

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка конструкції плотера з
робототехнічною системою.

Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Шифр БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
4 курсу група РМ-20-1


Підпис

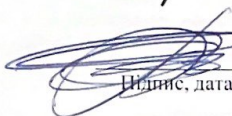
Олексійко В.О.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

к.т.н., доц. Тихончук О.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

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

24 06 2024 р.

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

Освітня програма Робототехнічні та мехатронні системи галузі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС


24.06.2024

З А В Д А Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Олексійко Вадим Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка конструкції плотера з робототехнічною системою

керівник роботи д.т.н., проф. Поліщук Олег Степанович

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

Затверджено наказом ректора університету від 15 02 2024 р. № 1

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 24.06.2024

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики плотерів-аналогів

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

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих конструкцій плотерів з робототехнічними системами. 2. Розробка конструкції плотера з робототехнічною системою. 3. Розрахунки що підтверджують працездатність плотера. Висновки. Перелік джерел посилань.

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

Аркуш 1. Детальний аналіз плотерів. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Плотер. Вид загальний (A1). Аркуш 3. Основа двигуна (A1). Деталювання. Аркуш 4. Тримач для ручки. Деталювання (A1). Аркуш 5. Кріплення до корпусу (A1). Деталювання.

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Олексійко Вадим Олександрович
2. Тема бакалаврської роботи Розробка конструкції плотера з робототехнічною системою

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента Подєбровська О. М.,
доц. каф. ТКШВ

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 60

5. Розвиток технологій плотерів активно прогресує з кожним днем, що дозволяє створювати плотери з розширеними функціональними можливостями. Використання таких пристроїв у сучасному виробництві є вельми актуальним завданням, оскільки існуючі моделі на ринку часто мають подібні характеристики та високу цінову категорію. Моя бакалаврська робота зосереджена на створенні конструкції плотера з використанням робототехнічних систем. В наданій документації відображено всі необхідні дослідження, а також розділи, що відповідають вимогам. У першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих плотерів з використанням робототехнічних систем, історію їх розвитку. Другий розділ присвячений розробці конструкції плотера. У третьому розділі представлені розрахунки деталей на міцність плотера, та ефективності руху, які підтверджують його ефективність.

Підпис студента Зелу

" 24 " 06 20 24 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 1 від " 26 " 06 20 24 р.

Оцінка проекту ЕК відмінно/А
Рекомендації ЕК -

Особливі відмітки -

Технічний секретар Буряк А.В.

" 26 " 06 20 24 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Огляд та аналіз існуючих конструкції плотерів з робототехнічними системами.....	8
1.1 Призначення плотера та історія розвитку.....	8
1.2 Технічне використання робототехнічних систем та їх елементів у плотерах.....	9
1.3 Типи плотерів.....	12
Висновки до першого розділу.....	21
2 Розробка конструкції плотера з робототехнічною системою.....	22
2.1 Загальний опис конструкції.....	22
2.2 Апаратні засоби.....	30
2.3 Програмні засоби.....	37
Висновок до другого розділу.....	42
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність плотера.....	43
3.1 Аналіз міцності кріпильних елементів плотера з використанням програмного забезпечення SolidWorks.....	43
3.2 Розрахунок основних характеристик плотера.....	51
3.3 Розрахунок ефективності плотера.....	54
Висновок до третього розділу.....	57
Висновки.....	58
Перелік джерел посилання.....	59

БРМА 24.00.00.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ доким.	Підпис	Дата
		Олексійко В.О.	<i>В.О.</i>	
Розроб.				
Перевір.				
Реценз.		<i>Хмельовська</i>	<i>[Підпис]</i>	
Н. Контр.		<i>Пильоцик</i>	<i>[Підпис]</i>	
Затверд.		<i>Поліщук</i>	<i>[Підпис]</i>	
Розробка конструкції плотера з робототехнічною системою			Лит.	Арк.
			5	60
ХНУ, Гр. РМ-20-21				

ВСТУП

Роботи є сучасними технологіями для виконання певних функцій в залежності від компонентів, використаних у їх виготовленні, та програм, використовуваних для спрощення виконання завдань. Вони застосовуються в різних галузях, таких як промисловість, медицина, освіта та побут, де здатні автоматизувати рутинні або складні процеси, підвищуючи ефективність та точність.

Метою даної бакалаврської роботи є розробка конструкції плотера з робототехнічними системами, що забезпечує автоматизоване створення малюнків та текстів. Це досягається шляхом передачі зображення чи тексту з комп'ютера на контролер робота через спеціалізований додаток, подальшого перетворення цього зображення у код, зрозумілий роботу, та безпосереднього виконання малюнка на папері.

Для правильного та точного виконання цього процесу робот працює у двох вимірах - "2D". Перший, який рухається горизонтально, називається "ось X", а другий, що рухається вертикально, називається "ось Y". Ці розміри або осі рухаються за допомогою "крокового двигуна". У цій розробці використовується кроковий двигун NEMA17, який забезпечує високу точність рухів завдяки малому кроку.

Гібридний кроковий двигун NEMA17 може використовуватися як уніполярний чи біполярний кроковий двигун та має кут кроку $1,8^\circ$. Це означає, що для повного оберту валу двигун має виконати 200 кроків, що дозволяє досягти високої точності у виконанні малюнків.

Для основи ручки чи підставки для ручки можна використовувати "серво-привод", щоб натискати ручку на папір, коли це потрібно для малювання, і піднімати її з паперу, коли робот завершить малювання чи певну його частину. Серво-приводи забезпечують необхідну силу та точність для керування положенням ручки, що є критичним для створення чітких та акуратних ліній.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для керування цими компонентами їх необхідно підключити до контролера. Використаний у цьому проекті контролер відомий як "CNC-щит" або "CNC-контролер". Цей контролер з'єднаний з Arduino для програмування та взаємодії робота з комп'ютером. Щит призначений для захисту Arduino від перегрівання та збільшення часу роботи при малюванні протягом годин без труднощів. CNC-щит також забезпечує зручне підключення та керування кроковими двигунами і сервоприводами.

У даній розробці використовувалася Arduino UNO. Arduino UNO - найоптимальніша плата для початківців у сфері електроніки та програмування. UNO - це найбільш поширена та докладно задокументована плата у всій родині Arduino та Genuine. Вона має достатню кількість входів та виходів для підключення необхідних компонентів та легко програмується завдяки зручному середовищу розробки.

Додатково, для забезпечення роботи робота використовується програмне забезпечення, яке перетворює векторні зображення у G-коди - мову, зрозумілу для CNC-контролера. Це програмне забезпечення дозволяє точно визначити координати кожної точки малюнка та керувати рухом крокових двигунів для досягнення необхідного результату.

Таким чином, дана розробка демонструє можливості сучасних технологій у створенні автоматизованих систем для малювання, використовуючи поєднання апаратних та програмних засобів. Це не лише цікавий приклад застосування робототехніки, але й корисний інструмент для навчання основам електроніки, програмування та автоматизації.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЇ ПЛОТЕРІВ З РОБОТОТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

1.1 Призначення плотера та історія розвитку

Плотер (англ. *plotter*) - пристрій, який використовується для графічного виведення даних на папір.

Зазвичай це широкоформатний, струменевий принтер, орієнтований на високоточний друк у декартовій системі координат аркушів різних форматів, таких як A0, A1, A2, A3, A4, і різної товщини (від 80 г/м², включаючи ватмани та напівватмани). Плотери активно застосовуються для друку як у чорно-білому, так і в кольоровому варіантах, включаючи створення креслень, схем, карт, рекламних плакатів та великоформатних цінників (наприклад, на вікнах супермаркетів).

Особливості плотерів включають великі об'єми чорнильниць, можливість підключення СНПЧ (Системи Неперервної Подачі Чорнила) для ще більших обсягів друку, а також "гарячу" заміну чорнильниць та картриджів.

Деякі моделі можуть бути оснащені головкою з лезом або спеціальним пером для нарізки матеріалів по кривих лініях (на оракалі, плівках для термопереносу тощо). Дані на плотер передаються з програм, призначених для роботи з векторною графікою (Corel Draw, Adobe Illustrator тощо).

Історія розвитку плотерів починається з моделі Calcomp 565, яка з'явилася у продажу в 1959 році під час епохи бурхливого технологічного розвитку. У цей період комп'ютери, або електронно-обчислювальні машини (ЕОМ), були неймовірно гігантськими в порівнянні з сучасними ноутбуками і персональними комп'ютерами.

Calcomp 565 відтворював графічну інформацію за рахунок переміщення паперу спеціальними коліщатками, граючи роль осі X, а переміщення пера забезпечувало малювання по осі Y.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Як альтернатива Calcomp 565, був винайдений прилад Computervision's Interact I, що став першою системою автоматичного проектування (CAD-система). Це був вдосконалений пристрій для перемальовування графіків в іншому масштабі, яким керувала обчислювальна машина. Малюючим елементом було кулькове перо. Плюсом даного пристрою була висока точність малюнка, що наносився на паперовий носій шляхом високоточного переміщення пера в межах області креслення, а в подальшій модернізації була впроваджена можливість використовувати різнокольорові пір'я різної товщини. Однак для правильної роботи потрібен був простір, який відповідав області креслення.

У сімдесяті роки минулого століття корпорації HP і Tektronix показали світу плотери зі стандартною роздільною здатністю розміром з робочий стіл, так звані "планшетні плотери", а у вісімдесяті вийшов менш габаритний і легший HP 7470. Він був незамінним засобом тиражування у сфері бізнесу, але через повільну швидкість друку виявився малокорисним для роздруківки малюнків загального застосування. З часом струменеві і лазерні принтери почали набирати популярність через їх високу швидкість друку, і плотери поступово втратили актуальність. Однак сьогодні плотери знову стали популярними і використовуються майже у всіх поліграфічних студіях [11].

1.2 Технічне використання робототехнічних систем та їх елементів у плотерах

Робототехнічні системи в плотерах забезпечують високу точність, швидкість і надійність виконання завдань, завдяки інтеграції кількох ключових компонентів та технологій.

Двигуни та приводи

Серводвигуни та крокові двигуни є основними елементами для забезпечення руху в плотерах. Серводвигуни дозволяють здійснювати високоточний контроль положення та швидкості, що особливо важливо для

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

складних завдань. Крокові двигуни, з іншого боку, забезпечують точне позиціонування при меншій вартості, що робить їх популярними у менших моделях плотерів. Прямопривідні системи забезпечують ще більшу точність і швидкість, з'єднуючи двигун безпосередньо з робочим механізмом.

Системи керування

Мікроконтролери, такі як Arduino та Raspberry Pi, використовуються для керування робототехнічними системами плотерів. Вони обробляють сигнали від сенсорів і керують рухом двигунів. Цифрові сигналізатори, як-от енкодери та лінійні датчики положення, забезпечують зворотний зв'язок і корекцію руху, що підвищує точність.

Сенсори

Енкодери вимірюють обертання валів двигунів, дозволяючи точно контролювати їхнє положення. Лінійні датчики положення визначають точне розташування рухомих частин плотера, що важливо для точного виконання завдань. Датчики сили та тиску контролюють силу, з якою голівка плотера тисне на робочу поверхню, забезпечуючи рівномірне нанесення матеріалу.

Програмне забезпечення

Системи CAD/CAM використовуються для створення та обробки дизайнів, які потім передаються на плотер для виконання. Прошивки, такі як Marlin або GRBL, управляють мікроконтролерами і двигунами, забезпечуючи оптимальне виконання завдань. Алгоритми керування рухом планують траєкторії руху голівки плотера, мінімізуючи час та зусилля.

Інтерфейси та комунікації

Для передачі даних між комп'ютером та принтером використовуються різні інтерфейси та комунікаційні протоколи. Одним із найпоширеніших інтерфейсів є USB (Universal Serial Bus), який забезпечує швидку та надійну передачу даних між пристроями. Окрім USB, також можна використовувати серійні інтерфейси для з'єднання між комп'ютером та принтером. З появою бездротових технологій комунікації, таких як Wi-Fi та Bluetooth, з'єднання стало ще зручнішим. Wi-Fi

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє підключати принтер до бездротової мережі, що дає можливість друкувати документи з будь-якого пристрою в мережі без необхідності фізичного з'єднання з комп'ютером. Bluetooth також може використовуватися для бездротового з'єднання, забезпечуючи просту і зручну спосіб керування принтером зі смартфонів або планшетів.

Механічні компоненти

Рейки та направляючі забезпечують плавний та точний рух частин плотера. Шків та ремені передають рух від двигунів до робочих механізмів, забезпечуючи ефективну роботу всієї системи.

Живлення

Стабільне та потужне джерело живлення необхідне для роботи всіх компонентів плотера, включаючи двигуни та мікроконтролери. Аварійне живлення у вигляді акумуляторів може використовуватися для забезпечення роботи під час короткочасного відключення електрики.

Переваги використання робототехнічних систем в плотерах:

1. Висока точність. Сучасні робототехнічні системи забезпечують більш точне позиціонування та кращу якість зображення, порівняно з традиційними плотерами;

2. Гнучкість. Сучасні робототехнічні системи забезпечують більш точне автоматичне позиціонування та кращу якість зображення, порівняно з традиційними плотерами;

3. Швидкість. Робототехнічні системи можуть працювати значно швидше, ніж традиційні плотери;

4. Економія матеріалів. Робототехнічні системи дозволяють економити матеріали, використовуючи більш точне позиціонування та мінімізуючи відходи.

Загалом, робототехнічні системи значно покращують функціональність плотерів, дозволяючи виконувати складні завдання з високою точністю та ефективністю. Завдяки використанню передових алгоритмів і сенсорних технологій, робототехнічні системи здатні забезпечувати стабільну та надійну

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботу, мінімізуючи помилки та підвищуючи продуктивність. Інтеграція сучасних технологій у плотери відкриває нові можливості для їх використання в різних галузях, таких як промисловий дизайн, архітектура та графічний дизайн.

1.3 Типи плотерів

Пір'яні плотери

Пір'яні пристрої представляють собою електромеханічне обладнання векторного типу (рис. 1.1). У таких пристроях зображення або картинка наносяться на папір чи інший носій за допомогою елемента, що може переміщуватися по осях X та Y. Принцип роботи таких плотерів полягає у точному переміщенні пера відповідно до команд, заданих комп'ютерною програмою, що дозволяє створювати лінії та фігури з високою точністю.



Рисунок 1.1 - Пір'яний плотер

Існують моделі, які можуть використовувати рідкі фарби та спеціальні грифелі-олівці (олівцево-пір'яні плотери). Це дає користувачам можливість вибирати між різними стилями та методами друку, що робить пір'яні плотери універсальними інструментами для створення зображень різного характеру. Завдяки використанню різноманітних витратних матеріалів можна досягти високої якості та різноманітності в друкованих продуктах.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рух пера забезпечується електродвигуном, що дозволяє виконувати точні переміщення відповідно до команд. Незважаючи на це, в процесі роботи вони видають багато шуму через механічні компоненти. Одним з недоліків пір'яних плотерів є низька швидкість друку. Навіть з усіма можливими оптимізаціями, вони не можуть досягти швидкості сучасних методів друку.

Головними перевагами пір'яних графобудівників виступає:

- дуже висока якість друку;
- висока кольоровіддача та контраст під час друку кольорових зображень.

Якість друку значною мірою залежить не лише від самого пристрою, але й від витратних матеріалів, таких як папір та фарба. Використання високоякісних матеріалів може значно покращити кінцевий результат, забезпечуючи чіткі та яскраві зображення. Правильний вибір витратних матеріалів, а також регулярне обслуговування пристрою, є критично важливими для підтримки високої якості друку.

Струменеві плотери

Технологія струменевого друку, яка застосовується в плотерах, дещо нагадує ту, що використовується в звичайних принтерах. Друк здійснюється шляхом нанесення безлічі дрібних крапель фарби. Струменеві плотери (рис. 1.2) оснащені соплами, які випускають мікроскопічні краплі чорнила на папір або інший матеріал. Ця методика забезпечує високу роздільну здатність і точність передачі зображень.



Рисунок 1.2 - Струменевий плотер

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Зазвичай використовується 4 стандартні кольори:

- блакитний;
- жовтий;
- пурпуровий;
- чорний.

Інші кольори та їх відтінки отримують шляхом змішування базових кольорів.

"Бульбашкова" технологія, спочатку розроблена і запатентована Canon, зараз іншими виробниками струменевих плотерів. Друкувальна головка цієї технології складається з багатьох форсунок, через які фарба подається для створення якісних зображень. Кожна форсунка має термонагрівач, який формує бульбашку повітря, вивільнюючи фарбу, і термоелемент, що швидко охолоджується для наступного друкарського завдання.

Струменеві пристрої дуже популярні завдяки численним перевагам:

- гарна якість;
- висока швидкість друку;
- доступність витратних матеріалів;
- легкість та доступність обслуговування;
- прийнятна вартість обладнання.

У певних моделях струменевих плотерів можна налаштувати подачу фарби для досягнення якісних і насичених зображень з високою чіткістю. Однак це вимагає від оператора конкретних навичок. Деякі пристрої використовують п'єзоструменеві головки з різними форсунками для точного контролю подачі фарби. Для ефективного використання цих можливостей потрібні високі навички та вправність у користувача.

Електростатичні плотери

У електростатичних плотерах (рис. 1.3) спеціальний папір використовується для нанесення невидимого зображення за допомогою заряджених частинок. Після цього рідка фарба прилипає до заряджених частинок.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Останнім етапом є просушування паперу, що закріплює фарбу на носії і забезпечує стійкість зображення до зовнішніх впливів, роблячи його видимим.

Використання цієї технології дозволяє швидко отримувати високоякісні та точні зображення в короткі терміни, проте виявляється деяка кількість недоліків, які важливо враховувати:

- Необхідність підтримання певного рівня температури та вологості в приміщенні. Для стабільної роботи електростатичних плотерів потрібні оптимальні умови навколишнього середовища;
- Складність у проведенні обслуговування. Технічне обслуговування таких плотерів може бути складним і вимагати спеціалізованих знань;
- Високі витрати на придбання та експлуатацію. Високоякісне обладнання та витратні матеріали можуть бути дорогими, що підвищує загальні витрати на використання електростатичних плотерів.



Рисунок 1.3 - Електростатичний плотер

Електростатичні плотери є оптимальним вибором для підприємств з високими стандартами щодо якості та роздільної здатності зображень.

Вони часто використовуються в таких галузях, як архітектура, інженерія, видавнича справа та рекламна індустрія. Їх висока швидкість і ефективність роблять їх незамінними для створення великоформатних друкованих матеріалів,

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічних креслень, картографічних матеріалів і високоякісних рекламних плакатів.

Плотери прямого виведення зображення

У цьому обладнанні зображення формується на термопапері, який містить спеціальний склад. Під час проходження через "гребінку" термічних нагрівачів термопапір змінює свій колір, утворюючи зображення. Цей процес забезпечує точне та якісне відображення без використання чорнила або тонера, що робить його економічно вигідним та простим у використанні.

Основна перевага плотерів прямого виведення (рис. 1.4) полягає в їх економічності та простоті експлуатації, оскільки вони не потребують додаткових витрат на витратні матеріали, такі як чорнило або тонер. Це робить їх ідеальними для використання в галузях, де потрібна постійна друкована продукція, наприклад, у медицині для створення термографічних зображень, у логістиці для друку накладних та маршрутних планів, а також у технічних областях для друку схем та креслень. Також такі плотери відзначаються високою надійністю і довговічністю, що знижує витрати на обслуговування.



Рисунок 1.4 - Плотер прямого виведення

Це обладнання ідеально підходить для проектних та інженерних організацій. Навіть при монохромному друку воно забезпечує високу якість та

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

точні зображення. Крім того, цей плотер не вимагає складного обслуговування і може працювати без дотримання спеціальних умов.

Плотери на основі термообробки

Плотери на основі термообробки працюють за принципом, схожим на вищеописані пристрої. Основна відмінність полягає в тому, що термопапір проходить через "гребінку", яка містить спеціальний кольоровий донор, розташований між термопапером та нагрівальним елементом. Під час друку кольорового зображення процес проходження через гребінець повторюється необхідну кількість разів для кожного кольору, що дозволяє досягти оптимального кольорового висвітлення та насиченості. Нагрівальні елементи у вигляді "гребінки" нагрівають донорську плівку, яка переносить фарбу на термопапір, забезпечуючи високу точність і чіткість зображень. Завдяки багатопрхідному процесу друку для кожного кольору термоплотери досягають високої якості кольорових зображень. Приклад плотера на основі термообробки показаний на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 - Плотер на основі термообробки

Плотери на основі термообробки мають кілька важливих технічних особливостей. По-перше, отримане зображення виявляється стійким до негативного впливу вологості та ультрафіолетового випромінювання, що гарантує довговічність та високу стабільність кольорових характеристик. Ця технологія дозволяє зменшити витрати на обслуговування та заміну витратних

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалів, оскільки термопапір і кольоровий донор є менш схильними до зносу. Однак термоплотери можуть працювати лише з термопапером, що обмежує вибір матеріалів для друку, і потребують підтримання стабільної температури навколишнього середовища для забезпечення стабільної якості друку.

Переваги термоплотерів

- Висока якість друку. Завдяки точному контролю температури і рівномірному переносу фарби, термоплотери забезпечують насичені кольори і чіткість зображень.

- Довговічність зображень. Отримані зображення стійкі до зовнішніх впливів, таких як волога та ультрафіолетове випромінювання, що робить їх ідеальними для довготривалого збереження та показу.

- Зменшені витрати на обслуговування. Термоплотери потребують менше витрат на обслуговування та заміну витратних матеріалів у порівнянні з іншими технологіями друку, оскільки вони використовують термопапір і кольоровий донор, які є менш схильними до зносу.

Використання термоплотерів має також і недоліки. Вони можуть працювати лише з термопапером, що обмежує вибір матеріалів для друку, і потребують підтримання стабільної температури навколишнього середовища, щоб уникнути коливань у якості друку.

Лазерні та світлодіодні плотери

Технологія друку в таких плотерах (рис. 1.6; 1.7) виявляється дуже схожою на метод, що використовується в лазерних і світлодіодних принтерах. За допомогою лазерного променя або світлодіодів формується невидиме зображення на фоточутливій поверхні барабана. Лазер або світлодіоди заряджають певні ділянки барабана, створюючи електростатичне зображення.

Потім тонер, що є зарядженим, пристає до навантажених частинок барабана і переноситься на папір. Після нанесення тонера на аркуш, відбувається процес запікання, при якому папір проходить через нагрівальні елементи (печі), де тонер плавиться і запікається в папір. Це забезпечує стійкість та довговічність

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зображення на поверхні паперу. Цей метод друку вирізняється ефективністю та високою точністю відтворення зображень, роблячи його популярним в сучасних принтерах і копірах.



Рисунок 1.6 - Лазерний плотер

Світлодіодні та лазерні пристрої вражають високою роздільною здатністю та якістю відтворення зображень. При цьому вони відрізняються надзвичайною швидкістю друку та високою продуктивністю. Однак, не зважаючи на їхню ефективність, ці технології мають суттєвий недолік – високу вартість. Витрати на придбання та експлуатацію таких пристроїв можуть бути значною перешкодою для користувачів, хоча вони надають вражаючу якість та швидкість в області друкування.



Рисунок 1.7 - Світлодіодний плотер

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Ріжучі плотери

Такі плотери представляють собою високотехнологічне обладнання, яке може виконувати не тільки функції друку, але й різання різноманітних матеріалів:

- Папір. Використовується для виготовлення різноманітних друкованих матеріалів, таких як наклейки, етикетки та рекламні листівки.
- Картон. Підходить для створення упаковок, макетів, шаблонів та інших виробів, які потребують міцного матеріалу.
- Термоплівка. Застосовується для виготовлення термотрансферних наклейок, які можна переносити на текстильні вироби за допомогою термопресу.
- Вініл. Використовується для створення зовнішньої реклами, вивісок, банерів, наклейок на транспорт і вітрини.
- Фотопапір. Підходить для друку та різання високоякісних зображень та фотографій.

Ріжучі плотери здобули велику популярність завдяки своїй багатофункціональності та можливості обробляти широкий спектр матеріалів. Це обладнання дозволяє ефективно поєднувати функції друку та різання в одному пристрої, що значно знижує витрати часу та збільшує продуктивність. Такі плотери забезпечують високу точність та якість роботи, що робить їх незамінними в умовах сучасного виробництва та дизайну. Ріжучий плотер зображений на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 - Ріжучий плотер для розкрою настилу iECHO GLSC

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Висновки до першого розділу

У першому розділі бакалаврської роботи було розглянуто декілька типів плотерів, включаючи пір'яні, струменеві, електростатичні, термоплотери, лазерні та ріжучі плотери, кожен з яких має свої специфічні переваги та недоліки. Завдяки впровадженню робототехнічних систем, сучасні плотери значно покращили свою продуктивність і можуть виконувати більш складні завдання з високою ефективністю, що відкриває нові можливості для їх застосування в різних галузях, таких як промисловий дизайн, архітектура та графічний дизайн.

Узагальнюючи висновки цього розділу, можна зазначити, що робота має поглиблене теоретичне обґрунтування та контекст, необхідний для подальшого розгляду конструкції та функціоналу розроблюваного робота.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						21
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПЛОТЕРА З РОБОТОТЕХНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ

У розділі розглядається процес розробки конструкції та деталей плотера, а також вибір його основних компонентів. Основна увага приділяється розробці конструкції та підбору таких елементів, як кроковий двигун, сервопривод, драйвери крокових двигунів, мікроконтролер Arduino UNO та інші конструктивні, електричні та електронні компоненти, що забезпечують функціонування плотера.

Процес проектування включає використання сучасних програмних засобів, таких як Solidworks для моделювання механічних частин, Arduino IDE для програмування мікроконтролера, а також Venbox для керування плотером.

Основні елементи конструкції плотера виконані на 3D принтері з пластику ABS, що забезпечує високу міцність, довговічність та стійкість до впливу навколишнього середовища. Використання технології 3D друку дозволяє створювати складні геометричні форми, що забезпечують точність та ефективність роботи плотера, а також можливість легкої заміни чи модифікації деталей у разі необхідності.

2.1 Загальний опис конструкції

Плотер "DrawBot V1.1" призначений для створення графічних зображень на папері. Його конструкція включає міцний каркас, рухомі елементи для точного позиціонування малювальної головки, а також електронні компоненти для керування рухом. Каркас забезпечує жорсткість і стабільність всієї системи, що необхідно для високоточного малювання. Розглянувши функціонал плотера, варто відзначити його простоту використання. Інтуїтивний і легкий інтерфейс управління дозволяє навіть початківцям швидко освоїти пристрій та розпочати створення графічних зображень без зайвих труднощів.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні компоненти конструкції плотера

Каркас і основа:

Каркас плотера виготовлений з поєднання металевих направляючих рейок та пластикових кріплень (рис. 2.1):

- Металеві направляючі рейки: Забезпечують стійкість та точність руху. Служать для підтримки та направлення рухомих частин плотера.
- Пластикові кріплення: Виготовлені з міцного пластику, вони тримають металеві рейки на місці та забезпечують з'єднання різних компонентів.

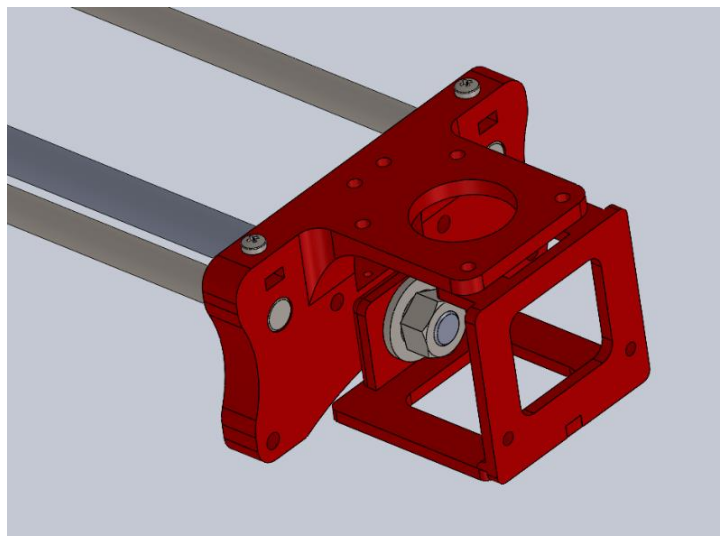


Рисунок 2.1 – Кріплення основи двигуна

Рухомі елементи

Плотер має дві основні осі руху (X та Y), які дозволяють переміщувати малювальну головку (рис. 2.2):

- Ось X: Рух по горизонталі. Направляючі рейки та ремені забезпечують плавний рух малювальної головки.
- Ось Y: Рух по вертикалі. Використовується для переміщення всієї системи, включаючи ось X.
- Ремені та шків: Використовуються для передачі руху від крокових двигунів до осей. Забезпечують точність та плавність руху.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

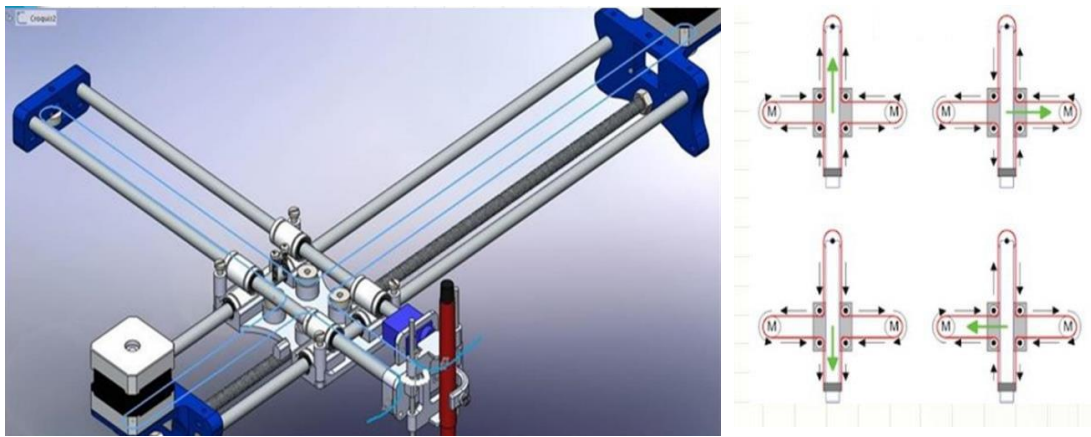


Рисунок 2.2 – Схема руху по осях X та Y

Головка для малювання

Головка для малювання (рис. 2.3) складається з конструкції, яка включає різні деталі, що взаємодіють між собою. Основними компонентами є тримач для малювального інструмента, механізми для регулювання нахилу ручки та позиціонування, а також елементи кріплення, які забезпечують надійну фіксацію та точність роботи.

Система сервоприводу регулює висоту ручки, що дозволяє автоматично змінювати положення інструмента в залежності від завдань малювання.

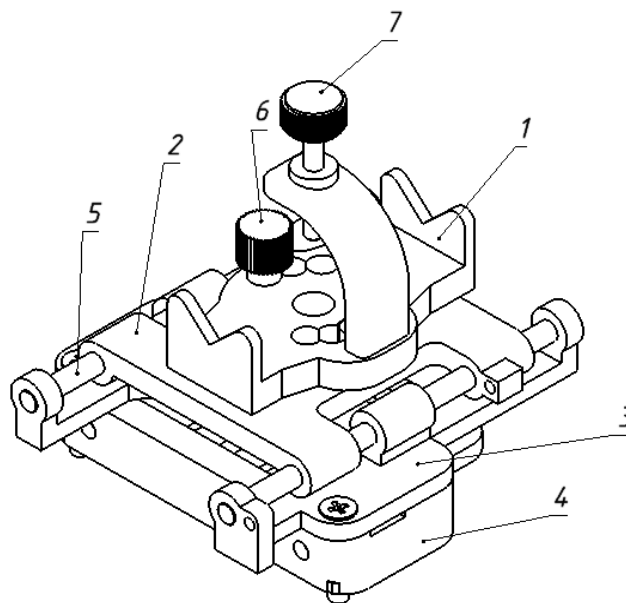


Рисунок 2.3 – Блок кріплення ручки

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Основними деталями розробленого вузла є: 1 - деталь закріплення та повороту ручки; 2 – платформа для опускання та піднімання; 3 – основа для платформи 2; 4 – кріплення під сервопривід; 5 – направляючий штифт; 6 – фіксує гвинт; 7 – гвинт кріплення ручки.

Механізм піднімання та опускання ручки є ключовим елементом конструкції плотера, яка забезпечує точне позиціонування інструменту для виконання завдань з малювання. Ця система відповідає за вертикальні переміщення ручки, що дозволяє контролювати контакт з поверхнею.

Сервопривід виконує обертовий рух важеля 1, що призводить до зворотно-поступального руху повзуна 2 на (рис. 2.4), який ковзаючи переміщує головку для малювання (рис. 2.3). Стопорне кільце 3 забезпечує надійне закріплення повзуна та легку заміну при необхідності.

Цей механізм дозволяє точно контролювати положення малювального інструменту, забезпечуючи високу якість і точність малювання. Сервопривід забезпечує плавність і точність рухів, що особливо важливо для створення складних та детальних зображень.

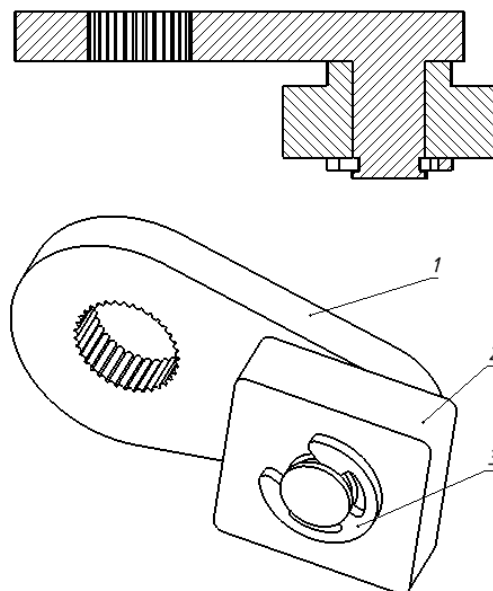


Рисунок 2.4 - Механізм переміщення головки для малювання за допомогою сервоприводу

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Блок управління

Корпус для Arduino забезпечує захист мікроконтролера від механічних пошкоджень. Він також забезпечує надійне кріплення та зручний доступ до всіх необхідних портів та роз'ємів. Корпус має спеціальні отвори для кріплення мікроконтролера, а також для вентиляції, щоб запобігти перегріву. Він забезпечує легкий доступ до всіх портів і роз'ємів Arduino, що спрощує підключення та налаштування компонентів.

Корпус кріпиться до основної рами плотера за допомогою гвинтів, що забезпечує стабільність і запобігає випадковому переміщенню мікроконтролера під час роботи. Корпус для Arduino має спеціальні кришки та заглушки, що захищають від потрапляння пилу та бруду на контакти та роз'єми.

Конструкція корпусу (рис 2.4) забезпечує зручний доступ до кнопок та індикаторів мікроконтролера, що полегшує його обслуговування та налаштування. Корпус передбачає можливість кріплення додаткових модулів та плат розширення, що дозволяє легко модернізувати та розширювати функціональні можливості системи.

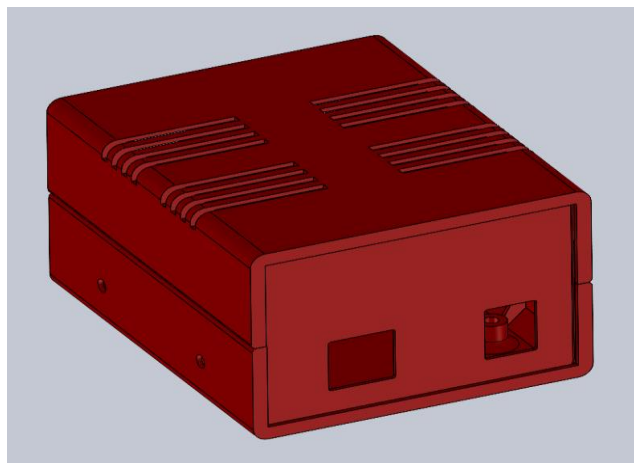


Рисунок 2.4 – Корпус для Arduino

Каретаж

Каретаж - це рухомий механізм, який відповідає за точне переміщення інструменту (наприклад, ручки або маркера) по робочій поверхні. Каретаж

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

переміщується за допомогою крокових двигунів, які обертають шків, тягнучи ремені. Ремені, в свою чергу, рухають корпус каретажа вздовж направляючих рейок. Кріплення для інструменту забезпечує надійну фіксацію інструменту, дозволяючи йому точно переміщатися та виконувати малювання.

Каретаж оснащений втулками та роликами, які забезпечують гладке та точне переміщення по направляючих осях. Втулки виготовлені з бронзи, що зменшує тертя, і ковзають уздовж металевих направляючих. Ролики, оснащені підшипниками 623ZZ, також встановлюються на каретажі, забезпечуючи легке переміщення по направляючих рейках. Вони допомагають зменшити тертя та забезпечити плавний і рівномірний рух.

Ролики кріпляться до каретажа за допомогою спеціальних гвинтів, що дозволяє легко їх замінювати у разі зносу або пошкодження.

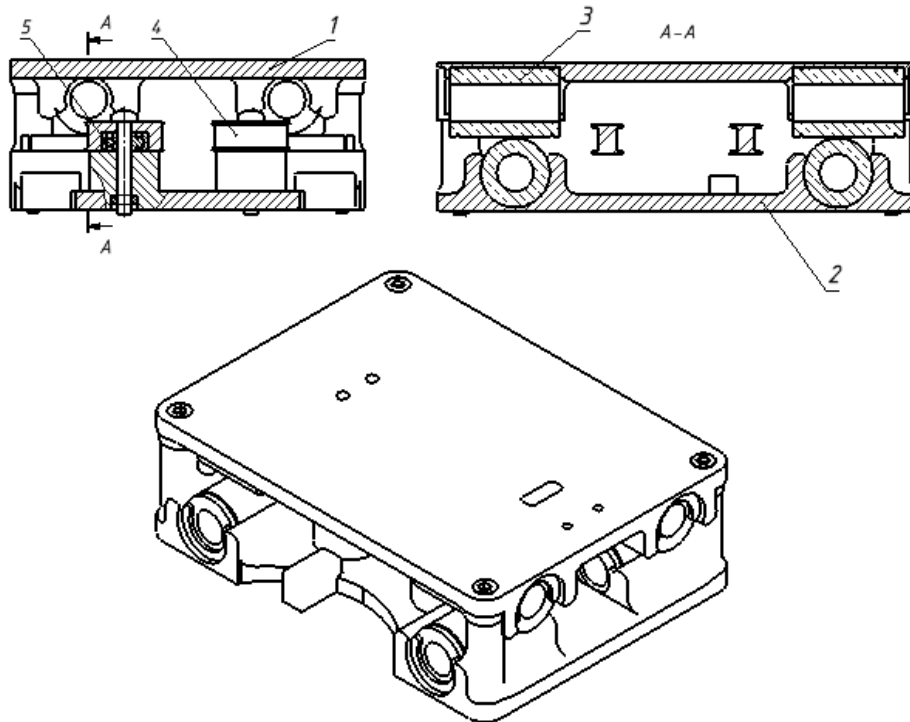


Рисунок 2.5 - Каретаж

Основними деталями каретажа є: 1 – верхня кришка; 2 – нижня кришка; 3 – бронзова втулка; 4 – ролик; 5 – підшипник.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Фіксація напрямних

Фіксація напрямних рейок (рис. 2.6) здійснюється за допомогою гвинта 3 та гайки 4. Напрямна розміщується в отворі кріплення двигуна. Спочатку напрямну рейку 2 вставляють в отвір кріплення двигуна 1. Потім гвинт 3 проходить через отвір у кріпленні двигуна, забезпечуючи їх фіксацію. В кріпленні двигуна виготовлений спеціальний паз для розміщення гайки 4, яка затягується для надійного кріплення. Це з'єднання забезпечує жорстку фіксацію напрямної рейки та її стабільність при роботі плотера.

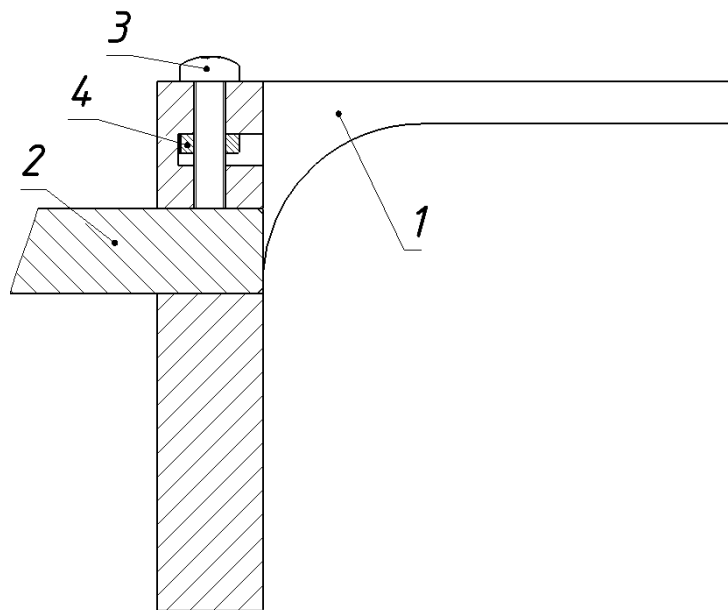


Рисунок 2.6 – Ілюстративна схема фіксації напрямних рейок

Ця конструкція дозволяє легко регулювати і фіксувати напрямні рейки в потрібному положенні, що є критично важливим для точної роботи плотера. Надійне з'єднання допомагає уникнути люфтів і вібрацій, які можуть негативно вплинути на якість малювання.

Монтаж конструктивних елементів

Процес складається з монтажу каркасу, встановлення направляючих рейок, монтажу крокових двигунів, встановлення ременів, кріплення малювальної головки та монтажу електронних компонентів.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Монтаж крокових двигунів здійснюється шляхом кріплення двигунів на протилежних кінцях направляючих рейок з використанням вище згаданих кріплень. Це дозволяє досягти точного і стабільного руху по осях.

Далі відбувається встановлення ременів. Ремені монтуються на шків, прикріплені до крокових двигунів, і передають рух від двигунів на ролики каретажа який в свою чергу передає рух до малювальної головки. Фіксація ременів здійснюється за допомогою спеціального пазу, розташованого на блоці кріплення ручки. Натяг ременів має бути правильним для забезпечення плавного і точного руху головки.

Кріплення малювальної головки здійснюється шляхом її монтажу до рухомого механізму за допомогою гвинтів з гайками, що переміщується по направляючих рейках.

Монтаж електронних компонентів передбачає встановлення корпусу для Arduino, який кріпиться до основної рами плотера. Корпус забезпечує захист мікроконтролера від механічних пошкоджень і має отвори для вентиляції. Кабелі повинні бути правильно зібрані та закріплені, щоб уникнути їх пошкодження та забезпечити стабільну роботу плотера.

Загальний вигляд зібраної конструкції продемонстровано на рисунку 2.7.

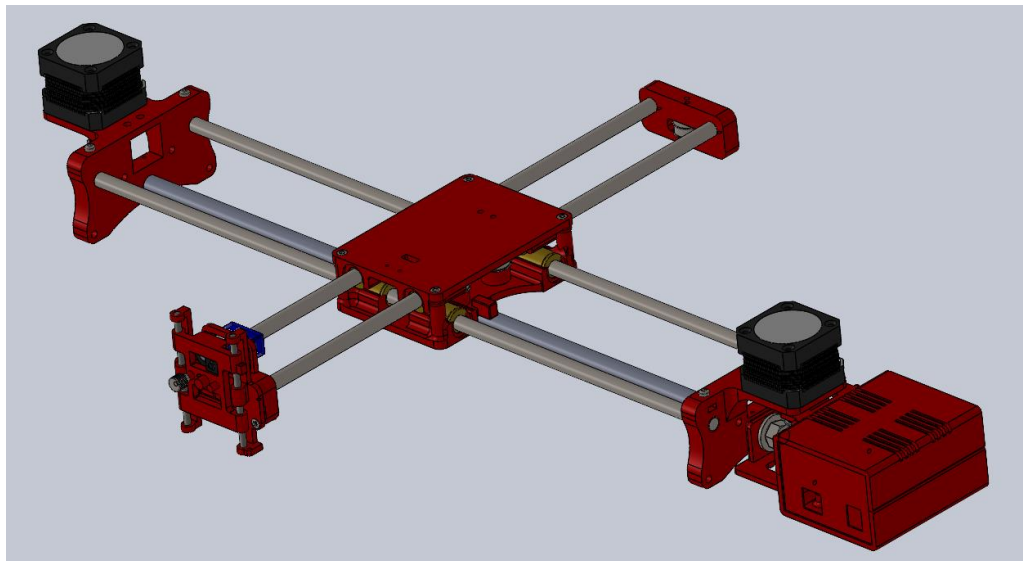


Рисунок 2.7 - Загальний вигляд конструкції плотера

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

2.2 Апаратні засоби

Arduino UNO R3

Arduino Uno є відмінним вибором для розробки програм і створення інтерфейсних схем, спрямованих на зчитування перемикачів, датчиків, управління двигунами та освітленням з мінімальними зусиллями. Операційна платформа Arduino Uno, заснована на мікроконтролері ATmega328, вражає своєю ефективністю.

Плата обладнана 14 цифровими входами/виходами, включаючи 6 ШІМ-виходів, а також 6 аналогових входів. Унікальні характеристики включають кварцовий генератор на частоті 16 МГц, USB-з'єднання, гнізда ICSP та кнопки скидання. Arduino Uno відзначається своєю високою універсальністю та зручністю в застосуванні в світі мікроконтролерів. Приклад Arduino Uno можна побачити на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Arduino Uno

Завдяки вбудованій підтримці мікроконтролера, Arduino легко підключається до комп'ютера через USB-кабель або ж живиться від адаптера змінного струму або акумулятора для початку роботи. Відмінність від попередніх моделей полягає у тому, що вона не використовує мікросхему драйвера FTDI USB-to-serial. Це робить його особливо зручним та універсальним інструментом

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

для широкого спектру застосувань у світі мікроконтролерів. Arduino є надійним партнером для розробників, що шукають простий і ефективний спосіб працювати з мікроконтролерами.

Назва "Уно", що перекладається італійською як "Один", була обрана на честь майбутнього випуску Arduino 1.0. Arduino Uno та його версія 1.0 встановили високі стандарти для еталонних моделей Arduino, які стрімко розвиваються. Uno є заключним етапом у серії USB-плат Arduino і відрізняється передовими можливостями та розширеною функціональністю цієї лінійки продуктів.

Arduino складається з багатьох компонентів, які разом дозволяють йому працювати. Ось основні компоненти, які допомагають у функціонуванні :

- Мікроконтролер: Являє собою головне ядро плати розвитку, функціонує як міні-комп'ютер, здатне отримувати та відсилати інформацію або команди до підключених периферійних пристроїв. Характеристики мікроконтролера можуть варіюватися залежно від конкретної моделі плати; крім того, він має свої власні технічні параметри, що додають до його функціональності та можливостей;

- Зовнішнє джерело живлення: Це джерело живлення використовується для живлення Arduino стабілізованою напругою в діапазоні від 9 до 12 вольт;

- USB-роз'єм: Цей роз'єм є вкрай значущим компонентом на платі, використовується для завантаження програми (прошивки) на мікроконтролер через USB-кабель. Крім того, він забезпечує стабілізоване живлення на рівні 5 В, що також використовується для живлення самої плати Arduino у випадках, коли відсутнє зовнішнє джерело електроживлення;

- Внутрішній програматор: Розроблений програмний код можна завантажити на мікроконтролер через USB-порт без використання зовнішнього програматора;

- Кнопка скидання (Reset button): Ця кнопка є на платі і призначена для скидання мікроконтролера Arduino;

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Аналогові піни (Analog Pins): Також присутні різноманітні аналогові вхідні піни, позначені від A0 до A7 (зазвичай).

Ці піни використовуються для обробки аналогового введення та виведення. Кількість доступних аналогових пінів також може варіюватися в залежності від конкретної моделі або типу плати;

- Цифрові піни введення/виведення (Digital I/O Pins): В даному контексті також присутні різноманітні цифрові вхідні/вихідні піни, їх кількість зазвичай коливається від 2 до 16. Ці піни призначені для реалізації цифрового введення та виведення. Важливо відзначити, що конкретна кількість цифрових пінів може варіюватися залежно від конкретної моделі або типу пристрою;

- Піни живлення (Power and GND Pins): На платі розвитку є піни, які забезпечують напругу 3.3 та 5 вольт, а також заземлення через них.

Кроковий мотор NEMA17

Кроковий мотор представляє собою безщітковий синхронний електродвигун, який перетворює цифрові імпульси в механічний оберт валу, виконуючи рівномірну кількість кроків. Вплив на позицію мотора можна контролювати для переміщення та утримання на одному з цих кроків, не використовуючи зворотний зв'язок (за допомогою контролера з відкритим циклом).

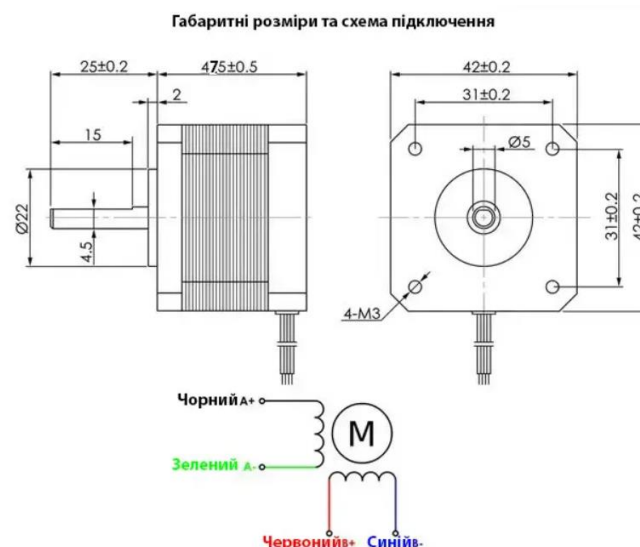


Рисунок 2.9 – Кроковий двигун Nema 17

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Кроковий мотор NEMA 17 має розмір 2.3 x 2.3 дюйма і використовується для приведення в рух вісей. Цей кроковий мотор NEMA 17 (рис. 2.9) має кут кроку 1.8 градуса при 2.5 А. Швидкість обертання залежить від частоти імпульсів. Це робить його ідеальним для використання саме в моєму плотері, де потрібна висока точність позиціонування.

Сервопривід

Сервопривід відповідає за управління вертикальним рухом малювального пензля вздовж вісі Z. Процес керування ним реалізується за допомогою електричного імпульсу змінної ширини або модуляції ширини імпульсу (PWM). Це досягається за допомогою мікроконтролера, як показано на рисунку 2.10.

Сервопривід визначає положення свого вала за допомогою потенціометра, що представляє вісь Z. Цей механізм дозволяє точно контролювати вертикальний рух ручки, забезпечуючи високу точність і плавність в роботі для досягнення оптимальних результатів малювання.

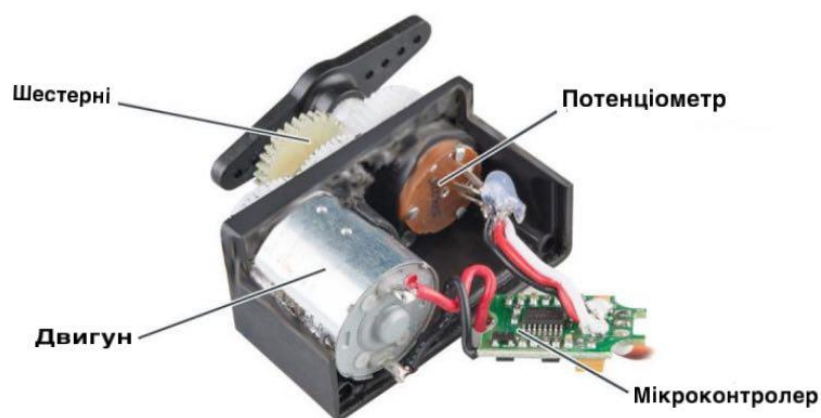


Рисунок 2.10 - Сервопривід

У даному плотері використовується сервопривід Servo SG90 для точного керування вертикальним рухом ручки. Цей сервопривід є ідеальним вибором для цієї задачі через його оптимальну потужність та ефективність роботи. Servo SG90 має досить компактні розміри та низьку вагу, що дозволяє забезпечити потрібну

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

точність і плавність руху пензля без зайвого навантаження на механізм плотера. Його висока надійність та стабільність забезпечують стабільну роботу пристрою протягом тривалого часу без необхідності в частій заміні чи обслуговуванні.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики Servo SG90

Тип двигуна	DC серводвигун
Крутний момент	до 1,8 кг·см при 4,8 В
Кут повороту	0-180 градусів
Робоча напруга	4,8-6 В
Швидкість	0,1 с/60 градусів при 4,8 В
Вага	9 г

SG90 працює за принципом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), де ширина імпульсу визначає кут повороту вихідного валу. Контролер, який управляє SG90, посилає ШІМ-сигнали, що змінюються в межах від 1 до 2 мс, відповідно до якого серводвигун виставляє необхідний кут повороту.

Драйвер крокового двигуна

Драйвери для крокових двигунів призначені спеціально для управління такими двигунами, які можуть здійснювати безперервні оберти з точним керуванням положення, навіть без використання системи зворотного зв'язку.

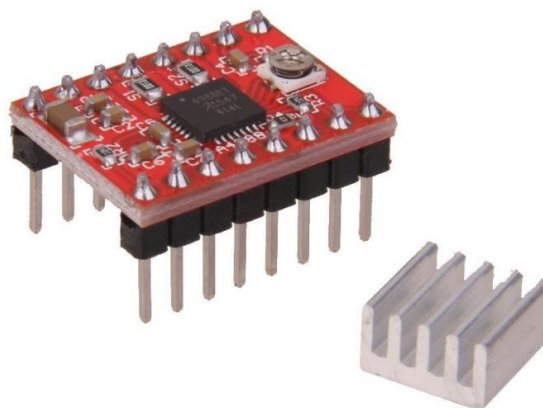


Рисунок 2.11 - Драйвер крокового двигуна

Вони пропонують регульований контроль струму, кілька роздільностей для кроків, і мають вбудовані транслятори, що дозволяють керувати кроковим двигуном. Драйвер крокового двигуна розміщується на схемі CNC-щита, де є спеціальні входи в щит. На рисунку 2.11 показано форму драйвера крокового двигуна.

На драйвер крокового двигуна встановлюється алюмінієва пластина для ефективного відведення тепла, оскільки температура контролера значно підвищується під час роботи з кроковими двигунами. Ця пластина виконує функцію радіатора, забезпечуючи ефективне розсіювання тепла, яке генерується в процесі функціонування двигуна. Для оптимізації теплопередачі використовується термопаста, яка мінімізує тепловий опір між контролером і радіатором. Таке рішення спрямоване на підтримання оптимального температурного режиму контролера та забезпечення стабільної й ефективної роботи всього пристрою при високих експлуатаційних навантаженнях.

CNC щит

CNC щит V 3.0 використовується в даному плотері для малювання як розширювальна плата для приводу крокових двигунів. У ньому є чотири слоти для модулів керування кроковими двигунами, що дозволяє приводити в рух до чотирьох крокових двигунів одночасно. У даному плотері використовуються лише два крокових двигуна. Кожен кроковий двигун потребує всього двох портів введення/виведення (ІО port), тому шість портів введення/виведення достатньо для ефективного керування трьома кроковими двигунами. Принцип роботи показаний на рисунку 2.12.

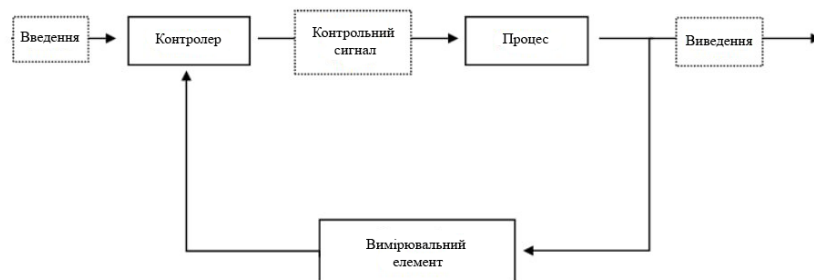


Рисунок 2.12 – Принцип роботи CNC щита

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Використання CNC щита V 3.0 разом із мікроконтролером Arduino є дуже зручним, оскільки щит розташовується безпосередньо над Arduino, забезпечуючи компактність і легкість у підключенні (рис. 2.13). Щит дозволяє зупиняти та підключати крокові драйвери швидко і без проблем.

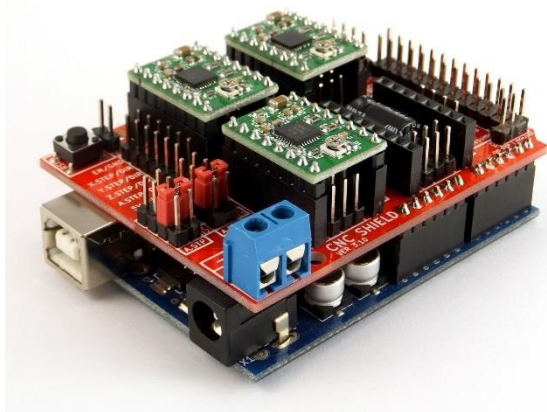


Рисунок 2.13 - Встановлений CNC-щит на Arduino з драйверами крокових двигунів.

Цей щит сумісний із програмним забезпеченням інтерпретатора G-Code під назвою GRBL, що дозволяє легко програмувати та керувати рухами плотера. CNC щит V 3.0 може працювати при максимальній напрузі до 36 вольт, що робить його придатним для різноманітних завдань. Установка режиму мікрокрокування здійснюється легко за допомогою цього щита, що дозволяє досягти високої точності і плавності руху. Завдяки цьому CNC щит V 3.0 є незамінною частиною конструкції плотера, забезпечуючи надійну і ефективну роботу пристрою.

Розробка структурної схеми

Представлена нижче схема (рис. 2.14) ілюструє апаратні засоби, використовувані в цій розробці. Ця схема допомагає візуалізувати взаємозв'язок між різними компонентами та їх роль в функціонуванні плотера. Детальний аналіз апаратних елементів дозволяє краще зрозуміти їх функціональні можливості та внести необхідні вдосконалення для поліпшення ефективності цієї системи. Завдяки цій схемі і ретельному розгляду апаратних компонентів, ми

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можемо оптимізувати роботу плотера, забезпечуючи його безперервне та надійне функціонування у відповідності з вимогами даної розробки.



Рисунок 2.14 – Структурна блок схема пристрою

2.3 Програмні засоби

Arduino IDE

Програмний код для Arduino, який називається скетч, розробляється у спеціалізованому інтегрованому середовищі розробки Arduino IDE. Це середовище включає такі компоненти:

- Текстовий редактор: місце для написання простого коду на мові програмування C++.

- Область повідомлень: показує помилки і забезпечує зворотній зв'язок збереження та експорту коду.

- Панель інструментів консолі: містить різні кнопки, такі як Verify, Upload, New, Open, Save та Serial Monitor. У нижньому правому куті вікна відображається інформація про плату розробки та серійний порт, який використовується.

- Консоль: відображає текстовий вивід, включаючи повідомлення про помилки.

G-Код

G-код - це мова програмування, яка використовується для управління верстатами з числовим програмованим управлінням (CNC). І, навіть при складних операціях обробки на верстатах CNC, G-код пишеться простим, логічним способом.

У командному коді "G" слідує число, яке вказує на зміну геометрії. Наприклад, команда "G00" призначена для швидкого переміщення. Вона рухає інструмент до геометрії деталі з максимальною швидкістю і, як правило, використовується для переміщення інструмента та деталі від ближчого до далекого або навпаки.

Існують три основних типи G-кодів: підготовчі коди, різні функціональні коди та коди швидкості подачі:

- G00: Швидкий рух до конкретної координатної позиції;
- G01: Лінійна подача руху;
- G02/G03: Рух за годинниковою стрілкою/проти годинникової стрілки.

Такі коди як G00, слідують за геометричним розташуванням. Геометрія передається за допомогою координат на вісях, а саме "X" та "Y" координат на площині.

Intel hex

Файл з повною назвою у шістнадцятковому форматі (Intel hex) - це ASCII-текстовий файл, що складається з рядків тексту, що відповідають формату файлу у шістнадцятковому форматі Intel. У "файлі Intel hex" кожен рядок містить один шістнадцятковий запис. Ці записи складаються з шістнадцятково закодованих чисел, що відповідають машинним кодам та постійним даним. Файли Intel hex зазвичай використовуються для передачі програм і даних для зберігання в ПЗП або ЕПЗП. Більшість програматорів або емуляторів ПЗП використовують файли Intel hex.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Формат запису об'єктного файлу Intel 32-бітного шістнадцяткового формату має префікс з 9 символів і 4 поля, що визначають початок запису, кількість байтів, адресу завантаження та тип запису. Формат запису також має суфікс з 2 символів, що містить контрольну суму. Існують шість типів записів для файлу об'єктного шістнадцяткового формату Intel 32 біти: 00 - Запис даних, 01 - Запис кінця, 02 - Розширений адресний запис сегмента, 03 - Запис початкової адреси сегмента, 04 - Розширений адресний запис лінійного сегмента та 05 - Запис початкової лінійної адреси.

Запис даних (Data Record): Запис даних, який має тип 00, є записом, що містить усі дані файлу. Цей запис починається з двокрапки ":" і слідом йдуть лічильник байтів, перший байт адреси і тип запису "00". Після типу запису даних "00" слідують байти даних. Контрольна сума йде після байтів даних і є двійковим доповненням до попередніх байтів у записі, за винятком стартового символу. Ось кілька прикладів записів даних:

:10000000FFFEFDFCFBFAF9F8F7F6F5F4F3F2F1F0FF;

:05 0010 00 0102030405 AA.

1) Кінцевий запис (End Record): Мета запису кінця типу "01" полягає в позначенні завершення даних у файлі. Кінцевий запис розпочинається з двокрапки ":" і слідом за цим йдуть лічильник байтів "00", адреса "000", тип запису "01" і контрольна сума "FF".

Приклад: :00 0000 01 0102030405 FF.

2) Запис розширеної адреси сегмента (Extended Segment Address Record): Запис розширеної адреси сегмента "02" визначає біти з 4 по 19 базової адреси сегмента. Цей тип запису може з'явитися у будь-якому місці об'єктного файлу та впливати на абсолютну адресу пам'яті всіх наступних записів даних у файлі. Запис розширеної адреси сегмента починається з двокрапки ":" і за ним йдуть лічильник байтів "02", 4-символьне ASCII-представлення шістнадцяткового числа, що визначається бітами з 4 по 19 базової адреси сегмента, та 2-символьна контрольна сума.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приклад: : 02 0000 02 1000 55.

Запис адреси лінійного початку (Start Linear Address Record): Запис адреси початку сегмента "03" ідентифікує біти з 4 по 19 базової адреси початку виконання для об'єктного файлу. На даний момент цей тип запису ігнорується.

Програмне забезпечення Venbox

З метою завантаження конкретного зображення або тексту через комп'ютер, потрібен програмний посередник для конвертації зображень в координатні дані, їх завантаження та керування моторами у точних напрямках. Існує багато програм, які можна використовувати для цієї мети, такі як LibreCAD, F-Engrave та Venbox.

У цій роботі я використовував додаток Venbox, який є повністю безкоштовним та легким у використанні. Venbox забезпечує зручний інтерфейс та базові інструменти для редагування зображень. Цей додаток підтримує різні формати зображень і дозволяє легко конвертувати їх у G-код для керування плотером. На рисунку 2.15 представлений інтерфейс програми.

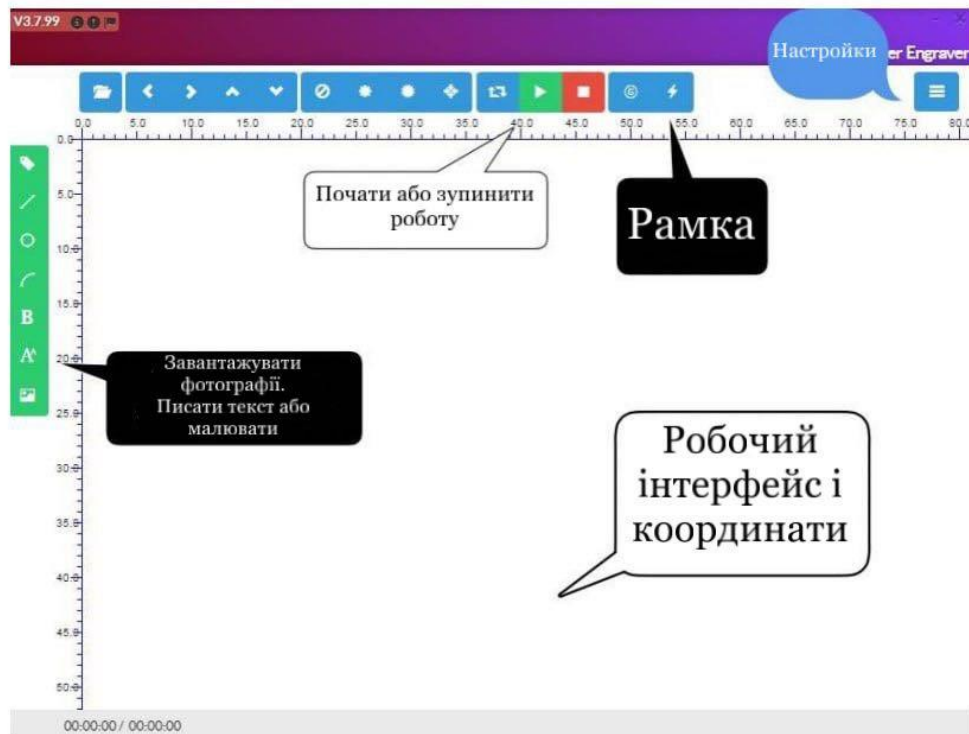


Рисунок 2.15 – Інтерфейс програми Venbox

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Для правильного використання програми необхідно виконати три важливі кроки. Крок перший, встановити драйвер програми для ідентифікації апаратних компонентів, підключених до комп'ютера, та відображення їх у програмному забезпеченні (рис. 2.16).

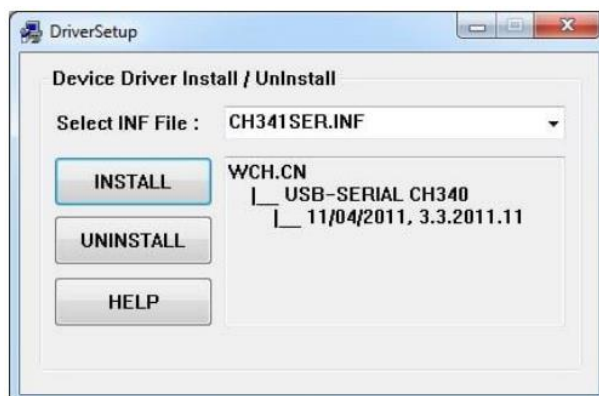


Рисунок 2.16 - Екран установки драйвера

Крок другий, встановити Arduino IDE, а в кінці встановити останні версії драйверів Arduino з метою ідентифікації COM-портів Arduino та відокремлення їх від інших портів, щоб вони відображалися на інтерфейсі програмного забезпечення.

Налаштування програмного забезпечення Venbox

Для початку використання програмного забезпечення Venbox потрібно вибрати послідовний порт arduino. Потім встановити значення «перо вгору» та «перо вниз». Ці значення визначатимуть кут серводвигуна. За замовчуванням сервоприводу призначено значення «перо вгору». Коли плотер починає щось малювати, значення «перо вниз» призначається сервоприводу. У результаті сервопривід створить кут, під яким перо буде опущене, щоб щось намалювати.

Після виконання попередніх дій потрібно налаштувати «швидкість» і «час» відповідно до вимог. Вибрати значення «кроку» відповідно до розміру листа. Це значення визначатиме кроки двигуна. Збільшуючи або зменшуючи значення «кроку», ви можете збільшити або зменшити розмір зображення.

									Арк.
									41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА 24.00.00.000 ПЗ				

Вибрати режим кривої як «контур». Потім виберіть «серво». Після цього потрібно визначити розташування контактів для крокового двигуна по осі X і Y і серводвигуна в програмному забезпеченні Venbox. Подальшими кроками є:

- Визначити контакт кроку осі x «2» і осі y «3».
- Визначити напрямний контакт осі x «5» та осі y «6».
- Вибрати сервопривід «11» і «0».

Тепер можна вибрати зображення зі свого комп'ютера та завантажити його в програмне забезпечення Venbox. Потім натиснути кнопку запуску. Плотер почне малювати те саме зображення, яке завантажено в Venbox.

Висновок до другого розділу

У розділі розглядається процес розробки конструкції та деталей плотера, а також вибір його основних компонентів. Основна увага приділяється розробці конструкції та підбору таких елементів, як кроковий двигун, сервопривід, драйвери крокових двигунів, мікроконтролер Arduino UNO та інші конструктивні, електричні та електронні компоненти, що забезпечують функціонування плотера.

Процес проектування включає використання сучасних програмних засобів, таких як SolidWorks для моделювання механічних частин, Arduino IDE для програмування мікроконтролера, а також Venbox для керування плотером. Основні елементи конструкції плотера виконані на 3D принтері з пластику ABS, що забезпечує високу міцність, довговічність та стійкість до впливу навколишнього середовища. Використання технології 3D друку дозволяє створювати складні геометричні форми, що забезпечують точність та ефективність роботи плотера, а також можливість легкої заміни чи модифікації деталей у разі необхідності.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРАХУНКИ ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПЛОТЕРА

3.1 Аналіз міцності кріпильних елементів плотера з використанням програмного забезпечення SolidWorks

Аналіз виконується з використанням програмного забезпечення SolidWorks Simulation і спрямований на статичний нелінійний аналіз. Статика досліджує методи еквівалентного перетворення систем сил і умови рівноваги матеріальних тіл. Метою статичного аналізу є визначення механічних властивостей об'єктів під дією постійного навантаження.

Процес статичного аналізу включає кілька ключових етапів для забезпечення точності та надійності результатів. Ці етапи охоплюють створення моделі, вибір матеріалу та визначення його властивостей, застосування зовнішніх сил і обмежень, запуск розрахунків і подальший аналіз отриманих результатів.

Основним матеріалом кріпильних елементів у даній роботі є пластик ABS, який характеризується відсутністю чітко вираженого параметра границі текучості. Тому для розрахунку на міцність у програмному забезпеченні SolidWorks Simulation застосовується статичне нелінійне дослідження. Для визначення параметра запасу міцності, в такому випадку, використовується критерій максимального нормального напруження.

Критерій максимального нормального напруження:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{Limit}} < 1; \quad (3.1)$$

де σ_1 – прикладене навантаження;

σ_{Limit} – максимальне допустиме навантаження.

Процес статичного нелінійного аналізу виконується згідно з наступними етапами:

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дослідження №1

1. Здійснюється статичне дослідження. Для цього у вкладці "Simulation" обирається опція "Create New Simulation Study". У відкритому вікні обирається "Nonlinear", що вказує на використання нелінійної методики розрахунку. Далі обирається "Static", що означає використання статичної методики нелінійного розрахунку.

2. Встановлюється матеріал для кріплення. Для цього правою кнопкою миші треба натиснути на іконку "Apply material" у верхній панелі керування на вкладці "Simulation" та вибрати матеріал – пластик ABS. Після цього натискається "Apply".

3. Встановлюються обмеження для кріплення основи двигуна. Для цього треба натиснути на іконку "Fixtures" у дереві дослідження симуляції (розташованої праворуч або зверху на панелі керування), після чого вибирається "Fixed Geometry > Advanced > Use Reference Geometry".

4. Встановлюються зовнішні навантаження на кріплення. Для цього треба натиснути на іконку "External Loads" у дереві дослідження симуляції (розташованої праворуч або зверху на панелі керування), після чого вибирається "Force > Selected Direction". За допомогою допоміжного ескізу встановлюється сила в необхідному місці деталі, як показано на рисунку 3.1. Сила $F = 50 \text{ Н}$.

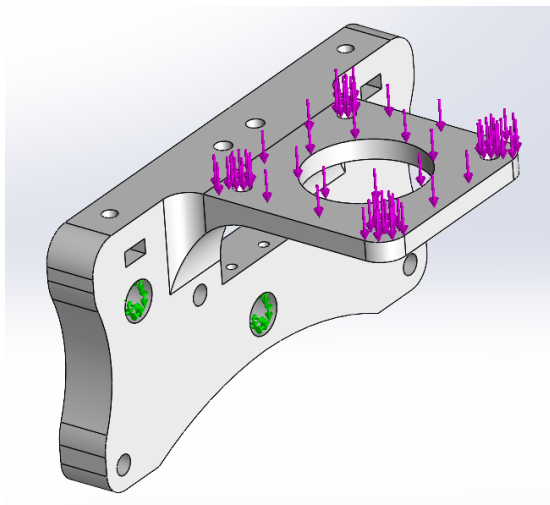


Рисунок 3.1 – Місце прикладання сили на деталь

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

5. Формується сітка для розрахунку. Для цього треба натиснути на іконку "Mesh" у дереві дослідження симуляції (розташованому праворуч або зверху на панелі керування) і вибирається опція "Create mesh". Далі, за допомогою повзунка налаштовується щільність сітки. Після завершення формування сітки на верхній панелі вибирається "Run This Study". Після проведення розрахунків моделі отримані результати будуть представлені на наступних сторінках.

Досліджуваний елемент, а саме кріплення для крокового двигуна, представлений на рисунку 3.2.

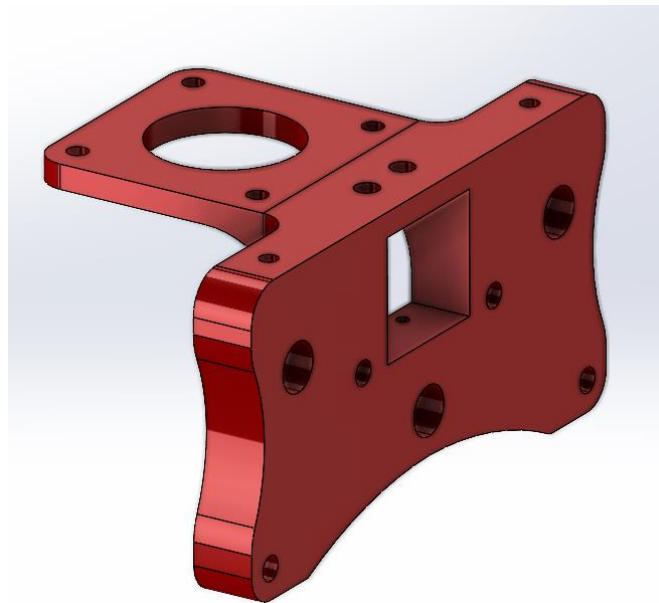


Рисунок 3.2 - кріплення для крокового двигуна

Об'ємні властивості моделі:

- маса: 0,0428242 kg;
- об'єм: 4,19845e-05 m³;
- щільність: 1 020 kg/m³;
- вага : 0,419677 Н.

Дослідження було зосереджене на чотирьох основних характеристиках: границі текучості, переміщенні, деформації та коефіцієнті запасу міцності.

Результати досліджень:

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1) Границя текучості (рис. 3.3):

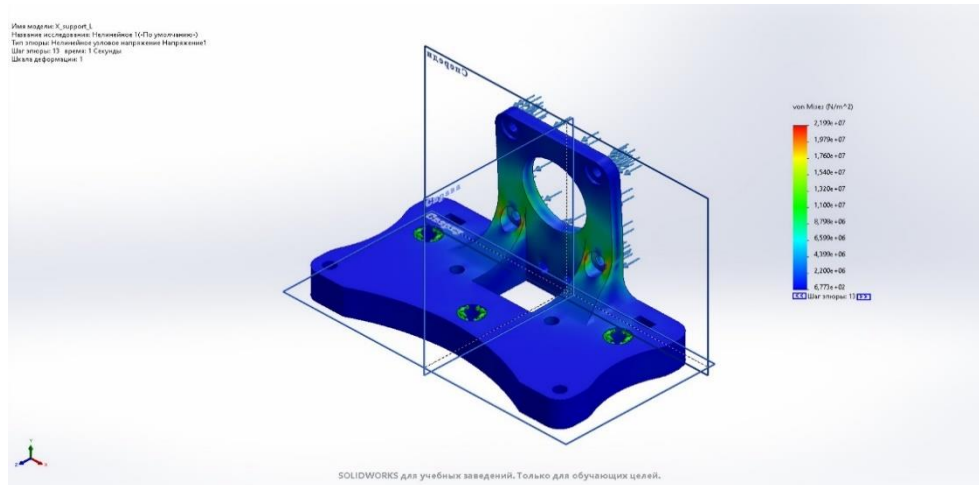


Рисунок 3.3 – Дослідження границі текучості

Таблица 3.1 – Границя текучості

Мін.	Макс.
6,773e+02N/m ²	2,199e+07N/m ²
Вузол: 1078	Вузол: 23037

2) Переміщення (рис. 3.4):

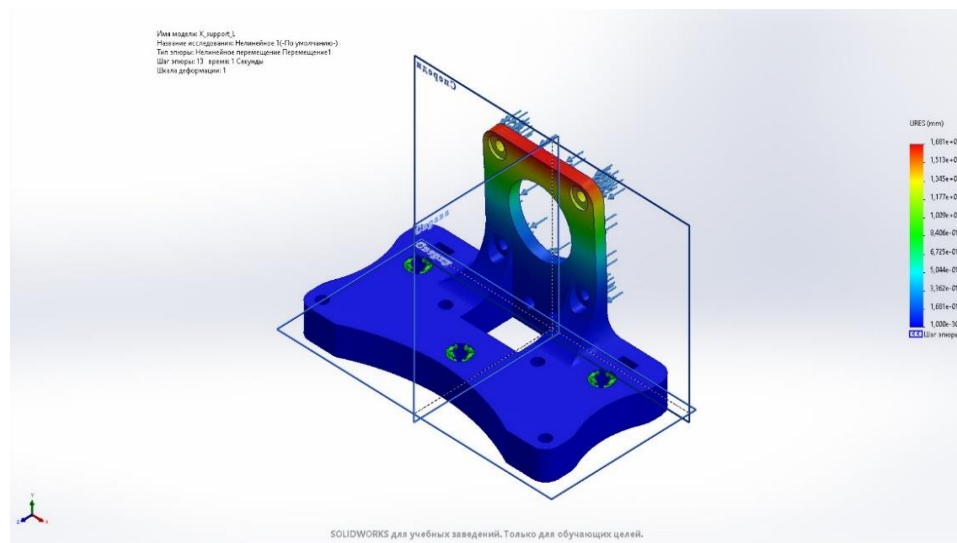


Рисунок 3.4 – Дослідження переміщення

Таблиця 3.2 – Переміщення

Мін.	Макс.
0,000e+00mm	1,681e+00mm
Вузол: 1	Вузол: 10635

3) Деформація (рис. 3.5):

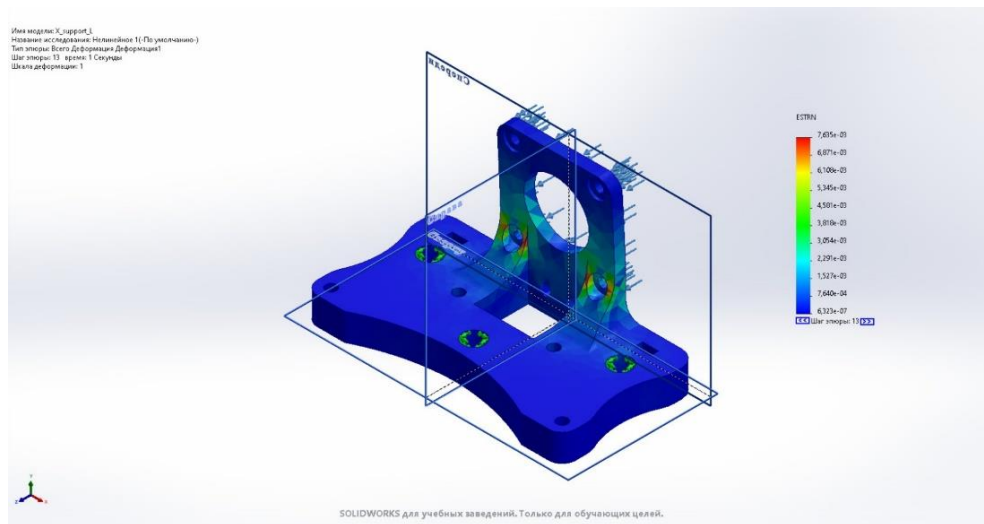


Рисунок 3.5 – Дослідження деформації

Таблиця 3.3 – Деформація

Мін.	Макс.
6,323e-07	7,635e-03
Елемент: 5860	Елемент: 8719

4) Границя міцності (рис. 3.6):

Таблиця 3.4 – Границя міцності

Мін.	Макс.
6,323e-07	7,635e-03
Елемент: 5860	Елемент: 8719

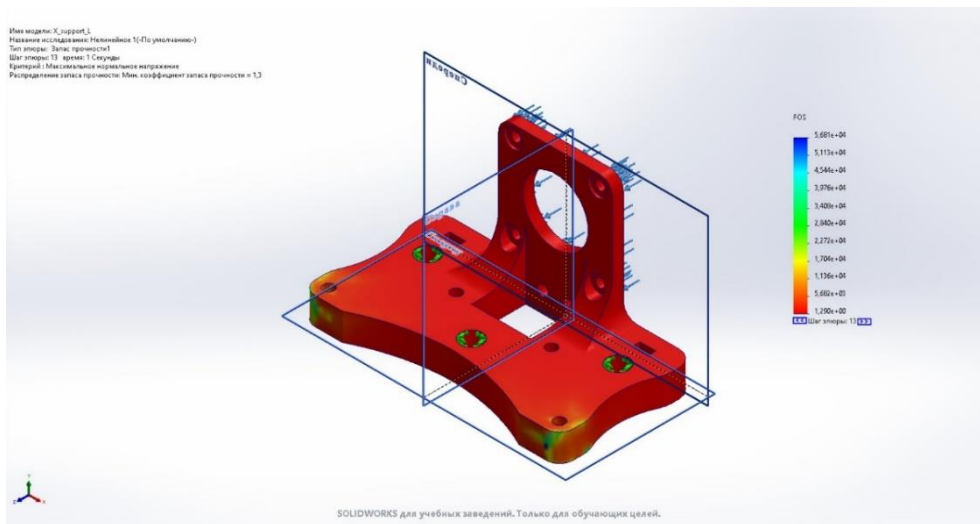


Рисунок 3.6 – Дослідження границі міцності

Дослідження №2

В дослідженні проводиться розрахунок на міцність важеля, що представлений на рисунку 3.7. Даний важіль є ключовим компонентом механізму підйому та опускання ручки, він підлягає різноманітним навантаженням у процесі експлуатації.

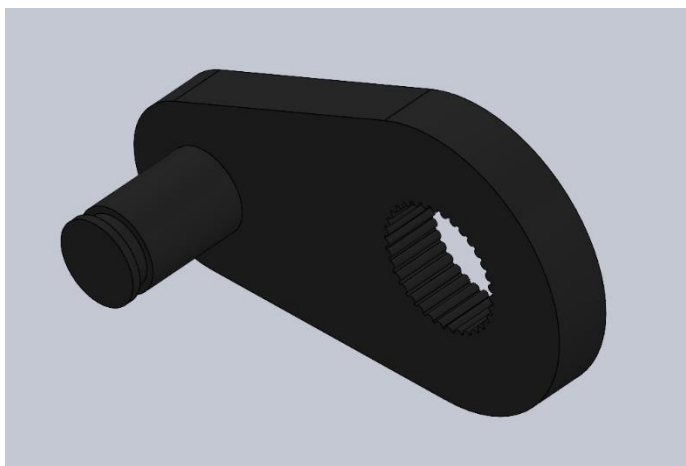


Рисунок 3.7 – Важіль сервоприводу

Результати досліджень

1) Границя текучості (рис. 3.8):

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Таблиця 3.6 – Переміщення

Мін.	Макс.
0,000e+00mm	1,356e-01mm
Вузол: 9	Вузол: 58073

3) Деформація (рис. 3.10):

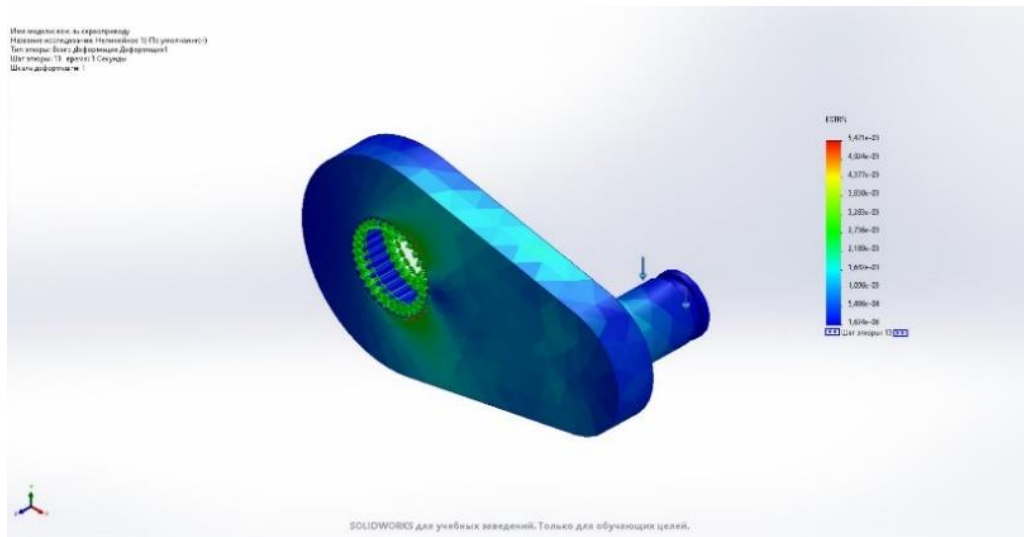


Рисунок 3.10 – Дослідження деформації

Таблиця 3.7 – Деформація

Мін.	Макс.
1,624e-06	5,471e-03
Элемент: 21925	Элемент: 6340

4) Границя міцності (рис. 3.11):

Таблиця 3.8 – Границя міцності

Мін.	Макс.
1,691e+00	1,570e+04
Вузол: 50428	Вузол: 58695

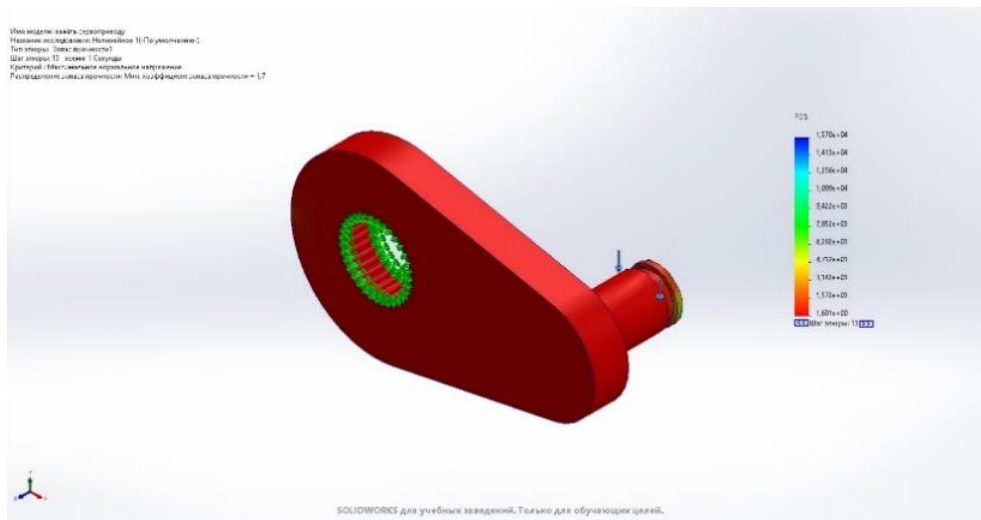


Рисунок 3.11 – Дослідження границі міцності

Дослідження показало, що кріплення під кроковий двигун та важіль серводвигуна, які виготовлені з пластику ABS, демонструють адекватні механічні властивості для використання в умовах постійного навантаження. За умови навантаження в 50 Н та 10 Н відповідно, що значно перевищує реальні експлуатаційні навантаження, встановлено, що кріплення та важіль витримують задані навантаження та можуть витримати щонайменше на 30% та 70% відповідно більшу силу.

Високий коефіцієнт запасу міцності свідчить про надійність конструкції та її здатність витримувати значні навантаження без ризику руйнування.

3.2 Розрахунок основних характеристик плотера

Основною характеристикою приводу плотера є швидкість та точність руху. У даній роботі використовується кроковий двигун Nema 17, який забезпечує необхідні параметри для ефективної роботи пристрою.

Визначення максимальної швидкості кроку плотера

Максимальна швидкість кроку визначається відношенням максимального переміщення за один крок до тривалості одного кроку:

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$V_{max} = \frac{S_{max}}{T_{\text{крок}}}. \quad (3.2)$$

де

V_{max} - максимальна швидкість кроку мотора;

S_{max} - максимальне переміщення за один крок;

$T_{\text{крок}}$ - тривалість одного кроку.

Для крокового двигуна Nema 17:

S_{max} - 2.15 мм;

$T_{\text{крок}}$ - 10 мс.

Тоді максимальна швидкість кроку:

$$V_{max} = \frac{S_{max}}{T_{\text{крок}}} = \frac{2.15}{10} = 0.215 \text{ мм/мс.}$$

Визначення максимального переміщення за один крок

Максимальне переміщення за один крок визначається як відношення довжини осі до кількості кроків:

$$S_{max} = \frac{l}{N_{\text{крок}}}. \quad (3.3)$$

де

l - довжина осі, $l = 430$;

$N_{\text{крок}}$ - кількість кроків.

Кількість кроків можна знайти за формулою:

$$N_{\text{крок}} = \frac{360}{T}. \quad (3.4)$$

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де

T - крок двигуна в градусах, $T = 1.8^\circ$.

Тоді

$$N_{\text{крок}} = \frac{360}{1.8^\circ} = 200 \text{ кроків.}$$

Максимальне переміщення за один крок:

$$S_{\text{max}} = \frac{430}{200} = 2.15 \text{ мм.}$$

Визначення тривалості одного кроку

Тривалість одного кроку визначається як відношення 60 секунд до добутку швидкості обертання двигуна та крокового кута:

$$T_{\text{крок}} = \frac{60}{n \cdot \beta}. \quad (3.5)$$

де

n - швидкість обертання двигуна, $n = 3000 \text{ об/хв}$;

β - кроковий кут, $\beta = 1.8^\circ$.

Тривалість одного кроку:

$$T_{\text{крок}} = \frac{60}{n \cdot \beta} = \frac{60}{3000 \cdot 1.8^\circ} = 0.0111 \text{ с} = 11.1 \text{ мс.}$$

Визначення кількості кроків на одиницю вимірювання (1 мм)

Кількість кроків на одиницю вимірювання визначається як обернена величина роздільної здатності плотера:

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$x = \frac{1}{R}. \quad (3.6)$$

де

R - роздільна здатність плотера, $R = 350$.

Кількість кроків на одиницю вимірювання:

$$x = \frac{1}{R} = \frac{1}{350} = 0.00286 \text{ крока.}$$

Визначення швидкості руху плотера

Швидкість руху плотера визначається добутком максимальної швидкості кроку та роздільної здатності:

$$V_{\text{плотера}} = V_{\text{max}} \cdot R; \quad (3.7)$$

$$V_{\text{плотера}} = 0.21 \cdot 350 = 73.5 \text{ мм} \cdot \text{мс.}$$

Таким чином, плотер рухається із швидкістю 75.25 мм/с для досягнення необхідної роздільної здатності при використанні заданих параметрів друку та оптимальних умов експлуатації.

3.3 Розрахунок ефективності плотера

Час роботи плотера визначається відношенням довжини ліній на аркуші до швидкості руху плотера:

$$t = \frac{S}{V_{\text{плотера}}}. \quad (3.8)$$

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

де

S - довжина ліній на аркуші;

$V_{\text{плотера}}$ - швидкість руху плотера.

Довжина ліній на аркуші:

$$S = 2 \cdot (W + L). \quad (3.9)$$

де

W - ширина листа, $W = 420$ мм;

L - довжина листа, $L = 297$ мм.

Тоді

$$S = 2 \cdot (420 + 297) = 1434.$$

Час роботи плотера буде:

$$t = \frac{S}{V_{\text{плотера}}} = \frac{1520}{73.5} = 20.6 \text{ с.}$$

Визначення потужності плотера

Потужність плотера визначається як добуток напруги та сили струму, що забезпечує роботу його електричних компонентів:

$$P_{\text{мотор}} = U \cdot I. \quad (3.10)$$

де

U - напруга, $U = 3.6$;

I - сила струму, $I = 2$ А.

Потужність одного мотора:

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{мотор}} = U \cdot I = 3.6 \cdot 2 = 7.2W.$$

Оскільки у нас два мотори, загальна потужність:

$$P_{\text{заг}} = 7.2 \cdot 2 = 14.4. \quad (3.11)$$

Розрахунок витрат енергії для одного листа паперу

Витрати енергії визначаються як добуток потужності плотера та часу використання:

$$E = P_{\text{заг}} \cdot t; \quad (3.12)$$

де

t - час використання, t = 20.6.

$$E = 14.4 \cdot 20.2 = 290.88/\text{Вт} \cdot \text{с} = 0.081 \text{ кВт/год.}$$

Обчислення ефективності роботи плотера

Ефективність роботи плотера визначається як відношення довжини ліній на аркуші до витрат енергії:

$$\eta = \frac{S}{E}; \quad (3.13)$$

$$\eta = \frac{S}{E} = \frac{1434}{290.88} = 4.93 \text{ мм/Вт} \cdot \text{с.}$$

Ефективність роботи плотера, що становить 4.93 мм/Вт·с, свідчить про високий рівень оптимізації та точності функціонування. Цей результат вказує на ефективне використання ресурсів та вдосконалення алгоритмів управління.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок до третього розділу

У розділі виконано комплексний аналіз та розрахунок ключових параметрів плотера з метою оцінки його механічної стійкості і ефективності в реалізації рухових операцій. Початковий етап аналізу включав статичний нелінійний міцнісний аналіз кріпильних елементів, виготовлених з пластику ABS, здійснений з використанням програмного забезпечення SolidWorks Simulation. Цей аналіз дозволив встановити, що механічні властивості використаних кріплень і важелів серводвигуна забезпечують потрібний рівень міцності та довговічності при постійних навантаженнях.

Далі були проведені детальні розрахунки основних характеристик плотера, зокрема максимальної швидкості кроку, тривалості одного кроку, кількості кроків на одиницю вимірювання, а також швидкості руху та загального часу роботи пристрою. Розрахунки потужності та витрати енергії плотера були також проведені для оцінки ефективності його функціонування в реальних умовах експлуатації.

Отримані результати підтвердили, що розроблений плотер відповідає високим вимогам щодо точності, швидкості та міцності. Високий коефіцієнт запасу міцності підкреслює надійність конструкції, а ефективне використання енергетичних ресурсів свідчить про його оптимальність управління.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання цієї роботи було здійснено розробку конструкції плотера з робототехнічною системою, що забезпечує автоматизоване створення малюнків та текстів. Було розглянуто різні типи сучасних плотерів, принципи їх роботи, переваги та недоліки. Проведений комплексний аналіз, розрахунки підтвердили відповідність плотера високим вимогам щодо точності, швидкості та міцності. Використання програмного забезпечення SolidWorks Simulation дозволило провести статичний нелінійний міцнісний аналіз, який показав, що кріпильні елементи з пластику ABS забезпечують необхідний рівень міцності та довговічності.

Детальні розрахунки основних характеристик плотера, таких як максимальна швидкість кроку, тривалість одного кроку, кількість кроків на одиницю вимірювання, швидкість руху та загальний час роботи пристрою, підтвердили його ефективність в реальних умовах експлуатації.

Отримані результати демонструють, що розроблений плотер відповідає сучасним вимогам та може ефективно використовуватись для автоматизації процесів створення графічних зображень, забезпечуючи високу точність та надійність роботи.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ЩО ТАКЕ ПЛОТЕР, ЗАГАЛЬНЕ УЯВЛЕННЯ ПРО ГРАФОБУДІВНИКА? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://uzinform.com.ua/news/2016/05/19/132940.html>

2. Повний посібник з плотерів: що таке плотер і для чого він потрібен [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.hwlibre.com/uk/plotter/>

3. КЛАСИФІКАЦІЯ ПЛОТЕРІВ [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://stud.com.ua/94033/informatika/klasifikatsiya_ploteriv

4. Що друкує і ріжучий плотер, відмінності лазерних, струменевих, пір'яних, планшетних та інших графопобудівників [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://vseznaiko.com.ua/shho-take-drukuie-i-rizhuchij-plotter-vidmi.html>

5. Плотери [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/7130769/page:19/>

6. NEMA 17 MOTOR [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://joy-it.net/en/products/NEMA17-04>

7. Серводвигун SG90 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod416-servoprivod-sg90-2kg>

8. Arduino Uno R3 ATmega328 програмований контролер [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://schema.com.ua/ua/p621632355-arduino-uno-atmega328.html>

9. Сучасні електромехатронні комплекси і системи / Т. П. Павленко, В. М. Шавкун, О. С. Козлова, Н. П. Лукашова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 116 с.

10. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні. [Л.Є.Пелевін, К. І. Почка, О. М. Гаркавенко та ін.]. – К.: Інтерсервіс, 2016. – 258 с.

11. ЩО ТАКЕ ПЛОТТЕР, ЗАГАЛЬНЕ УЯВЛЕННЯ ПРО ГРАФОБУДІВНИКА? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://uzinform.com.ua/news/2016/05/19/132940.html>

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

12. Системи інженерного аналізу : методичні рекомендації до виконання індивідуальних завдань здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / В. О. Харжевський. Хмельницький : ХНУ, 2024. 70 с.

13. Інтелектуальні та робототехнічні системи- О. О. Петренко, Д. М. Сидоренко, А. І. Іванов [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://web.kpi.kharkov.ua/cmpps/uk/abituriyentam/komp-yuterni-nauki/skmps2/>

14. Study and Design of Arduino Based CNC Laser Cutting Machine [Електронний ресурс]. Режим доступу:<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1224/1/012008/pdf>

15. Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/urjhn>

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Додаток А

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		