Однак, ручний спосіб вимагає від оператора верстата затрату сил та енергії для виконання певних дій, що значно знижує ефективність і продуктивність, а також підвищує ризик травмування.

Автоматизація трафаретного друку дозволяє значно підвищити продуктивність, точність та ефективність виробничого процесу. В основі автоматизації лежать різноманітні технологічні інновації, спрямовані на поліпшення якості та швидкості. Автоматичні верстати можуть працювати безперервно протягом тривалого періоду часу, виготовляючи високоякісні зображення. Така підвищена продуктивність дозволяє підприємствам виконувати більші замовлення за менший час, що сприяє підвищенню рівня задоволеності клієнтів. Автоматичні трафаретні друкарські машини оснащені розширеними функціями, такі як декілька друкуючих поверхонь, високошвидкісні конвеєри та програмовані засоби керування, що їхні виробничі можливості. Ці машини можуть легко друкувати великі тиражі та створювати складні проекти.

Напівавтоматичні трафаретні верстати передбачають використання певних автоматизованих елементів, але при цьому частково залежать від ручної роботи оператора. Цей підхід може забезпечити певний рівень автоматизації, зберігаючи при цьому гнучкість та контроль, які можуть бути важливими в деяких виробничих сценаріях. Ця система дозволяє підтримувати

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

баланс між автоматизацією та ручним контролем, що може бути важливим у виробничих умовах, де потрібна адаптація до різних завдань та матеріалів.

Пневматика грає важливу роль в галузі легкої промисловості, зокрема і в шовкографії. Переваги цих систем в простоті та міцності конструкцій, а також низькій вартості. Пневмосистеми не гарантують надійну роботу без перебоїв через низьку точність в порівнянні з іншими приводами, та можливістю витоку повітря через негерметичність в пневматичних каналах. Більшість автоматичних та напівавтоматичних трафаретних верстатів розроблені саме на цих системах.

Існує більш ефективний метод із використанням електромеханічних приводів, який ще не є настільки поширеним у сучасній шовкографії. Цей спосіб значно збільшить ефективність виробництва на трафаретних верстатах, а також має шанс замінити застарілу і більш енерговитратну пневматичну систему, забираючи необхідність використання пневмокомпресорів і охолоджуючих агрегатів.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		7

# 1 Технологія та обладнання трафаретного друку

## 1.1 Технологія трафаретного друку

Трафаретний друк - спосіб нанесення зображення на різні типи поверхонь за допомогою трафаретної форми, крізь яку фарба проникає на запечатуваний матеріал (рис.1.1). У сучасному світі трафаретний друк вважається одним з найбільш поширених і технологічних способів друку, який охоплює найрізноманітніші сфери застосування. Зараз велика кількість друкарських машин оснащені автоматичними та напівавтоматичними пристроями, які здатні справлятися з широким діапазоном друкованої продукції. Сучасна шовкографія використовується при виробництві текстилю, одягу, упаковок, автомобільної, електронної, керамічної, скляної та іншої продукції.

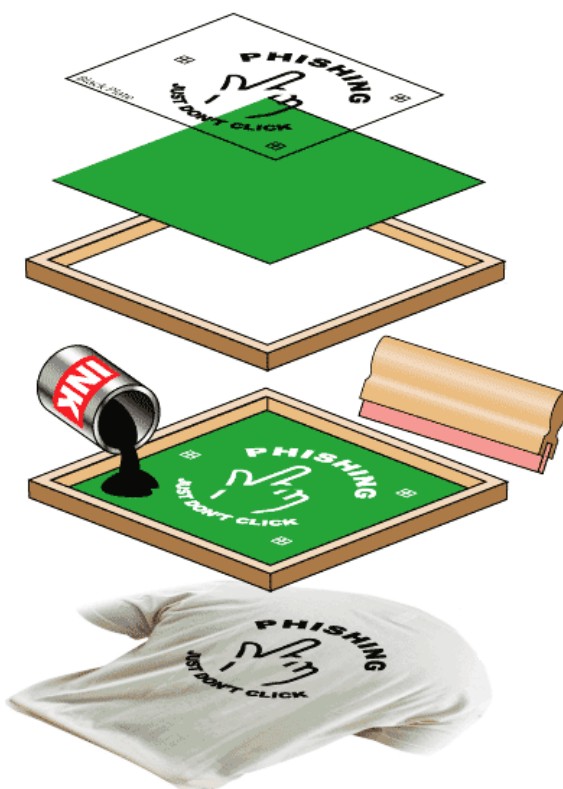


Рисунок 1.1 – Технологія трафаретного друку [11]

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		8

Шовкографія - це вид трафаретного друку, в якій для виготовлення друкарської форми використовують, так звані сітки, виготовлені зі спеціального поліефірного або поліамідного (нейлонового) моноволокна з товщиною 40-500мкм. Пропускні елементи безпосередньо на сітці формують фотохімічним способом. Для цього сітку попередньо натягують на раму, потім покривають спеціальною рідкою фотоемulsionю. У звичайному стані фотоемulsion змивається водою. Далі друкована форма проходить стадію експонування УФ-випромінюванням, за рахунок чого фотошар полімеризується і не змивається водою, крім області, яка не піддалася опроміненню (закриття зображенням позитиву). Після цього фотошар з неопромінених ділянок змивають і вони стають друкованими елементами. [1]

Сам друк проводиться спеціальними поліуретановими ракелями, проводячи ними по верхній стороні сітки (трафарету). Фарба, після проведення ракелем, дозовано проходить крізь ділянки сітки, де немає фотоемulsionі. Для друку можна використовувати різні типи фарб: водні, пластизольні і ін. Зображення можна наносити в кілька шарів, однакового або різних кольорів.

Після друку фарба зазвичай закріплюється шляхом запікання гарячим повітрям. Для цього зазвичай використовують тунельну сушку.

Переваги шовкографії:

- а) найвища швидкість друку в галузі;
- б) мінімальна собівартість друку при великих тиражах;
- в) можливість друку різних спецефектів;
- г) високі надійність і довговічність обладнання;
- д) низький термін окупності бізнесу;
- е) висока стійкість друку до зовнішніх впливів.

Недоліки шовкографії:

- а) брудне виробництво, яке вимагає великих площ;
- б) велика кількість супутнього обладнання;

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		9



зображення переноситься на трафаретну форму методом експонування. Тобто через нього проходить світло, і в місцях, де світло потрапить на фотоемульсію, вона затвердіє і не змиється. Тобто напівпрозорі деталі, тіні, градієнти не надруковуються.

### 1.2.2 Виготовлення трафарету

Існують різні способи виготовлення шовкотрафарету:

#### а) Прямий спосіб:

При прямому способі виготовлення сітчастого трафарету рідкий копіювальний розчин наноситься безпосередньо на сітку вручну або за допомогою автоматичних пристроїв. Після цього проводиться прояв, який передбачає повне змивання незакріпленого шару з сітки. Цей метод є досить простим і економічним, хоча й вимагає певних навичок і практики.

Прямий спосіб виготовлення сітчастого трафарету стикається з основною проблемою шовкографії – рівномірним нанесенням емульсії на сітку. У цьому процесі використовується спеціальний лоток (кювета) для нанесення fotocутливої емульсії (рис.1.2). Використання цього пристрою значно полегшує рівномірне нанесення фотоемульсії на сітку. Оскільки розчин має рідку консистенцію, найзручніше наносити його на сітку у вертикальному положенні рами. Для зручності роботи виготовляють кілька лотків різної довжини, застосовуючи їх залежно від розміру зображення;

#### б) Прямий трафарет на основі фоторозчину:

Для отримання якісного прямого трафарету необхідно забезпечити рівномірне світлочутливе покриття на тій ділянці сітки, де планується копіювання зображення. Для цього застосовується ракель-лоток, який дозволяє рівномірно наносити fotocутливу емульсію на сітку, забезпечуючи високу якість кінцевого результату;

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		11

в) Прямий трафарет із плівкою та фотоемульсією:

Для отримання гладкої поверхні копіювального шару із зовнішнього боку сітки використовується "комбінований" спосіб. Цей метод передбачає використання плівки, на яку на фабриці нанесено нечутливий копіювальний шар, а також емульсії на основі дихромату амонію. Важливо, щоб як сітка, так і плівка були абсолютно сухими під час процесу, щоб забезпечити якісний результат;



Рисунок 1.2 – Лоток-кювета для нанесення емульсії

г) Капілярний метод:

Капілярний метод створення трафаретів усуває необхідність у виготовленні емульсії та використанні спеціального обладнання для нанесення рідкого копіювального шару на сітку. Цей метод значно спрощує процес створення трафаретів, забезпечуючи високу ефективність і якість нанесення копіювального шару;

д) Непрямий трафарет:

При виготовленні трафарету на тимчасовій підкладці, а не безпосередньо на сітці, трафарет спочатку створюється на підкладці, а потім монтується або переноситься на робочу сітку. Такий підхід дозволяє уникнути проблем, які виникають при нанесенні рідкого розчину у "прямому" способі. Цей метод

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		12

забезпечує більш точне і рівномірне нанесення копіювального шару, що сприяє підвищенню якості кінцевого результату;

е) Лаковий трафарет:

Під час друку фарбами на водних сполуках особливу увагу доводиться приділяти водостійкості трафарету. Тканина - це м'яка основа, і під час друку відбувається постійна деформація ракем поверхні трафарету, що прискорює його руйнування. У таких умовах застосовують лаковий трафарет, коли пробільні місця малюнка закриті не гідрофільною емульсією, а нерозчинною у воді лаковою плівкою на основі ПХВ. [6]

### 1.2.3 Виготовлення рамки

Друкарська форма для трафаретного друку складається з рами, на яку натягується і закріплюється сітка, а також шаблону із зображенням. Рама є основою всієї шовкографії, і від її якості залежить успішність створення трафарету та виконання друку.

Дерев'яні рами недорогі та прості у виготовленні, проте мають кілька недоліків в експлуатації. Дерево легко вбирає вологу, через що його лінійні розміри можуть змінюватися протягом кількох годин. Крім того, на дерев'яні рами негативно впливають зміни відносної вологості та температури повітря.

Металеві рами вважаються найнадійнішими і стабільними для використання у трафаретному друці. Вони зазвичай виготовляються з алюмінієвих або сталевих труб з квадратним або прямокутним перерізом. Готові рами мають мати прямі кути і бути абсолютно плоскими. Після виготовлення вони піддаються обробці абразивним шліфувальним інструментом для видалення задирок і гострих кутів. Цей процес необхідний для забезпечення рівномірного натягу сітки і високоякісного трафаретного друку.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		13

#### 1.2.4 Натягування сітки

Сітку натягують на рамку з спеціально встановленим зусиллям. Якщо тканину недостатньо сильно натягнуто, то під час друку може статися деформація лінійних розмірів зображення і розбіжність контурів окремих кольорів під час багатоколірного друку.

Існує декілька способів натягування сітки:

а) Натягування сітки вручну:

Для нескладних робіт сітку можна натягувати вручну на дерев'яні рами. Тканина захоплюється спеціальними щипцями з широкими губками, щоб не пошкодити полотно. Потім полотно закріплюють скобами, забиваючи їх механічним або електричним скобозшивачем (степлером). Цей метод є досить простим і не вимагає спеціального обладнання, але потребує певної вправності для забезпечення рівномірного натягу сітки;

б) Розсувний пристрій:

Для роботи з великим асортиментом форматів трафаретних рам можна самостійно виготовити простий розсувний пристрій. Цей пристрій складається з чотирьох брусків з отворами для штифтів або болтів. На кожному бруску по всій довжині забиті голки з інтервалом 10-15 мм у два ряди. Голки розташовані в шаховому порядку, що дозволяє міцно утримувати сітку в розтягнутому положенні. Використання такого пристрою значно полегшує процес натягування сітки та забезпечує її рівномірний натяг;

в) Механічні пристрої:

Досить прості в обігу і не споживають багато енергії механічні натягувальні пристрої. Сітка по краях захоплюється голками, розташованими в кілька рядів, як у звичайному ручному пристрої. Дорожчі моделі замість голок оснащені спеціальними затискачами, площини яких мають антиковзаюче покриття (рис.1.3);

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		14



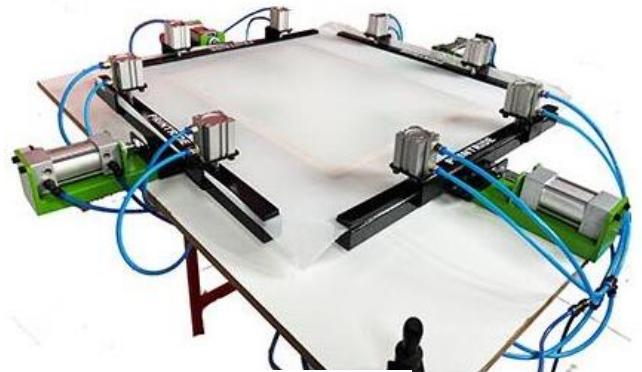
Рисунок 1.3 – Механічний пристрій натягування трафаретної сітки

г) Електромеханічні пристрої:

Для триадного друку, коли необхідно мати кілька великих рамок з однаковим натягом сітки, застосовують верстат з електромеханічним приводом. У верстаті розміщують одразу всі необхідні рами. Краї полотна затискають фіксаторами (рис.1.4 а);



а)



б)

Рисунок 1.4 – Пристрої для натягування сітки: а) електромеханічний; б) пневматичний

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.

15

#### д) Пневматичні пристрої:

Під час масового виробництва трафаретів найзручнішими є пневматичні пристрої, які складаються з набору незалежних один від одного стандартних затискачів. Кожен затискач оснащений окремим пневматичним циліндром, який під'єднують до компресора на час натягування сітки. По периметру стола закріплена повітряна магістраль, обладнана вентилями для підключення та манометром для контролю тиску. Краї сітчастої тканини закріплюють у затискачах і включають насос. Однаковий тиск у всіх пневмоциліндрах забезпечує рівномірний натяг сітки як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках. Стіл також може бути обладнаний пристроєм для витяжки пари розчинника, який входить до складу клею (рис.1.4 б). Це допомагає забезпечити безпеку та покращити якість приклеювання сітки до рами.

#### 1.2.5 Нанесення фарби

За умовами друкування фарби мають бути досить текучими, щоб під впливом ракеля проникати через сітчасту форму, але не настільки рідкими, щоб самостійно витікати зворотний бік трафарету. Для отримання чіткого зображення трафаретній фарбі необхідно бути аномально в'язкою, тобто змінювати свою текучість залежно від прикладеного на неї навантаження.

Фарби залежно від сполук можна розділити на такі групи:

а) Фарби на летких розчинниках – закріплюються за рахунок випаровування розчинника і потребують примусової вентиляції робочого місця, а відбитки - тривалого сушіння. Такі фарби вогнебезпечні та частково токсичні через розчинники;

б) Фарби окислювальної полімеризації – містять сполуки на основі рослинних олій, що висихають (оліфи), які під впливом кисню, температури, освітлення і наявності каталізаторів стають твердими у результаті утворення

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		16

просторових полімерних структур. Окислювальна полімеризація забезпечує високу якість кольорової плівки, але закріплення триває довго;

в) Двокомпонентні фарби – являють собою основний розчин і затверджувач (каталізатор), що змішуються в зазначених виробником пропорціях безпосередньо перед використанням;

г) Пластизолі - фарби, що складаються з дисперсії полівінілхлориду в пластифікаторі, який при кімнатній температурі надає фарбі текучості та стабільної в'язкості, як під час друку, так і під час зберігання;

д) Фарби ультрафіолетового затвердіння – зберігають постійну в'язкість і не висихають за звичайних умов, як у банках, так і на трафареті. Це дає змогу отримувати високу якість відбитків;

е) Водорозчинні трафаретні фарби – на основі акрилових водорозчинних полімерів. [4]

#### 1.2.6 Висушування. Сушильні пристрої

На рисунку 1.5 показано вигляд сучасних тунельних висувувальних пристроїв з електричним та газовим нагрівальними пристроями.



а)

б)

Рисунок 1.5 – Конвеєрні сушилні машини: а) електрична сушилня машина Anatol Solutions; б) газова сушилня машина Anatol Vulcan [4]

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		17

При потоковому виробництві природне висушування відбитків потребує великих площ для їх розміщення. Для плоскої продукції випускають спеціальний колісний стелаж - візок, оснащений ґратчастими полицями, які для зручності укладання відбитків фіксуються під певним кутом. Щоб випари розчинників не поширювалися друкарським цехом, візок поміщають у сушильну шафу, оснащену витяжною вентиляцією.

Максимальна продуктивність сушіння досягається застосуванням тунельних сушильних пристроїв. Вони оснащені сітчастою стрічкою, що безперервно рухається, для подачі відбитків до потоку гарячого повітря або до приладів УФ-випромінювання. Для видалення парів розчинника обов'язково монтується витяжна вентиляція. Укладання і зняття відбитків із транспортера проводиться найчастіше вручну.

#### 1.2.7 Ракель, як основний інструмент трафаретного друку

На рисунку 1.6 зображено сучасний вигляд ручного ракелю. Ракель являється інструментом, який продавлює фарбу крізь сітку. Правильно розраховані параметри інструменту дають змогу отримати високоякісний відбиток. Робоча частина ракеля виготовляється з натуральної або синтетичної гуми. Смушка гуми закріплюється в тримач, який дає змогу друкувати вручну або закріплювати ракель у спеціальні затискачі друкарської машини.



Рисунок 1.6 – Сучасний вигляд ручного ракелю

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		18

Основою інструменту є робоча кромка, яка безпосередньо продавлює фарбу крізь сито і визначає подальшу якість відбитка. Ракель працює за принципом шпателя, зішкрібаючи всю фарбу з поверхні і заодно примусово заповнюючи заглиблення, в нашому випадку штампи зображення. На автоматичних друкарських машинах встановлюють сталеві ракельні пластинки, які зберігають стабільну пружність. На робочу кромку наклеюють гумову або пластикову смужку певної твердості, відповідно до виду друку. Прямокутний профіль ракеля призначений для загальних умов. У разі друку тонких штрихів (дрібного шрифту) ракель має гострий кут. Для великих заливок ракель спеціально заокруглюється, йому надається овальна форма.

Середній кут нахилу ракеля під час друку дорівнює  $75^\circ$ . При більш вертикальному положенні потрібно натискати сильніше на ракель, а при більш гострих кутах збільшується витрата фарби і можливі пропуски дрібних деталей малюнка.[4]

### 1.3 Огляд систем для 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) форматом друку;
- д) кольоровістю (однокольорові / багатокольорові);

#### 1.3.1 Ручні верстати

Верстати ручні для друку по текстилю/плоским матеріалами діляться на

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		19

малоформатні та верстати карусельного типу.

Малоформатні верстати призначені для друку по плоским матеріалам різного формату та товщини.

Ручний верстат для трафаретного друку карусельного типу складається з двох незалежно обертових одна від одної робочих платформ: нижня платформа з декількома робочими столами (можливе встановлення столів різних розмірів) і верхня платформа із друківаними формами (рис.1.7).



Рисунок 1.7 – Ручний трафаретний верстат карусельного виду

### 1.3.2 Планшетні напівавтомати і автомати

На плоскому столі обладнання закріплюється матеріал, над ним фіксується плоска друківана форма. Після пуску ракельна система починає рухатися, створюючи відбиток на поверхні. Фарба продавлюється через осередки форми, контактуючи безпосередньо з матеріалом. Такі апарати дозволяють створювати зображення на різних носіях, незалежно від щільності, жорсткості і товщини (рис.1.8).

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		20



Рисунок 1.8 – Автоматичний верстат для трафаретного друку Volt фірми Anatol [13]

### 1.3.3 Циліндрові плоскодрукарські машини

Використовується плоска форма, але поверхня, по якій проходить матеріал, має вигляд циліндра. Ракель не рухається, а друкована форма рухається вгору вниз. Дозволяє передавати зображення на м'які і еластичні матеріали, навіть на плівку, тканину, тонкий папір (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Циліндровий трафаретний верстат

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.

21

### 1.3.4 Листові ротаційні трафаретні машини

Друкуюча поверхня і форма виконані у вигляді циліндрів. Продуктивність такої машини дуже висока. Ціна обладнання вище середньої, що обумовлюється якістю і чіткістю зображення, можливістю працювати злюбими матеріалами (рис.1.10).



Рисунок 1.10 – Листовий ротаційний трафаретний верстат

### 1.3.5 Рулонні ротаційні трафаретні машини

Ракель розміщений всередині циліндра з формою. Трафаретна форма та друкована поверхня повинні обертатися синхронно. Продуктивність такого обладнання найвища, але зустрічаються вони на ринку досить рідко через складність виготовлення (рис.1.11).



Рисунок 1.11 – Рулонний ротаційний трафаретний верстат

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		22

### 1.3.6 Комбіновані машини

Об'єднують секції від декількох апаратів. Дають можливість друкувати на плоских і об'ємних матеріалах. Найчастіше бувають напівавтоматичними.

[11]

### 1.4 Електричні лінійні приводи

Лінійний привід (актуатор) - це пристрій, який переміщується між двома позиціями в прямолінійному русі. Лінійні приводи доступні на основі різних технологій, включаючи: механічні, електромеханічні, прямі електричні (лінійні двигуни), гідравлічні та пневматичні (рис.1.12).



Рисунок 1.12 – Електричний лінійний привід

Електричні лінійні приводи підходять для застосування в більшості галузей промисловості в умовах низьких і високих навантажень і в більшості випадків є кращим рішенням, ніж гідравлічні та пневматичні приводи. Вони також відносно безшумні і не потребують технічного обслуговування, що робить їх ідеальними для найрізноманітніших застосувань. Електричні лінійні приводи (ЕЛП) перетворюють обертальний рух електродвигуна в лінійний за допомогою двох основних компонентів: редуктора (обертальний рух) і ходового гвинта (лінійний рух).

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		23



Електричний лінійний привід потребує певного типу електродвигуна для створення лінійного руху. Тип двигуна залежить від типу приводу: вимог до сили та швидкості. Один з ключових параметрів при виборі типу двигуна є потужність, забезпечує необхідну силу тяги або стиску. Відповідний вибір типу двигуна для конкретного лінійного приводу грає ключову роль у забезпеченні ефективності, надійності і довговічності системи в цілому.

Електричними лінійними приводами можна керувати різними способами, залежно від конкретних вимог їхнього передбачуваного застосування. Найпоширеніші способи включають:

а) Наскрізний хід (End-to-End Travel). Привід має жорстку зупинку на початку і в кінці руху без будь-якого іншого позиціонування. Вони або повністю висунуті, або втягнуті;

б) Перемикачі. Перемикачі - це найпростіший спосіб керування електричними лінійними приводами. Вони можуть бути простими, як увімкнути/вимкнути, або складнішими, з додатковими положеннями, які дають більш спеціалізоване керування рухом;

в) Програмовані контролери. Програмовані контролери часто використовуються для керування приводами в промислових установках, де потрібні унікальні положення або схеми руху.

### 1.5 Висновок до першого розділу

Трафаретний друк вимагає певної підготовки та спеціалізованого обладнання. Шовкографія дозволяє отримувати вражаючі результати, особливо у випадках великосерійного виробництва. Автоматичні та напівавтоматичні верстати забезпечують підвищення продуктивності та зменшення часу виробництва, що робить їх вигідним вибором для багатьох підприємств. У цілому, технологія трафаретного друку є потужним

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		25

інструментом для виробників, який дозволяє досягти високої якості та ефективності в процесі виробництва.

Було розглянуто передову технологію електричних лінійних приводів, які дозволяють модернізувати сучасний трафаретний друк та зробити його більш ефективним та енергозберігаючим.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		26

## 2 Підбір моделі верстату та вибір комплектуючих для модернізації

### 2.1 Підбір моделі верстату

Огляд та аналіз обладнання трафаретного друку показав, що існує багато видів верстатів і більшість з них мають ідеальну конструкцію, але не всі. Для модернізації була підібрана модель провідної у сфері трафаретного друку Американської компанії “Anatol Equipment” автоматичного трафаретного верстату “Color Magic” (рис.2.1). Автоматична трафаретна друкарська машина Color Magic використовується переважно для друку плоских матеріалів, наприклад: печатні плати, постери, плакати, візитівки, текстиль і т.д. Є можливість друкувати на папері, склі, металі, пластмасі та на будь якому іншому матеріалі. Доступний в чотирьох комплектаціях з різними розмірами для друку. Верстат пристосований до використання водних і пластизольних видів фарби. Стійкий анодований алюмінієвий стіл оснащений системою вакууму, що дозволяє забезпечити стабільну фіксацію матеріалу під час друку та запобігти його зсуванню або руху.[8]



Рисунок 2.1 – Трафаретний верстат Anatol Color Magic [8]

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		27

Блок управління оснащений кнопкою вмикання. Цифровий сенсорний блок керування цієї машини дозволяє налаштовувати всі необхідні параметри такі як:

- а) коефіцієнт очищення – параметр, що визначає частоту та інтенсивність очищення трафарету під час друку;
- б) час очікування. Час початку. Тривалість процесу;
- в) налаштування ввімкнення ручного та автоматичного режимів;
- г) налаштування друку водними та пластизольними фарбами;
- д) налаштування висоти підйому рами під час друку – дає можливість значно скоротити час виробництва;
- е) регулювання швидкості і висоти підйому/опускання рами;
- є) налаштування вакуумної системи столу;
- ж) налаштування ручного встановлення довжини робочого ходу.

На блоці управління також присутня кнопка аварійної зупинки. Ця кнопка призначена для негайного припинення всіх операцій та вимкнення устаткування у випадку виникнення непередбачених ситуацій або надзвичайних обставин. Після натискання кнопки аварійної зупинки, вона миттєво припиняє роботу верстата, перериваючи подачу живлення до всіх систем, а також блокуючи можливість подальшого виконання будь-яких команд чи операцій. Щоб відновити роботу верстата, потрібно виконати спеціальну процедуру перезапуску. Для прискорення процесу друку може бути використаний ножний перемикач.

До ручних налаштувань входить:

- а) калібровка і незалежне мікрорегулювання налаштування тиску в пневмосистемі опускання ракелей;
- б) регулювання ракеля і контрракеля – широкий діапазон регулювання висоти, кута нахилу та ін;
- в) регулювання столу – дозволяє налаштовувати різні положення столу.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		28

## 2.2 Системи приводів верстату Color Magic

Трафаретний верстат Anatol Color Magic використовує три окремих приводи керування.

### 2.2.1 Привід підняття та опускання рами

Ця система призначена для підняття та опускання основної рами. На ній закріплюється рамка з трафаретом. Також на рамі закріплена балка, де розташовані основний ракель, який продавлює фарбу через трафарет та контрракель (скребок), який збирає залишки фарби до початкового положення.

Головним робочим органом приводу підняття та опускання рами є серводвигун типу TGT-4 з максимальним крутним моментом до 38 Н·м, який розташований у лівій задній частині верстата. Здатен швидко і плавно підняти та опустити масивну раму при навантаженні. Номінальна швидкість 3000 об/хв. Номінальна потужність до 2.7 кВт в залежності від моделі. [9]

На рисунку 2.2-2.3 показано зображення та кінематична схема приводу основної рами.



Рисунок 2.2 – Привід підняття/опускання рами

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		29



На рисунку 2.4 показано кінематичну схему приводу руху поперечної балки.

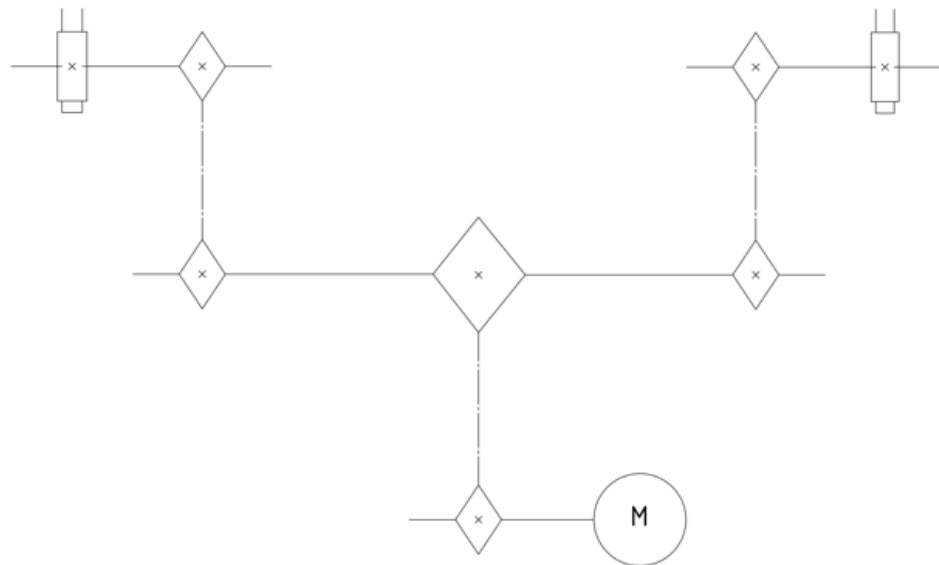


Рисунок 2.4 – Кінематична схема приводу руху поперечної балки

Сервомотор передає обертовий рух на ланцюгову передачу, яка з'єднана посередині з валом. Спеціальний вал-зірочка з трьома зірочками (одна розташована посередині валу, а дві інших на кінцях) передає далі обертовий рух за допомогою крайніх зірочок, ланцюговою передачею поздовж до передньої частини рами. В кінці утворюється рейкова система передачі, яка дозволяє виконувати лінійний рух. Балка з ракелями, яка розташована між двома бічними балками під'єдується до цієї системи, що дозволяє їй рухатись вперед і назад.

### 2.2.3 Пневмосистема руху ракеля та контракеля

Цей привід є основним у питанні модернізації у даній роботі. У даному верстаті вирішили використати пневмосистему з чотирьох пневмоциліндрів двосторонньої дії з прохідним штоком, які в певному циклі опускають і підіймають ракель та контракель. За це відповідають електромагнітні

пневморозподільники розташовані в корпусі машини і під'єднані пневмотрубками до циліндрів. Робота електромагнітних розподільників контролюється електричним сигналом, який може бути відправлений з контролера або PLC (Програмований Логічний Контролер). Подача повітря відбувається від мотор-компресора всередині верстату або повітря може подаватися від спільного компресора, який під'єднаний до декількох машин. За регулювання висоти ракелей відповідають регулюючі гвинти з накатаною головкою, розташовані на кожному з пневмоциліндрів.

Пневматична система приводу трафаретного верстату Anatol Color Magic складається з двох пар одноштокових пневматичних циліндрів двосторонньої дії (рис.2.5).

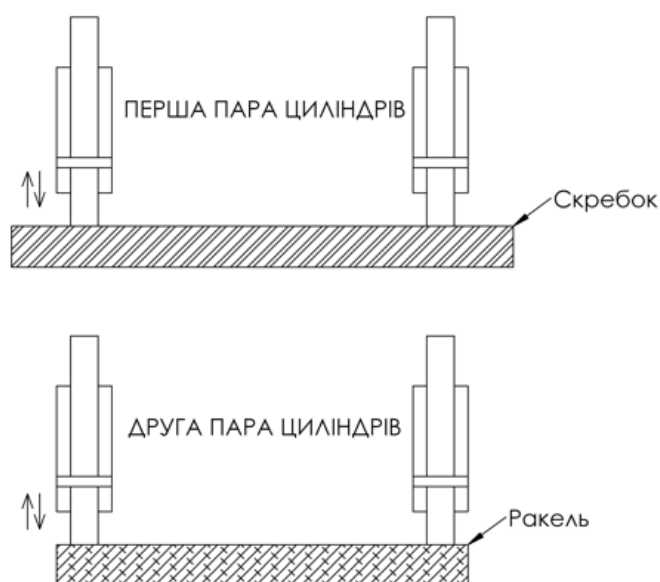


Рисунок 2.5 – Схема пневматичної системи приводу верстату

Перших два циліндра відповідають за рух скребка. Коли відбувається подача повітря на ці циліндри, розпочинається рух поршнів, тим самим спричиняє опускання тримача зі скребком. За вчасне вмикання і вимикання електромагнітів відповідає програма керування або звичайне реле часу. Друга пара пневмоциліндрів відповідає за рух ракелю. Все відбувається ідентично першій парі пневмоциліндрів, але за своїм власним циклом.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		32

На рисунку 2.6 зображено вигляд пневмоциліндрів, які відповідають за піднімання та опускання ракелей. На верстаті вони розміщені у кількості чотирьох штук.



Рисунок 2.6 – Пневматичний привід ракелів

На рисунку 2.7 показано спрощену пневматичну схему. Ця схема є ідентичною для усіх пневмоциліндрів на даному верстаті.

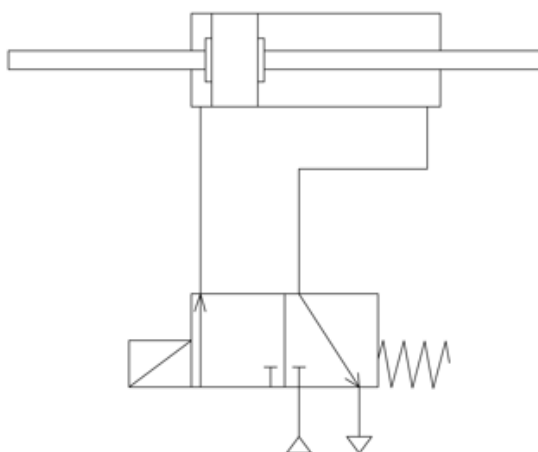


Рисунок 2.7 – Пневматична схема приводу ракелів

Після пневморозподільника, йде підключення до компресорних установок, фільтрів, манометрів та інших важливих елементів пневматики.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		33

### 2.3 Електричний лінійний привід Tolomatic IMA-S

Для того щоб переобладнати механізм підймання/опускання ракелей трафаретного верстату ми використаємо саме цю технологію лінійних електроприводів. Електричний лінійний привід (актуатор) від Американської компанії Tolomatic типу IMA-S завдяки своїм габаритним розмірам, високою швидкістю та зусиллям підходять для цих цілей (рис.2.8).



Рисунок 2.8 – Електричний актуатор Tolomatic IMA-S з вбудованим електродвигуном [10]

IMA-S – це лінійний привід з інтегрованим серводвигуном. Зазвичай використовується в харчовій промисловості, виробництві ліків та виробництві напоїв. Актуатор без проблем може використовуватися у інших галузях, такі як шовкографія. Конструкція приводу виконана з нержавіючої сталі марки 316, захист від проникнення вологи IP69K, а також герметичні кріпильні елементи/затискачі для кабелів, що дозволяє використовувати їх у відкритих машинах і проводити чистку на місці. Трафаретний друк використовує рідкі та

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		34

пластизольні фарби, які можуть забруднити систему руху ракелей. Захист від проникнення вологи дозволить легко зняти забруднення. Модель ІМА-SA має внутрішню функцію захисту від прокручування, що усуває необхідність у зовнішньому направляючому механізмі. ІМА використовує стандартні серводвигуни, сумісні з різними типами зворотного зв'язку. Завдяки запатентованій конструкції повторного змащення Tolomatic, лінійні приводи ІМА легко повторно змащувати без розбирання, що забезпечує надзвичайно довгий термін служби.

Лінійні сервоприводи ІМА, виконані як у конфігураціях із кулькогвинтовою передачею, так і з роликотгвинтовою, забезпечують зусилля до 30,6 кН. Система руху ракелей трафаретного верстату Color Magic має невелику вагу і вимагає високої точності та швидкості. За даними таблиці 1.1, можна дійти висновку, що для наших цілей підходить обидва варіанти гвинтових передач.[10]

#### Технічні характеристики лінійних приводів ІМА-S:

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики

Розмір	ІМА-S 22	ІМА-S 33	ІМА-S 33SA
Максимальний робочий хід	305 мм	457 мм	305 мм
Максимальна сила	1,45 кН	11,1 кН	11,1 кН
Максимальна швидкість	500 мм/с	500 мм/с	500 мм/с

За даними таблиці 2.1, розміру робочого ходу приводу ІМА-S 22 буде цілком вистачати. Максимального навантаження в 1,45 кН достатньо для підймання та опускання ракелю або контрракелю.

## 2.4 Серводрайвери та сервопідсилювачі

Усі серводвигуни мають бути під'єднані до серводрайверів. Серводрайвер - це пристрій, який приймає команди від контролера та постачає необхідний струм та напругу до сервоприводу для керування його рухом. Серводрайвери зазвичай мають інтерфейси для зв'язку з контролером, такі як аналогові або цифрові входи, інтерфейси керування, такі як RS-232 або USB, а також можуть мати можливості налаштування параметрів роботи серводвигуна, такі як швидкість, прискорення, крутний момент тощо. Серводрайвери забезпечують стабільне та точне керування сервоприводами з високою ефективністю.

Сервопідсилювачі є важливим елементом для тих систем, які вимагають точного і надійного управління рухом, забезпечуючи високу точність і швидкість реакції на зміни в керуючому сигналі.

Лінійні актуатори Tolomatic IMA протестовані та гарантовано працюють із сервопідсилювачами таких виробників:

- SIEMENS;
- KOLLMORGEN;
- NIDEC;
- MITSUBISHI ELECTRIC.

Усі серводвигуни Kollmorgen сумісні з усіма підсилювачами Kollmorgen за принципом Plug and Play.

Принцип "Plug and Play" (PnP) - це концепція або стандарт, за яким підключення нових пристроїв до комп'ютера або іншого електронного пристрою стає максимально спрощеним і автоматизованим процесом. Основна ідея полягає в тому, щоб пристрій міг бути підключений (вставлений, або "запльований") до системи, і система автоматично визнає пристрій та налаштовує його без необхідності вручного втручання користувача або

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		36

інженера. Принцип Plug and Play забезпечує зручність і простоту в процесі розширення та підключення нових пристроїв до системи, що сприяє підвищенню зручності та продуктивності користувачів.[6]



Рисунок 2.9 – Сервопідсилювач Kollmorgen S700

В моделях S700 передбачено вбудований контролер, який підтримує мову програмування BASIC, і під час виконання особливо складних завдань, наприклад під час роботи з функцією за змінними значеннями показників двох джерел зворотного зв'язку, вирізняється найвищою швидкістю без використання додаткових контролерів. Сервопідсилювачі Kollmorgen гарантовано працюють з електроциліндрами серії ІМА і легко підключаються за допомогою стандартних кабелів, що поставляються (рис.2.9).

## 2.5 Висновок до другого розділу

У даному розділі було здійснено вибір трафаретного верстату, який можна модернізувати. Детально оглянуто всі механізми і приводи даного верстату. Підібрана альтернативна заміна пневматичної системи приводів на

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		37

більш сучасну та енергозберігаючу систему електричних лінійних приводів. Дані приводи є менш бюджетними, але не мають великих додаткових затрат, такі як компресори, манометри та інше.

Електричні приводи можуть бути більш енергоефективними порівняно з пневматичними системами, оскільки електромотори можуть ефективно використовувати енергію, а не витрачати її на створення стисненого повітря, як пневматичні приводи. Вони зазвичай забезпечують вищу точність керування, що може бути важливо для більшості галузей, особливо якщо потрібно досягти високої точності в лінійних рухах. Електричні лінійні приводи можуть бути керовані за допомогою програмного забезпечення, що полегшує інтеграцію в автоматизовані системи керування. В порівнянні з пневматичними системами, які використовують стиснене повітря, електричні приводи можуть бути більш безпечними з точки зору пожежної та експлуатаційної безпеки. Електричні приводи можуть мати менші додаткові витрати на обслуговування порівняно з пневматичними системами, оскільки не потребують регулярного обслуговування компресорів та інших пневматичних пристроїв.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		38

### 3 Розрахунок приводу піднімання та опускання ракелів

#### 3.1 Циклограма трафаретного верстату Anatil Color Magic

##### 3.1.1 Загальна циклограма

Для початку варто розібратися та розглянути за яким циклом працює трафаретний верстат в автоматичному та ручному режимі. Для того що було легше скласти циклограму, слід розділити роботу верстата на чотири основних розділи:

а) рух контрракеля (скребка). Піднімання та опускання скребка, за яке відповідають два з чотирьох пневмоциліндра;

б) рух ракеля. Піднімання та опускання ракеля, за яке відповідають два інших пневмоциліндра;

в) рух поперечної балки, на якій знаходяться ракелі. Переміщення вперед та назад;

г) Рух основної рами. Піднімання та опускання основної рами.

У трафаретному верстаті Anatol Color Magic існує два режими: автоматичний та напівавтоматичний. Автоматичний режим відрізняється від напівавтоматичного тим, що в ручному режимі, після завершення повного циклу друку, потрібно щоразу повторно запускати цей процес за допомогою ногожного перемикача або дисплею. Автоматичний режим дозволяє працювати без зупинок або встановлювати бажану кількість повторень після яких зупиняється.

На рисунку 3.1 зображена загальна циклограма верстату. Дана циклограма розрахована для ознайомлення з почерговістю спрацювання чотирьох відокремлених механізмів за умовний проміжок часу.

Початкове робоче положення верстату передбачає підняття основної ра-

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		39





По центру балки змодельовано два основні кронштейни для лінійних приводів. Вони розташовані зеркально один одному. Призначені для закріплення двох актуаторів у вертикальному положенні штоком донизу. На них присутній отвір діаметром 30 мм для штока актуатора, який розташований по центру та чотири отвори під гвинти М8 для фіксації.



Рисунок 3.2 – Перекладина

Інші чотири кронштейни з отворами діаметром 20 мм, призначенні для розташування спеціальних штоків (рис.3.3). Ці штоки закріплюються разом з ракелями для збільшення точок опор та стабілізації конструкції. Висота штока  $h = 200$  мм . Діаметр  $D = 15$  мм. В нижній частині є спеціальний зріз для фіксації ракеля або скребка. Даний шток можна виготовити з алюмінієвого сплаву АМГ 5.

Для того щоб штоки та циліндри мали плавний хід та задля позбавлення тертя та нагрівання, додаються спеціальні латунні кільця. Вони запресовуються у отвори та мають два розміри (рис.3.4).

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		42

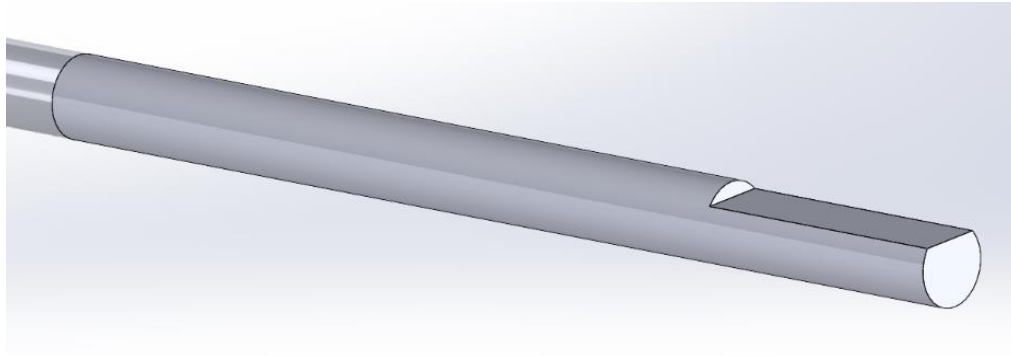


Рисунок 3.3 – Шток-стабілізатор

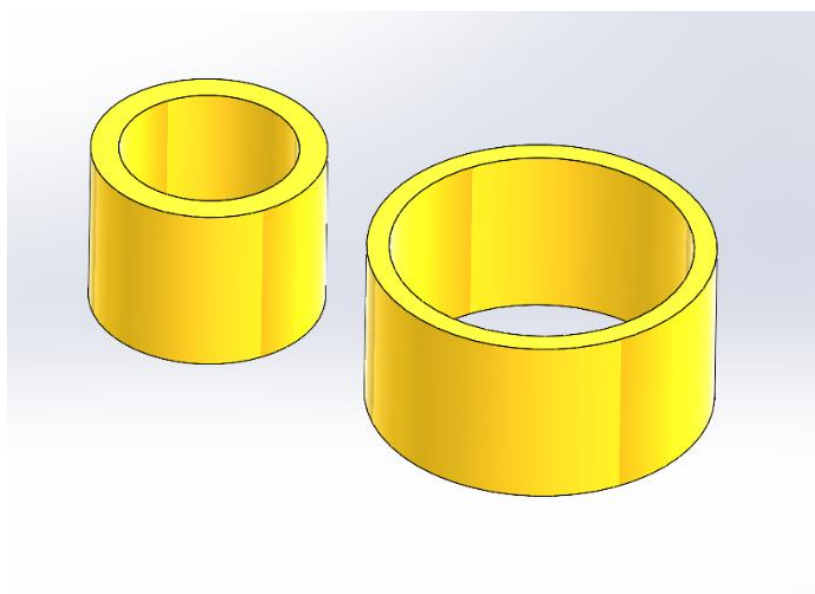


Рисунок 3.4 – Латунні кільця

На рисунку 3.5 зображено повну збірку перекладини з двома закріпленими на гвинти М8 лінійними сервоактуаторами ІМА-S 22, запресованими латунними кільцями та чотирма штоками-стабілізаторами. Приводи з'єднуються із джерелом живлення та сигналом драйвера за допомогою ізолюваних кабелів (по одному на кожен актуатор). Далі кабелі проводяться в середину балки де потім виходить в одному з кінців і по гнучким кабель-каналам напівзакритого типу прокладаються до органу керування (сервопідсилювача).

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		43

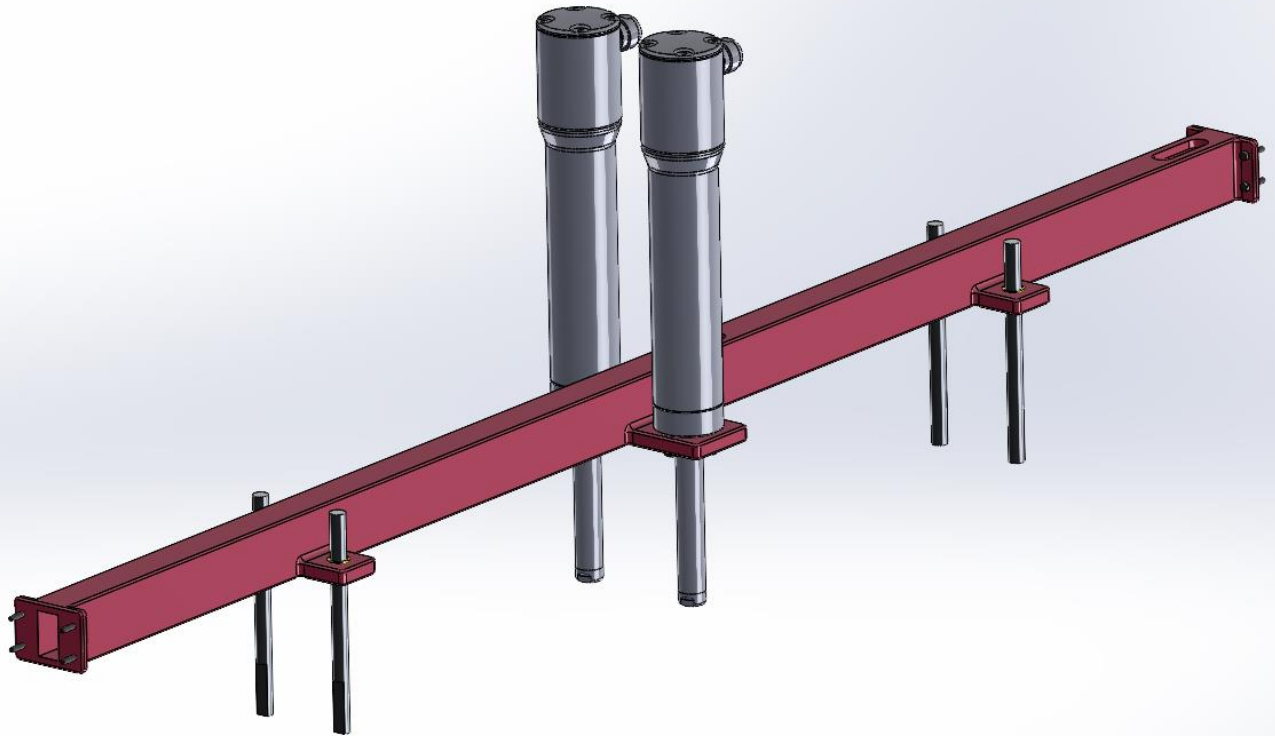


Рисунок 3.5 – Повна збірка перекладини

За допомогою вбудованих програм розрахунків в САД-системі SolidWorks можна автоматично обчислити масу збірки. Вибравши всі правильні матеріали та вказавши масу лінійних приводів (4,8 кг) дізнаємося, що повна маса збірки поперечної перекладини близько 30 кг.

### 3.3 Розрахунок перекладини на жорсткість

Розрахунок жорсткості є важливим етапом в конструюванні балки. Жорсткість балки визначає її здатність чинити опір деформаціям під дією навантажень.

Потрібно розрахувати жорсткість конструкції, за умови що навантаження на балку здійснюється через масу сервоактуаторів, які закріплені на

центральных кронштейнах з обох сторін. За даними пункті 3.2 маємо такі вихідні розміри:

- балка є порожнистою з товщиною стінок  $t = 8$  мм;
- ширина балки  $b = 40$  мм;
- висота балки  $h = 60$  мм;
- довжина балки  $L = 1700$  мм.

### 3.3.1 Розрахунок навантаження

Знаючи масу лінійного приводу ІМА-S-22  $m = 4,8$  кг, можна порахувати його вагу. Маса об'єкта та його вага пов'язані через гравітаційне прискорення. Таким чином, для актуатора масою 4,8 кг вага буде:

$$P = m \cdot g, \quad (3.1)$$

де  $m$  – маса лінійного приводу;

$g$  – гравітаційне прискорення ( $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>);

$$P = 4,8 \cdot 9,81 \approx 47,088 \text{ Н.}$$

Таким чином, вага актуатора масою 4,8 кг становить приблизно 47,1 Н.

### 3.3.2 Розрахунок моментів і прогинів

При розрахунку прогинів та моментів перекладини можна використовувати метод суперпозиції, який передбачає сумування впливів від кожного окремого навантаження.

На перекладині розташовано два кронштейни з навантаженням. Вони

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		45

позиціонуються по центру перекладини. Таким чином можна знайти відстань до центральних точок навантаження розділивши навпіл відому довжину перекладини:

$$a = \frac{L}{2}, \quad (3.2)$$

де  $L$  – довжина перекладини;

$$a = \frac{1700}{2} = 850 \text{ мм} = 0,85 \text{ м.}$$

Момент для обох кронштейнів буде однаковий:

$$M = \frac{P \cdot a \cdot (L - a)}{L}, \quad (3.3)$$

де  $P$  – навантаження;

$a$  – відстань до точки навантаження від крайньої опори;

$L$  – довжина балки;

$$M = \frac{47,1 \text{ Н} \cdot 0,85 \text{ м} \cdot (1,7 \text{ м} - 0,85 \text{ м})}{1,7 \text{ м}} \approx 20 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Загальний момент:

$$M_{\text{загал}} = 2 \cdot M; \quad (3.4)$$

$$M_{\text{загал}} = 2 \cdot 20 = 40 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		46

Розрахунок прогинів:

$$\delta = \frac{P \cdot a \cdot (L^2 - a^2)}{6 \cdot E \cdot I \cdot L}, \quad (3.5)$$

де  $P$  – навантаження;

$a$  – відстань до точки навантаження від крайньої опори;

$L$  – довжина балки;

$E$  – модуль пружності сталі  $E = 205 \cdot 10^9$  Па (Сталь Ст3СП);

$I$  – момент інерції.

Для визначення моменту інерції  $I$  необхідно прийняти до уваги, що конструкція балки є порожнистою. Для цього необхідно обчислити внутрішні розміри балки.

Внутрішня ширина балки:

$$b_{\text{вн}} = b - 2t, \quad (3.6)$$

де  $b$  – зовнішня ширина балки;

$t$  – товщина стінок;

$$b_{\text{вн}} = 40 - 2 \cdot 8 = 24 \text{ мм.}$$

Внутрішня висота балки:

$$h_{\text{вн}} = h - 2t, \quad (3.7)$$

де  $h$  – зовнішня висота балки;

$t$  – товщина стінок;

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		47

$$h_{\text{BH}} = 60 - 2 \cdot 8 = 44 \text{ мм.}$$

Визначення моменту інерції поперечного перерізу:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} - \frac{b_{\text{BH}} \cdot h_{\text{BH}}^3}{12}; \quad (3.8)$$

$$I = \frac{40 \cdot 60^3}{12} - \frac{24 \cdot 44^3}{12} = 720000 - 170368 = 549632 \text{ мм}^4;$$

$$I = 549,632 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4 = 0,000549632 \text{ м}^4.$$

$$\delta = \frac{47,1 \cdot 0,85 \cdot (1,7^2 - 0,85^2)}{6 \cdot (205 \cdot 10^9) \cdot 0,000549632 \cdot 1,7} = 0,0755 \text{ мм.}$$

Загальний прогин:

$$\delta_{\text{загал}} = 2 \cdot \delta; \quad (3.9)$$

$$\delta_{\text{загал}} = 2 \cdot 0,0755 = 0,151 \text{ мм.}$$

Максимальний прогин балки під дією двох навантажень по 47,1 Н, розташованих у середній частині, становить приблизно 0,151 мм. Це значення є досить незначним і свідчить про те, що балка має достатню жорсткість, щоб витримувати такі навантаження без значних деформацій. Загальний момент становить 40 Н·м, що також вказує на стабільність конструкції і її здатність витримувати зазначені навантаження без надмірних вигинів або пошкоджень. Виходячи з цих даних, можна бути впевненим, що максимальний прогин балки не є критичним та не буде перешкоджати роботі ракелів, які притискаються до

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		48

трафаретної сітки. У процесі друку важливо, щоб раkel рівномірно притискався до трафаретної сітки, що забезпечує чіткість і якість друкованого зображення.

### 3.4 Програмний розрахунок перекладини

Для запобігання прогинів у точках кріплення приводів, необхідно розрахувати напруження на згин. Маса лінійного сервоактуатора є достатньо великою, становлячи 4,8 кг. Відповідно ця вага за законом тяжіння спрямована до землі, що зумовлює згин у місці кріплення привода. Згин – це деформація, при якій одна частина тіла стискається, а інша розтягується. Для того щоб забезпечити надійність конструкції, потрібно визначити, чи зможе перекладина витримати цю вагу.

Для проведення розрахунків можна використовувати інтегровану системну програму SolidWorks Simulation. За її допомогою можна виконати такі розрахунки для поперечної балки:

- а) границя текучості;
- б) переміщення;
- в) деформація;
- г) коефіцієнт запасу міцності.

#### 3.4.1 Дослідження границі текучості (рис.3.6)

Границя текучості – в прикладній механіці визначається як умовне напруження  $\sigma_t$ , за якого тіло починає деформуватись без помітного збільшення навантаження. Це основна механічна характеристика для оцінювання міцності сталей. [13] За даними таблиці 3.2 мінімальні дані границі текучості є задовільними.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		49



Таблиця 3.3 – Переміщення

Макс.	Мін.
0.024935 мм	0,000 мм

### 3.4.3 Дослідження деформації (рис 3.8)

У таблиці 3.4 та на рисунку 3.8 показані результати дослідження деформації тіла.

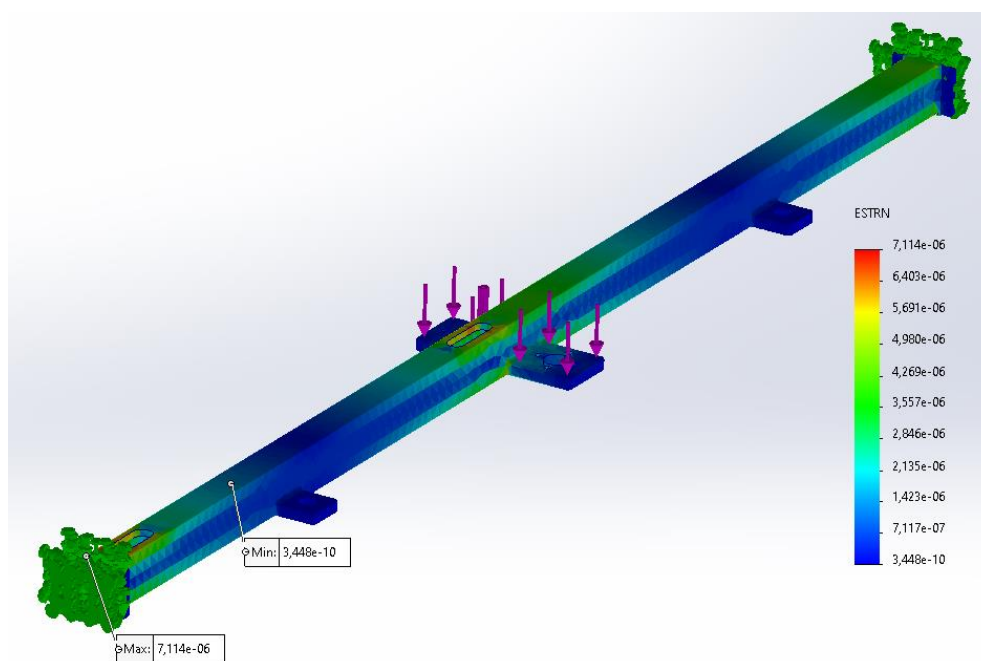


Рисунок 3.8 – Дослідження деформації

Таблиця 3.4 – Деформація

Макс.	Мін.
0.07	0,00000

### 3.4.4 Коефіцієнт запасу міцності (рис 3.9)

За даними дослідження і таблиці 3.5 мінімальний запас міцності моделі,

рівний приблизно 180 ( $1.802e+02$ ), свідчить про те, що модель має високий рівень надійності і стійкості до навантажень. Це означає, що модель не повинна бути пошкоджена при вказаних навантаженнях і обмеженнях.

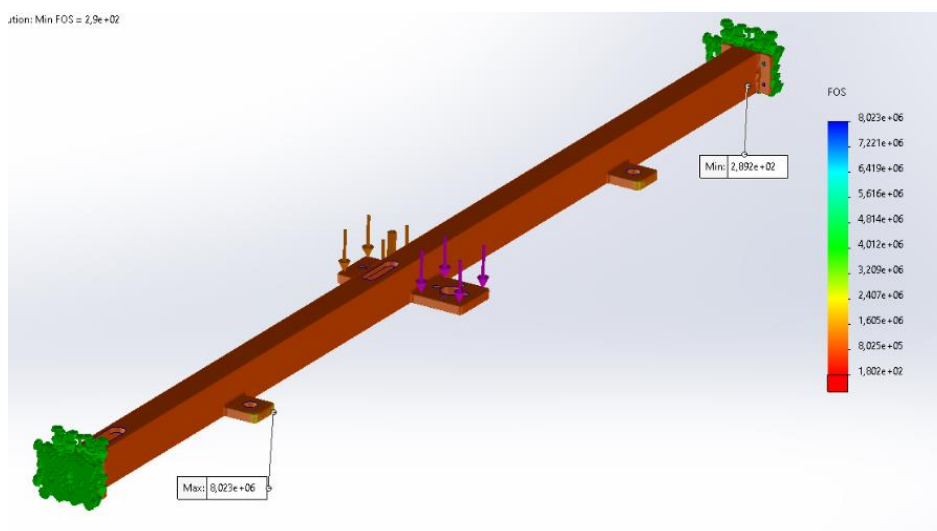


Рисунок 3.9 – Коефіцієнт запасу міцності

Таблиця 3.5 – Коефіцієнт запасу міцності

Макс.	Мін.
8023447.50	180.1981

Проаналізувавши дані які отримали внаслідок розрахунків можна сказати що перекладаина та кріплення приводів витримують задані навантаження (48 Н на кожен сторону).

### 3.5 Обчислення часу спрацювання та енергоспоживання сервоактуаторів

#### 3.5.1 Обчислення часу спрацювання та енергоспоживання сервоактуаторів

В наш час показники енергоспоживання верстатів є дуже важливим фак-

тором. Для обчислення енергоспоживання лінійний приводів буде враховуватися витрати під час спрацювання серводвигунів (активації штока) та відома потужність серводрайвера Kollmorgen S700, який працюватиме з двома приводами. Енергоспоживання актуаторів під час простою не враховуватиметься.

Можна обчислити енергоспоживання лінійних сервоактуаторів ІМА-S 22. Для цього візьмемо певний проміжок часу безперервної роботи верстату  $T = 5$  год. Нехай швидкість верстату буде налаштована на середню. Час, за який верстат виконує один цикл  $t_{\text{ц}} = 10$  с. За цими даними можна порахувати кількість циклів за цей проміжок часу:

$$n = \frac{T \cdot 3600}{t_{\text{ц}}}, \quad (3.10)$$

де  $T$  – час безперервної роботи верстату;

$t_{\text{ц}}$  – час, за який верстат виконує один цикл;

$$n = \frac{5 \cdot 3600}{10} = \frac{18000}{10} = 1800 \text{ циклів.}$$

За даними таблиці 2.1, максимальна швидкість сервоактуатора ІМА-S 22,  $500 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$ . При налаштуванні верстату на середню швидкість, швидкість актуатора буде  $v_a = 350 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$ . Максимальний робочий хід 305 мм. Було підібрано лінійний привід з робочим ходом (від 76 мм до 100 мм). Для нашого випадку необхідно опустити шток на 80-85 мм (в залежності від типу ракелів та трафарету). Для розрахунків візьмемо хід штока  $L = 80$  мм. Знаючи швидкість та довжину зможемо обчислити час, за який лінійний привід подолає робочу відстань.

$$t = \frac{L}{v_a}, \quad (3.11)$$

де  $L$  – довжина ходу штока лінійного приводу;

$v_a$  – швидкість лінійного приводу;

$$t = \frac{80}{350} = 0,23 \text{ с.}$$

Час, за який лінійний привід подолає відстань 80 мм –  $t = 0,23$  с.

За даними циклограми роботи трафаретного верстату (рис.3.1) можна побачити, що дані приводи за один цикл спрацьовують 4 рази, тобто загальний час роботи за один цикл:

$$t_{\text{заг}} = 4 \cdot t; \quad (3.12)$$

$$t_{\text{заг}} = 4 \cdot 0,23 = 0,92 \text{ с;}$$

$$t_{\text{заг}} = \frac{0,92}{3600} = 0,000255 \text{ год.}$$

За даними виробника, потужність серводвигуна приводу ІМА-S 22, під час активації штока  $P = 100$  Вт. Знаючи загальний час роботи приводів за цикл, можна порахувати їх енергоспоживання:

$$E = P \cdot t_{\text{заг}}, \quad (3.13)$$

де  $E$  – енергоспоживання;

$P$  – потужність;

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		54

$t_{\text{заг}}$  – загальний час роботи актуаторів за один цикл;

$$E = 100 \cdot 0,000255 = 0,0255 \text{ Вт} \cdot \text{год.}$$

Енергоспоживання за один робочий цикл верстату  $E = 0,0255 \text{ Вт} \cdot \text{год.}$

Дізнавшись скільки циклів зробить трафаретний верстат за 5 год безперервної роботи можна порахувати енергоспоживання за всю кількість цих циклів:

$$E_{\text{заг}} = n \cdot E, \quad (3.14)$$

де  $n$  – кількість циклів;

$E$  – енергоспоживання за один робочий цикл верстату;

$$E_{\text{заг}} = 1800 \cdot 0,0255 = 45,9 \text{ Вт} \cdot \text{год.}$$

### 3.5.2 Порівняння енергоефективності із базовим пневмоприводом

За подачу повітря у пневмоциліндри на базовому верстаті відповідає вбудований мотор-компресор. За даними виробника, верстат споживає приблизно  $0,001417 \text{ м}^3/\text{с}$ , при тиску  $6894,76 \text{ Па}$ .

В верстаті вбудований мотор-компресор з потужністю  $P = 550 \text{ Вт}$ . Та об'ємом баку з повітрям (ресивера)  $V = 0,009 \text{ м}^3$ . Продуктивність компресора  $Q = 0,001417 \text{ м}^3/\text{с}$ . На даному верстаті встановлена система вакуумного прижиму матеріалів. Приблизно, вона може споживати 80% продуктивності компресора.

Час заповнення баку  $t_3$  можна зайти за формулою:

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		55

$$t_3 = \frac{V}{Q}, \quad (3.15)$$

де  $V$  – об'єм баку;

$Q$  – продуктивність;

$$t_3 = \frac{0,009 \text{ м}^3}{0,001417 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}} = 6,35 \text{ с};$$

Припустимо, що система вакуумного прижиму матеріалу буде працювати без зупинки протягом 5 годин безперервної роботи верстату. Звідси можна порахувати скільки повітря споживатиме ця система та обчислити загальне споживання. Порахуємо скільки буде споживати система вакуумного прижиму, якщо вона забирає 80% продуктивності компресора.

$$Q_1 = 0,8 \cdot Q; \quad (3.16)$$

$$Q_1 = 0,8 \cdot 0,001417 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 0,0011336 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Знайдемо споживання повітря за 5 годин:

$$V_{\text{пр}} = (5 \cdot 3600) \cdot Q_1; \quad (3.17)$$

$$V_{\text{пр}} = (5 \cdot 3600 \text{ с}) \cdot 0,0011336 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 20,4048 \text{ м}^3.$$

Для визначення розхиду повітря пневмоциліндру потрібно взяти його робочий об'єм  $V_{\text{цил}}$ . За даними виробника маємо такі вихідні дані:

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		56

– діаметр поршня  $D = 15$  мм;

– хід штока  $L = 80$  мм.

Об'єм одного циліндра за один хід:

$$V_{\text{цил}} = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot L; \quad (3.18)$$

$$V_{\text{цил}} = \pi \cdot \left(\frac{0,015 \text{ м}}{2}\right)^2 \cdot 0,08 \text{ м} \approx 0,00001413 \text{ м}^3.$$

Оскільки циліндр з прохідним штоком споживає повітря під час обох ходів, споживання на один цикл:

Знаючи кількість циклів одного пневмоциліндра за 5 годин безперервної роботи верстату можемо порахувати загальне споживання повітря чотирьох циліндрів:

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{цил}} \cdot n \cdot 4, \quad (3.19)$$

де  $V_{\text{цил}}$  – об'єм циліндра;

$n$  – кількість циклів за 5 годин безперервної роботи;

$$V_{\text{заг}} = 0,00001413 \text{ м}^3 \cdot 1800 \cdot 4 = 0,101736 \text{ м}^3.$$

Кількість включень компресора  $N$  визначається як відношення загального споживаного об'єму повітря до об'єму ресивера:

$$N = \frac{V_{\text{заг}} + V_{\text{пр}}}{V}, \quad (3.20)$$

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		57

де  $V_{\text{заг}}$  – загальне споживання пневмоциліндрів;

$V_{\text{пр}}$  – споживання вакуумної системи;

$V$  – об'єм баку;

$$N = \frac{101786,4 \text{ м}^3 + 20,4048 \text{ м}^3}{0,009 \text{ м}^3} \approx 2278,5.$$

Оскільки компресор не може включитися частково, округлюємо кількість включень до найближчого цілого числа. Таким чином, компресор буде включатися приблизно 2279 раз.

Маючи час заповнення компресора та знаючи кількість його включень, можна обчислити його енергоспоживання:

$$E = N \cdot \frac{t_3}{3600} \cdot P, \quad (3.21)$$

де  $N$  – кількість включень компресора;

$t_{\text{заповнення}}$  – час заповнення баку;

$P$  – потужність компресора;

$$E = 2279 \cdot \frac{6,35 \text{ с}}{3600 \text{ с}} \cdot 550 \text{ Вт} = 2210,94 \text{ Вт} \cdot \text{год.}$$

Провівши розрахунки було доведено, що базова пневматична система приводів ракелей за 5 годин безперервної роботи верстату, споживає значно більше електроенергії порівняно з лінійними сервоприводами. Таким чином, результати розрахунків вказують на те, що використання лінійних сервоприводів більш раціональним та вигідним рішенням порівняно з пневматичними системами.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		58

### 3.6 Висновок до третього розділу

Дослідивши процес друку трафаретного верстату ANATOL Color Magic було створено загальну циклограму руху приводів та циклограму пневматичної системи. Це дозволило нам зрозуміти правильний порядок і важливість кожного вузла верстату. Розуміння цих циклограм дозволяє оптимізувати роботу, забезпечуючи ефективність, якість та надійність процесу друку.

Аналітичним методом була розрахована жорсткість поперечної балки. Обчислено її момент та прогин під дією навантаження лінійних актуаторів.

За допомогою CAD Програми SolidWorks Simulation виконано дослід на границю текучості, переміщення, деформацію та коефіцієнт запасу міцності, при розміщенні актуаторів на кріплення з їхньою вагою. За даними дослідження можна сказати що конструкція перекладини є міцною і вона зможе витримати навантаження майже в два рази більші чим вказано.

За допомогою простих розрахунків стало відомо енергоспоживання лінійних сервоактуаторів та базових пневматичних приводів. Було проведено їх порівняння.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		59

## Висновки

1. Проведено огляд та аналіз технологічного процесу, розглянуто всі важливі етапи та обладнання трафаретного друку, розглянуто передову технологію електричних лінійних приводів, які дозволяють модернізувати сучасний трафаретний друк та зробити його більш ефективним та енергозберігаючим.

2. Здійснено вибір трафаретного верстату, який можна модернізувати. Детально оглянуто всі механізми і приводи даного верстату, підібрана альтернативна заміна пневматичної системи приводів на більш сучасну та енергозберігаючу систему електричних лінійних приводів.

3. Проведено конструювання та розрахунки поперечної перекладини, було створено загальну циклограму руху приводів та циклограму пневматичної системи. Аналітичним методом була розрахована жорсткість поперечної балки. Обчислено її момент та прогин під дією навантаження лінійних актуаторів. За допомогою САД Програми виконано дослід на границю текучості, переміщення, деформацію та коефіцієнт запасу міцності перекладини. За допомогою розрахунків стало відомо енергоспоживання лінійних сервоактуаторів та базових пневматичних приводів. Було проведено їх порівняння.

4. Встановлено, що система електричних лінійних приводів значно спрощує конструкцію верстату, уникаючи окремого підведення повітря (компресора). Але навіть при найвищій енергоефективності та низькому електроспоживанню таких лінійних приводів, все ж таки краще за все залишити пневматичну систему руху ракелів.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		60

Перелік джерел посилання

1. R. J. Horwood Electrocomponent Science and Technology / R. J. Horwood // Towards a better understanding of screen print thickness control. – 1974. – С. 129-136.
2. Silk Screen Techniques / J. I. Biegeleisen, M. Cohn / – New York: Hight School of Art and Design, 1958. – С. 24-37.
3. The Complete Book of SILK SCREEN PRINTING PRODUCTION / J. I. Biegeleisen / – New York: Hight School of Art and Design, 1963. – С. 8-29.
4. Авер'янов, В.В. Шовкографія. Практичний посібник з трафаретного друку / В.В. Авер'янов – М.: Гамма, 1998. – С. 36, С. 4.
5. Потапов, Ю. Світ трафаретного друку. Практичне керівництво для всіх / Ю. Потапов, У. Потапова. – М.: Гелла-Прінт, 2001. – С. 126.
6. Виготовлення трафарету Різні способи і методи в шовкографії [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://trafaret-a.com/ua/a138945-izgotovlenie-trafareta-razlichnye.html>.
7. Selecting the Optimal Screw Technology [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.tolomatic.com/info-center/resource-details/acme-ball-roller-screw-selection/>.
8. Anatol Color Magic [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://anatol.com/en/presses/color-magic>.
9. Servomotors TGT [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.tgdrives.cz/en/servomotors/tgt-series/tgt4/>.
10. IMA-S Stainless Steel Servo Motor [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.tolomatic.com/products/product-details/ima-s-hygienic-stainless-steel-actuators/>.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		61

11. Технологія трафаретного друку [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.fatline.com.ua/ua/blog/osobennosti-sheikografii-tehnologiya-materialy-dostoinstva.html>.

12. Конвеєрні Сушильні пристрої Anatol [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://anatol.com/ru/products-category/screen-printing-conveyor-dryers/>.

13. Автоматичний верстат для трафаретного друку Volt [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://anatol.com/ru/presses/volt-automatic-screen-printing-machine/>.

14. Трафаретний верстат Schulze KN 1/1 A2 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://schulze-polyform.in.ua/ua/p108762369-trafaretnyj-standok-schulze.html>.

15. V-1000 Commercial-Grade Manual Garment Printer [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.vastex.com/Screen-Printing-Equipment/Screen-Printing-Presses/V-1000/V-1000.php>.

16. NATRONA F-1200.4 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.bb-trade.rs/en/flexo-printing-machines/f-1200-4>.

17. SFB Series Automatic Cylinder Screen Printing Line [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.screen-printer.com/other-machines/sfb-series-automatic-cylinder-screen-printing-line>.

18. Rotary Die cutting and online slitting machine [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://flexoconsultantit.com/moksha/>.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		62

ДОДАТОК А

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		63

ДОДАТОК Б

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		64