

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
РАДІОТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

До захисту допущено:

В.о. зав. кафедри

_____ Михайло СТЕПАНОВ

«___» _____ 2022 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньою-професійною програмою «Радіозв'язок і оброблення
сигналів»
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
на тему: «Фрезерний верстат з ЧПУ»

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи РА-81

Гончарук Костянтин Григорійович

Прізвище, ім'я та по батькові



підпис

Керівник:

проф., д.т.н. Нелін Євгеній Андрійович

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



підпис

Рецензент:

доц., к.т.н. Піддубний Володимир Олексійович

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



підпис

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент



Київ – 2022

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Радіотехнічний факультет

Кафедра прикладної радіоелектроніки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітньо-професійна програма «Радіозв'язок і оброблення сигналів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Михайло СТЕПАНОВ

«___» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Гончарук Костянтину Григорійовичу

1. Тема проєкту «Фрезерний верстат з ЧПУ», керівник проєкту Нелін Євгеній Андрійович проф., д.т.н., затверджені наказом по університету від «___» _____ 2022 р. № _____

2. Термін подання студентом проєкту 12 червня 2022 року

3. Вихідні дані до проєкту:

Розміри робочої області: 130x130x10 мм. Розробка конструкції фрезерного верстата без різального інструмента, передбачити місце для встановлення шпинделя.

4. Зміст пояснювальної записки:


ВСТУП. 1 ФРЕЗЕРНІ ВЕРСТАТИ З ЧПУ. 1.1 Аналітичний огляд верстатів з ЧПУ. 1.2 Вихідні положення та параметри розробки. 1.3 Розробка та аналіз ТЗ. 2 КОНСТРУКТОРСЬКА РОЗРОБКА ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА. 2.1 Розроблення загальної конструкції верстата. 2.2 Обґрунтування вибору електронних модулів. 2.3 Обґрунтування вибору вбудованого та стороннього програмного забезпечення. 2.4 Проєктування конструкції верстата. Розроблення конструкторської документації. 3 ПРОТОТИП ФРЕЗЕРНОГО

ВЕРСТАТА. 3.1 Розроблення прототипу верстата. 3.2 Налагодження прототипу. 3.3 Тестування роботи прототипу. ВИСНОВКИ.

5. Перелік графічного матеріалу: Структурна схема (А3), Деталювання(А3)

6. Дата видачі завдання 01 травня 2022 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
	Аналітичний огляд фрезерних верстатів	02.05.22 – 7.05.22	Виконано
	Вихідні положення та параметри розробки. Розроблення та аналіз ТЗ	08.05.22 – 12.05.22	Виконано
	Розроблення загальної конструкції верстата	13.05.22 – 19.05.22	Виконано
	Вибір електронних модулів, вибір програмного забезпечення	20.05.22 – 25.05.22	Виконано
	Проектування конструкції верстата. Розроблення конструкторської документації	26.05.22 – 31.06.22	Виконано
	Розроблення прототипу верстата. Налагодження прототипу верстата	01.06.22 – 09.06.22	Виконано
	Тестування роботи прототипу	10.06.22 – 12.06.22	Виконано 

Студент



Гончарук Костянтин Григорійович

Керівник



Нелін Євгеній Андрійович

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА


до дипломного проекту

на тему: Фрезерний верстат з ЧПУ

Київ — 2022

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	2
Вступ.....	3
1 Фрезерні верстати з ЧПУ	Error! Bookmark not defined.
1.1 Аналітичний огляд верстатів з ЧПУ	4
1.2 Вихідні положення та параметри розробки	29
1.3 Розробка та аналіз ТЗ.....	30
2 Конструкторська розробка фрезерного верстата.....	31
2.1 Розроблення загальної конструкції верстата	31
2.2 Обґрунтування вибору електронних модулів.....	37
2.3 Обґрунтування вибору вбудованого та стороннього програмного забезпечення	47
2.4 Проектування конструкторської документації.....	47
3 Прототип фрезерного верстата.....	50
3.1 Розроблення прототипу верстата	50
3.2 Налагодження прототипу	54
3.3 Тестування роботи прототипу	55
Висновки	63
Перелік джерел посилань	65
Додаток А. Технічне завдання	68
Додаток Б. Специфікації	72

					РА81.845931.001 ПЗ			
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Фрезерний верстат	Літ.	Лист	Листів
		Гончарук П.І.Б.				1		
Н. Контр.	П.І.Б.				з ЧПУ	РА-81 РТФ		
	Нелін							

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ПЗ — програмне забезпечення

САПР — система автоматизованого проектування

ЧПУ — числове програмне управління

CAM – computer aided manufacturing

					<i>РА81.845931.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		2

ВСТУП

Обробка матеріалів за допомогою верстатів завжди була і залишається критичною в багатьох сферах виробництва. Цей процес є дороговартісним, а тому не завжди доступний представникам невеликих підприємств та інституцій. З появою технології ЧПУ, вартість на обробку зменшилась. На даний момент на світовому ринку верстатів з ЧПУ, окрім інших, спостерігається тенденція зниження ціни на верстати, за рахунок зменшення їх розмірів. Це необхідно аби задовольнити попит на обробку невеликих деталей, для малого виробництва. Попит на дешевші верстати малих розмірів зростає, оскільки верстати середніх і великих розмірів не оптимізовані для обробки малогабаритних деталей, а дороговартісні верстати для високоточної обробки малих деталей не задовольняють цінову політику пересічних користувачів. Саме тому цей дипломний проєкт зосереджений на створення фрезерного верстату з ЧПУ, який задовольнить попит на обробку малогабаритних деталей, які не потребують точної обробки, при цьому буде дешевшим рішенням в порівнянні з аналогічними верстатами, доступними на світовому ринку.

Розроблюваний верстат буде проєктуватися невеликим за габаритними розмірами, при цьому з максимально можливою робочою областю. Це зумовить невелику потужність, необхідну для обробки, що дозволить зменшити ціну виробництва, а також універсальність у використанні за рахунок низької маси пристрою.

Планується, що фрезерний верстат з ЧПУ, що буде розроблюватись в дипломному проєкті буде використовуватись в галузях, де не потрібна висока точність обробки. Наприклад, в галузі освіти та науки, персональному використанні та малому бізнесі з відповідними масштабами виробництва.

					<i>РА81.845931.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		3

1 ФРЕЗЕРНІ ВЕРСТАТИ З ЧПУ

Фрезерний верстат — верстат з інструментом (фрезою) для фрезерування. На металорізальних фрезерних верстатах обробляють плоскі або фасонні поверхні, різьби, зубці зубчастих коліс, на деревообробних — площини, профільні і фасонні поверхні тощо [1].

Числове програмне управління – це автоматичне управління шляхом передачі інформації у формі чисел від програмоносія до виконавчого органа, яке визначає його рух або виконання ним інших функцій [2].

Настільний фрезерний верстат з ЧПУ зазвичай являє собою 2 направляючі рейки, які переміщують третю рейку, яка в свою чергу переміщує шпиндель. Шпиндель може містити патрон для встановлення різних насадок: фрезу, лазер тощо. Між двома направляючими рейками розташовується поверхня, на якій розміщується власне оброблюваний матеріал: метал, пластик, дерево тощо. Розмір і конструкція фрезерних верстатів різняться і залежить від розмірів матеріалу для оброблення яких він призначений.

1.1 Аналітичний огляд фрезерних верстатів з ЧПУ

У загальному верстат з ЧПУ поділяють на два типи: 3-осьові та 5-осьові. Вони залежать від виду обробки, який застосовується верстатом.

У свою чергу 3-осьові поділяються на 2 типи: фрезерні та токарні верстат з ЧПУ. Ці два методи дозволяють інструменту переміщатися по трьох лінійних осях відносно нерухомої заготовки. Фрезерування з ЧПУ та токарні роботи з ЧПУ видаляють матеріал зі фіксованого робочого місця за допомогою різних методів різання.

3-осьове фрезерування з ЧПУ — це процес субтрактивної обробки, який використовує ріжучий інструмент, що обертається з високою швидкістю, для видалення матеріалу з нерухомої заготовки. Інструмент прикріплений до шпинделя і може рухатися вздовж трьох лінійних осей.

					РА81.845931.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		4

Фрезерування з ЧПУ є найбільш широко використовуваним процесом ЧПУ, оскільки більшість простих геометрій можна отримати з високою точністю за допомогою цього методу. Крім відносної простоти налаштування та експлуатації, початкові витрати на обробку є низькими. Однак 3-осьове фрезерування з ЧПУ має обмеження, коли геометрія стає більш складною. Оскільки є лише три осі для роботи, можуть бути ділянки, до яких ріжучі інструменти не зможуть дістатися. Тому існують деякі конструктивні обмеження для 3-осьового фрезерування з ЧПУ.

Токарна обробка з ЧПУ — це процес субтрактивної обробки, при якому заготовка утримується в патроні й обертається, а інструмент подається в заготовку для видалення матеріалу. Інструмент запрограмований на трасування зовнішньої та внутрішньої форм деталі для створення потрібної геометрії. Інструмент не обертається, а переміщується навколо заготовки радіально і вздовж.

Токарні роботи з ЧПУ можуть виготовляти деталі з набагато більшою швидкістю, а отже, витрати на виробництво нижчі в порівнянні з фрезеруванням з ЧПУ. Збільшена швидкість обробки також робить можливим більший обсяг виробництва. Однак головне обмеження токарної обробки з ЧПУ полягає в тому, що вона підходить лише для геометрій із симетрією обертання. Щоб подолати це обмеження дизайну, фрезерування з ЧПУ часто використовується як додатковий етап обробки для створення додаткових функцій. Ці два процеси можна об'єднати в один за допомогою 5-осьової машини.

5-осьова обробка з ЧПУ або багатоосьова обробка — це неймовірно універсальний процес обробки, який додає два ступені свободи фрезерному чи токарному верстату з ЧПУ. Додаткові два ступені свободи забезпечуються можливістю обертання заготовки, головки інструменту або обох на додаток до трьох лінійних осей переміщення. Це вводить осі, які обертаються навколо горизонтальних та вертикальної осей.[3]

Додаткові ступені свободи забезпечують більший доступ до інструменту, що дозволяє обробляти більш складні геометрії. Існує також

					РА81.845931.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		5

додаткова перевага: обробка відбувається за одну установку, що підвищує ефективність за рахунок скорочення часу обробки.

Існує три основних типи багатоосьових верстатів з ЧПУ: 5-осьове індексне фрезерування з ЧПУ, 5-осьове безперервне фрезерування з ЧПУ та 5-осьові фрезерно-токарні обробні центри. На рисунку 1.1 зображені з умовними позначеннями до яких надалі будуть посилання в тексті.

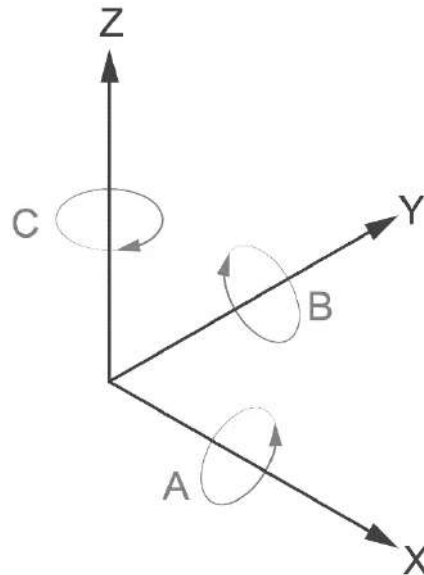


Рисунок 1.1 – Осі переміщення та обертання [3]

5-осьове індексне фрезерування, або обробка 3 + 2, працює шляхом обертання заготовки навколо осі B і C до потрібного положення. Потім заготовка залишається нерухомою, поки інструмент робить потрібні різь, рухаючись навколо трьох своїх лінійних осей. При зміні місця різання вісь B і C переорієнтує заготовку, а потім знову залишиться нерухомою для цього місця різання. Цей метод обробки також відомий як фрезерування з ЧПУ 3+2, оскільки додаткові два ступені свободи не працюють одночасно з трьома лінійними осями інструменту.

Основна перевага цього методу полягає в тому, що він усуває необхідність вручну переставляти заготовку. Це скоротило час виготовлення та підвищує точність деталей зі складною геометрією порівняно з використанням 3-осьового фрезерування.

5-осьові фрезерні верстати безперервної дії з ЧПУ подібні до 5-осьових індексованих фрезерних верстатів з ЧПУ, однак заготовка може безперервно обертатися навколо осей В і С під час операцій обробки.

Між ними заготовка і ріжучий інструмент можуть одночасно переміщатися вздовж п'яти різних осей, що дозволяє обробляти складні елементи. Гладкі контурні поверхні, як на лопаті турбіни, можуть бути виготовлені з дуже високою точністю, що робить цей метод популярним в аерокосмічній промисловості. Поєднання дорогої техніки та потреби в техніках високого рівня значно збільшує вартість цього методу.

Фрезерно-токарні центри, відомі як фрезерно-токарні верстати, як випливає з назви, є комбінацією фрезерних і токарних верстатів з ЧПУ. Заготовку можна обертати з високою швидкістю на осі обертання для токарних операцій з ЧПУ, а потім повертати й утримувати під точним кутом для фрезерування з ЧПУ.

Токарно-фрезерні верстати надають виробникам поєднання підвищеної продуктивності токарної обробки з ЧПУ з гнучкістю проектування фрезерування з ЧПУ. Ці багатофункціональні верстати з ЧПУ ідеально підходять для деталей, які потребують кількох операцій механічної обробки. Обробка за один повний цикл призводить до швидшого виробництва деталей і підвищення точності, оскільки немає необхідності в додаткових налаштуваннях. Завдяки підвищеній ефективності токарної обробки з ЧПУ, деталі можна виготовляти за набагато нижчою ціною, ніж інші 5-осьові верстати.

Обробка з ЧПУ

Процес являє собою цифрову технологію виробництва, яка виробляє деталі безпосередньо з файлу САПР. Цей високий рівень автоматизації робить обробку з ЧПУ придатною як для виробу одноразової деталі так і для повномасштабного виробництва. З ЧПУ можна обробляти широкий спектр матеріалів, включаючи метали, пластмаси, дерево, скло, піну та композити.

					РА81.845931.001 ПЗ	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

Обробка з ЧПУ є складнішою, ніж механічна обробка. При обробці з ЧПУ необхідно враховувати процес обробки деталей, розташування заготовки та методи затиску, також потрібно вибрати інструмент, побудувати технологічні маршрути, методи різання та інші параметри, які можна спростити при механічній обробці. Обробка з ЧПУ істотно відрізняється від традиційної технології обробки.

Процес можна спростити на три основні кроки. Спочатку за допомогою програмного забезпечення САПР створюється 3D-модель проекту. Потім файл САПР перетворюється в програму ЧПУ (генерація G-code), верстат налаштовується. Нарешті, машина автономно видаляє матеріал із заготовки, щоб виготовити необхідну деталь.

Алгоритм процесу обробки з ЧПУ має бути дуже структурованим. Через автоматизацію обробки з ЧПУ, здатність до самоадаптації обробки з ЧПУ погана. Оскільки фактори впливу на процес обробки з ЧПУ більш складні, перш ніж впроваджувати обробку з ЧПУ на виробництві, процес обробки з ЧПУ має бути налагоджений в процесі тестувань.

Переваги обробки з ЧПУ

Обробка з ЧПУ – це високоточний і повторюваний процес. Тверді допуски $\pm 0,02$ і $\pm 0,01$ міліметри можуть бути досягнуті для фрезерування з ЧПУ та токарної обробки з ЧПУ відповідно. Оскільки процес обробки автоматизований, деталі можна багаторазово виготовляти точно.

Обробка з ЧПУ - це автоматизований процес, який може працювати без перерви. Це означає, що деталі можна виготовляти з мінімальним людським внеском, підвищуючи продуктивність та ефективність. Зазвичай деталі можуть бути виготовлені за лічені дні, готові до доставки, що робить обробку з ЧПУ ідеальною для виготовлення деталей на вимогу [4].

Обробка з ЧПУ використовує фізичний контакт для видалення матеріалу з твердого блоку матеріалу, а не термічне перетворення (наприклад, лиття під тиском). Це означає, що всі бажані механічні властивості зберігаються.

Єдина вимога до матеріалу полягає в тому, щоб деталь була достатньо міцною для утримання та обробки.

Використання обробки з ЧПУ може бути найбільш економічно вигідним варіантом для виготовлення одноразових конструкцій або прототипів, оскільки не потрібні спеціальні інструменти. Зокрема, при роботі з металами обробка з ЧПУ є найбільш рентабельним процесом для виготовлення індивідуальних конструкцій.

Транзитивність обробки з ЧПУ краща ніж транзитивність традиційної обробки. Обробка з ЧПУ, що відбувається після налагодження та перевірки процесу різання і має хорошу продуктивність у практиці обробки з ЧПУ, можна використовувати як шаблон для подальшої обробки подібних деталей, тому можна заощадити час, не втрачаючи якість.

Недоліки оброблення з ЧПУ

Оскільки оброблення з ЧПУ є процесом субтрактивного використання, який видаляє матеріал із суцільної заготовки, інструменту необхідно отримати доступ до всіх необхідних поверхонь обробки. Такі елементи, як підрізи та внутрішня геометрія, не можна обробляти через обмежений доступ до інструменту. Крім того, обробка з ЧПУ не може зрізати гострі внутрішні кути.

Деталі з геометричною складністю коштують дорожче, оскільки вони часто вимагають використання більш дорогого багатовісного обладнання з ЧПУ або ручного переміщення деталі.

Жорсткіші допуски додають додаткові витрати, оскільки необхідні спеціальні інструменти для вимірювання та менша швидкість обробки. Як правило, чим м'якший матеріал, тим важче обробити певний допуск через згинання матеріалу під час обробки.

Для виконання налаштування деталей, програмування та вибору інструменту потрібен кваліфікований фахівець. Початкові витрати все ще

					РА81.845931.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		9

набагато нижчі, ніж в процесах, які вимагають підготовки спеціального інструменту (лиття під тиском).

Різальні інструменти

Фрезерні верстати з ЧПУ можуть використовувати широкий спектр різальних інструментів від торцевих фрез до різьбових фрез, що робить їх дуже універсальними верстатами. Нижче будуть розглянуті деякі з найбільш часто використовуваних ріжучих інструментів і для чого вони використовуються.

- Плоска кінцева фреза – інструмент використовується для чорнової обробки та різання плоских, таких як гравіювання на деталі.
- Торцева фреза - різець з плоскою основою із заокругленими краями робить цей інструмент придатним для обробки порожнин. Цей інструмент часто використовується для чорнової обробки.
- Фрези з кульковим носом – кулькова фреза має напівсферичний кінець, що робить його ідеальним для обробки високоякісних тривимірних контурних поверхонь.
- Чорнова кінцева фреза – цей тип кінцевої фрези має зубчасті зуби, завдяки чому інструмент може швидко видалити велику кількість матеріалу. Цей інструмент ріже з меншою точністю, ніж звичайна кінцева фреза, і залишає на деталі шорстку обробку
- Торцеві фрези – цей інструмент для кругового фрезерування має плоский кінець з кількома твердосплавними фрезами і часто використовується на початку процесу обробки для створення плоскої грані на заготовці. Кілька різців означають швидке видалення матеріалу, залишаючи при цьому поверхню недоторканою.
- Свердла та розгортки – свердла є найбільш економічно ефективним способом виготовлення круглих отворів у заготовці. Для нестандартних розмірів отворів можна використовувати

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
10

розгортки для збільшення просверленого отвору до певного розміру з допуском.

- Мітчики та різьбові фрези – мітчики є найбільш часто використовуваним інструментом для створення різьблення, однак на верстаті з ЧПУ різьбову фрезу можна використовувати для нарізання внутрішньої або зовнішньої різьби. Різьбові фрези краще підходять для твердих матеріалів, які важко пробити різьбовим інструментом.

Матеріали для обробки

- Метали
 - Алюміній

Алюміній є дуже універсальним матеріалом, який можна сплавити з цілим рядом елементів для створення безлічі цікавих сплавів. Він легко обробляється, має велике співвідношення міцності до ваги, не корозійний, немагнітний і має хорошу тепло/електропровідність. Завдяки своїй універсальності, це найпоширеніший матеріал для виготовлення компонентів з ЧПУ.

- Нержавіюча сталь

Нержавіюча сталь найбільш відома своєю високою міцністю на розрив і завдяки підвищеному вмісту хрому має чудову корозійну стійкість. Її можна полірувати до високоякісної обробки поверхні, що робить його популярним у медичній та харчовій промисловості.

- М'яка сталь

М'яка сталь або низьковуглецева сталь є найпоширенішою у світі формою сталі. Це доступний, універсальний матеріал, який має чудові механічні властивості, оброблюваність і зварюваність. Він також магнітний через велику кількість фериту та заліза. М'яку сталь часто можна зустріти в будівельних каркасах.

- Легована сталь

					РА81.845931.001 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

Цей клас сталі сплавляють з кількома іншими елементами для підвищення різних властивостей матеріалу, таких як міцність, твердість та зносостійкість. Застосування легованої сталі можна зустріти в широкому діапазоні галузей промисловості завдяки багатьом доступним типам легованої сталі.

- Інструментальна сталь

Високовуглецева та високохромиста легована сталь має надзвичайно високу твердість, міцність і стійкість до стирання. Цей матеріал можна загартувати з невеликим викривленням. Як видно з назви, матеріал найчастіше використовується для виготовлення верстатів (штампів, штамів, прес-форм).

- Титан

Титан легкий і має дуже високу міцність навіть при підвищених температурах. Він сріблястого кольору і стійкий до корозії в морській воді. Титан можна сплавляти з іншими елементами для створення міцних, легких деталей. Він також біосумісний, що робить його популярним у медичній промисловості для імплантатів.

- Латунь

Латунь є одним із найстаріших металевих сплавів, що складається з міді та цинку. Він відомий своїми декоративними характеристиками з яскравим золотистим виглядом. Іншими цікавими властивостями є низьке тертя та стійкість до корозії, що робить його популярним для музичних інструментів.

- Мідь

Мідь зазвичай вибирається через її високу електро- та теплопровідність, тому її часто зустрічають в електрообладнанні. Цей матеріал також дуже пластичний, стійкий до корозії та має антибактеріальні властивості, що робить його чудовим для використання в харчовій промисловості.

- Пластмаси

- Акрилонітрил-бутадієн-стирол (ABS)

Акрилонітрил-бутадієн-стирол має високу міцність і відмінну стійкість до фізичних впливів і хімічної корозії. Він має гарне глянцеve покриття і

					<i>РА81.845931.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

використовується в широкому діапазоні галузей промисловості від автомобільних компонентів до цеглинок LEGO.

○ Поліоксиметилен (POM)

Поліоксиметилен доступний у двох варіантах: сополімер (POM-C) і гомополімер (POM-H), POM-C має більшу жорсткість, а POM-H більш пластичний. Обидва вони мають високу міцність, жорсткість, зносостійкість і чудові властивості ковзання. Він також має чудову оброблюваність і стабільність розмірів, що робить його придатним для виготовлення складних рухомих компонентів.

○ Поліефір-ефіркетон (PEEK)

Поліефір-ефіркетон - це безбарвний високоефективний термопласт з чудовою міцністю до ваги, високою стійкістю до термічного руйнування та стійкістю до зносу. У поєднанні з стабільністю розмірів і оброблюваністю він популярний у медичній промисловості. Це один з небагатьох пластмас, які можна використовувати в аерокосмічній промисловості.

○ Поліпропілен (PP)

Поліпропілен є міцним матеріалом, він може зберігати свою форму після деформації. Ще однією ключовою якістю є його висока стійкість до електрики, що робить його корисним для побутових та промислових електронних компонентів.

○ Полікарбонат

Прозорий термопласт з чудовою міцністю, жорсткістю, розмірною та термостабільністю, що робить його одним з найбільш широко використовуваних термопластів. Його можна використовувати як легшу, міцнішу альтернативу стандартному склу.

○ Поліетилен

Поліетилен високої щільності має високу стійкість до низьких температур, відмінну міцність і хімічну стійкість. Його також можна легко переробити, що робить його популярним матеріалом у багатьох галузях промисловості, від кухонного посуду до труб, що використовуються в будівництві.

					<i>РА81.845931.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

○ Нейлон

Нейлон є популярним полімером з видатною механічною міцністю і зносостійкістю, але при цьому він легкий, що робить його чудовим матеріалом для підшипників і роликів. Він також має хорошу стійкість до більшості хімічних речовин, але має високе поглинання вологи, що впливає на стабільність розмірів.

Тенденції розвитку верстатів з ЧПУ

На даному етапі фрезерні верстати з ЧПУ використовуються в широкому спектрі різноманітних галузей від аерокосмічної та машинобудівної до галузі розваг. Одним словом, можливість ефективно різати метал корисна для всіх галузей промисловості. Оскільки певні галузі, в яких використання фрезерного верстата є незамінним, стрімко розвиваються від початку минулого століття і до сьогодні, через це свій розвиток отримують і фрезерні верстати. Одним із головних напрямків розвитку фрезерувальних верстатів з ЧПУ полягає в тому, щоб зробити їх багатофункціональними. Завжди існує вимога до зменшення виробничого циклу. Цієї цілі можна досягти покращенням охолодження інструментів обробки. Одним із найефективнішим рішенням цієї проблеми є зміна елементів що гріються - аналогічними, це значно скорочує час на охолодження цих елементів. Також необхідно відмітити ще одну ланку розвитку верстатів з ЧПУ, яка полягає в використанні їх на виробництві малими бізнесами і навіть в побуті з метою навчання чи розваги. Такі фрезерні верстати продаються як конструктори чи як готові рішення, стають все меншими за розмірами та доступнішими в ціні. Передові верстати з ЧПУ працюють із постійно зростаючим арсеналом матеріалів.

Автоматизація стає широко розповсюдженим явищем. Більш ніж будь-коли різноманітні верстати з ЧПУ користуються попитом. Вони стають все доступнішим навіть для малих бізнесів. Навіть ціни на 5-осьові верстати з часом впали, більше виробників змогли дозволити собі сучасніше обладнання. Це підвищило ефективність виробництва, оскільки ці машини

					РА81.845931.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		14

можуть виконувати багато операцій. Замість того, щоб для виготовлення однієї деталі було потрібно кілька верстатів, тепер цим виробникам потрібен лише один верстат. 5-осьові верстати з ЧПУ окрім іншого також можуть створювати деталі в автомобільній промисловості, де автомобільні конструкції стають все більш різноманітними та вдосконаленими у відповідь на попит ринку. Багато верстатів з ЧПУ також підключаються до систем планування виробничих ресурсів.

Існують і інші фактори, які стоять за тенденцією використовувати верстати з ЧПУ. Деякі з цих факторів включають обробку в одній конфігурації, більш тривалий термін служби інструменту та збільшення тривалості циклу за рахунок досягнення оптимальних позицій різання. Виробники хочуть скоротити час монтажу, який вони могли б витратити на наступну роботу, щоб задовольнити попит клієнтів на оброблення деталей. Крім того, однією з найрозповсюдженіших проблем виробництва за допомогою верстатів з ЧПУ це те, що будь-які зміни у конструкції деталей необхідно адаптувати до верстатів з ЧПУ. Для того, щоб вирішити цю проблему, були вдосконалені засоби керування верстатами з ЧПУ.

Сучасні машини настільки ж потужні, як і найкращі нові комп'ютери. По суті, ПК зараз є невід'ємною частиною верстатів з ЧПУ, отже, удосконалюється й програмне забезпечення для використання верстатів. Стандартизація апаратного забезпечення та прості у використанні програми гарантують, що ми можемо ефективно створювати складні машини майбутнього.

В процесі роботи системи планування виробничих ресурсів, коли багато верстатів з ЧПУ підключаються один до одного, потрібні додаткові заходи обережності. Навіть в уже інтегрованому рішенні завжди існує ймовірність збою зв'язку. Це може бути дуже дорогою проблемою і може закрити виробничі лінії. Це також може призвести до низької якості та втрати потужності заводу. Хороша новина полягає в тому, що рішення розробляються, і для цього потрібні краща колаборація між постачальниками програмного забезпечення, виробниками верстатів.

					<i>РА81.845931.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

Завдяки технології інтернету речей ми можемо вирішувати подібні проблеми швидше, щоб вони не виникали на більш критичній стадії роботи. Технологія промислового інтернету речей, яка відстежує та вимірює виробничі процеси, за потреби автономно реагує, коли щось піде не так. Ця здатність допомагає верстатам з ЧПУ самостійно діагностувати проблеми та виправляти помилки у виробничому процесі швидше, ніж співробітники можуть виявити та реагувати на помилки або діагностувати причину несправності машини.

Машини з ЧПУ та САМ (Computer Aided Manufacturing) – це комбінація, яка виробляє бездоганну продукцію високої якості зі значним прибутком, незалежно від галузі, яку обслуговує виробник.

Досягнення в обробці з ЧПУ продовжують робити, здавалося б, неможливе можливим. Точна обробка з ЧПУ є однією з галузей, що найшвидше розвиваються в усьому світі. Майбутнє обробки з ЧПУ спрямоване на синхронізацію кількох верстатів, що значно підвищує ефективність і можливості прототипів для виробничих потужностей.

Огляд існуючих фрезерних верстатів з ЧПУ

Верстати, що будуть розглядатися далі умовно було поділено на дві групи: найбільш типові зразки, призначені для малого бізнесу і промислового виробництва з різних цінових категорій, а також підгрупа настільних верстатів, які є наближеними за характеристиками до верстата, що розробляється мною. Кожна підгрупа буде представлена окремою таблицею після огляду кожної моделі.

Комплект для збірки фрезерного верстата 3018 pro

Даний станок виділяється своєю ціною, а також початковим станом: станок продається, як комплект для самостійної збірки. Виробником зазначено, що пристрій створено в розважальних, навчальних та дослідних цілях. Виробником не передбачається робота станка з твердим металом. Вигляд виробу показаний на рисунку 1.2.

					РА81.845931.001 ПЗ	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16



Рисунок 1.2 – Фрезерний верстат 3018 pro [5]

Характеристики

Розміри робочої поверхні: 300x180x40 мм

Габаритні розміри: 420x355x280 мм

Потужність шпинделя: 100 Вт

Система охолодження: відсутня

Живлення: блок живлення 24В / 5,6А

Направляючі: циліндричні рейки з алюмінію

Вбудоване програмне забезпечення: GRBL 1.2

Порт підключення: microUSB

Маса: 7,1 кг

Ціна: 4500 гривень

Країна-виробник: Китай

Комплект для збірки гравірувального верстата TTS-55

Цей верстат малий за своїми габаритами відносно конкурентів, за рахунок того, що конструкцією не передбачено переміщення по вертикальній осі. Також корпус даного верстата компактний і його габарити по зовнішньому вигляду майже не відрізняються від розмірів робочої поверхні, хоча й габарити не вказані. Вигляд виробу показаний на рисунку 1.3.

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

РА81.845931.001 ПЗ

Лист

17

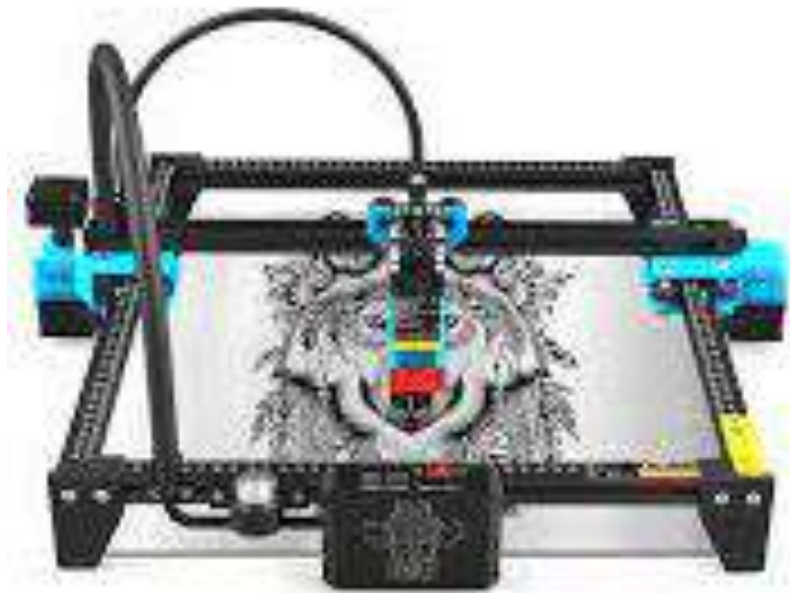


Рисунок 1.3 – Гравірувальний верстат TTS-55 [6]

Характеристики

Розміри робочої поверхні: 300x300 мм

Габаритні розміри: не вказані виробником

Потужність шпинделя: 5,5 Вт

Система охолодження: відсутня

Живлення: блок живлення 12В / 4А

Направляючі: пластикові рейки

Вбудоване програмне забезпечення: GRBL 1.2

Порт підключення: USB

Маса: 4,3 кг

Ціна: 8000 гривень

Країна-виробник: Китай

Фрезерний верстат з ЧПУ Кречет 6090

Даний верстат поєднує в собі переваги легкого настільного верстата та професійного верстата. Розмір робочої поверхні дозволяє обробляти переважну кількість можливих виробів. Компактність і не висока вага дозволяють розмістити верстат у будь-якому приміщенні на обмеженій площі. Вигляд виробу показаний на рисунку 1.4.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
18

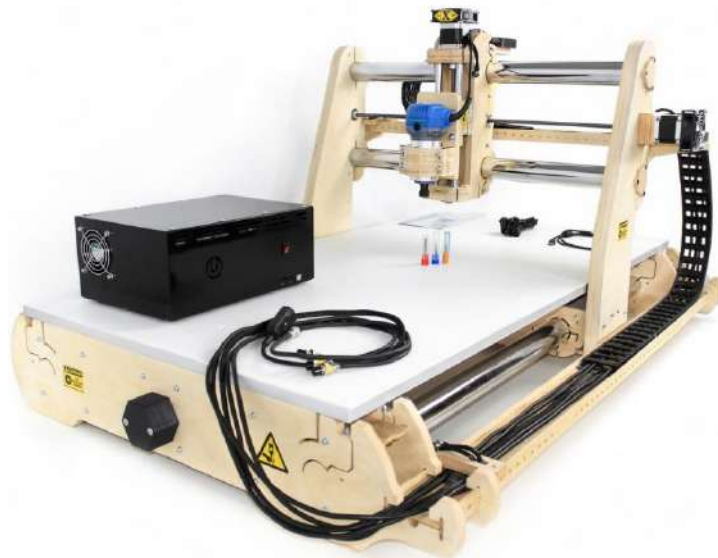


Рисунок 1.4 – Фрезерний верстат з ЧПУ Кречет 6090 [7]

Характеристики

Розміри робочої поверхні: 600x900x100 мм

Габаритні розміри: 1100x1500x800 мм

Потужність шпинделя: 900 Вт

Система охолодження: відсутня

Живлення: 220В

Направляючі: Циліндричні рейки діаметром 50 мм

Вбудоване програмне забезпечення: Mach3

Порт підключення: USB

Маса: 42 кг

Ціна: 23000 гривень

Країна-виробник: Україна

Фрезерний верстат з ЧПУ Ястреб 6090-200

Даний 3-х координатний фрезерний верстат із ЧПУ. Призначений для обробки 2D і 3D моделей, а також тіл обертання (із встановленим модулем 4 осі). Дана модель відрізняється високою точністю і підвищеною швидкістю обробки завдяки жорсткій станині зі сталі і порталу з алюмінієвих сплавів. Безколекторний шпиндель 1.5 кВт, з рідинним охолодженням дозволяє

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
19

виконувати завдання без перерв, 24 години на добу. Вигляд виробу показаний на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Фрезерний верстат з ЧПУ Ястрєб 6090-200 [8]

Характеристики

Розміри робочої поверхні: 600x900x200 мм

Габаритні розміри: 1340X1000X920 мм

Потужність шпинделя: 900 Вт

Система охолодження: Водяне охолодження

Живлення: 220В

Направляючі: Цементований вал SBR20

Вбудоване програмне забезпечення: Mach3

Порт підключення: USB

Маса: 90 кг

Ціна: 64000 гривень

Країна-виробник: Україна

Фрезерний верстат з ЧПК GRIZLI Profi

Даний верстат постачається з усім необхідним програмним забезпеченням, а також поясненням по роботі зі станком від виробника. По словам виробника верстат простий в обслуговуванні та використанні, ремонтпридатний, всі деталі доступні для заміни. Виробник зазначає, що його станки широко використовуються в столярній та рекламній галузях, але

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
20

цим сфери застосування верстата не обмежуються. Вигляд виробу показаний на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Фрезерний верстат з ЧПК GRIZLI Profi [9]

Характеристики

Розміри робочої поверхні: 1500x1500x170 мм

Габаритні розміри: не вказані виробником

Потужність шпинделя: 2,2 кВт

Система охолодження: Водяне охолодження

Живлення: 220В

Направляючі: вал на опорі SBR20/SBR16 з зубчастою рейкою

Вбудоване програмне забезпечення: GRBL

Порт підключення: USB

Маса: 90 кг

Ціна: 89000 гривень

Країна-виробник: Україна

Фрезерно-гравірувальний верстат CNC PROM CNC 8060Z

Головною особливістю даного верстата являється наявність повітряного охолодження. Виробник пропонує нестандартний, але великий вибір вбудованого програмного забезпечення. Унікальними для представленого списку є програми керування Emc2 та Kcam. Вигляд виробу показаний на рисунку 1.7.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
21



Рисунок 1.7 – Верстат з ЧПУ CNCROM CNC 8060Z [10]

Характеристики

Розміри робочої поверхні: 800x600x20 мм

Габаритні розміри: 1130x890x610 мм

Потужність шпинделя: 1,5 кВт

Система охолодження: Повітряне охолодження

Живлення: 220-240В

Направляючі: вал без опори WSC25; вал на опорі SBR20;
вал без опори WSC16

Вбудоване програмне забезпечення: Mach3/Emc2/Ксам

Порт підключення: USB

Маса: 61 кг

Ціна: 107160 гривень

Країна-виробник: Китай

Фрезерний верстат з ЧПУ MSF2060

Особливостями цього верстата є зміна конфігурації обладнання спеціально під потреби споживача. Ця серія верстатів з ЧПУ є універсальною і вони можуть бути оснащені поворотною віссю 4D, системою управління Ncstudio, DSP або MACH3 або іншою системою або стійкою управління. Можлива комплектація фрезерного верстату MSF2060 з ЧПУ вакуумним

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
22

столом, системою водяного туману, що є ефективним при охолодженні зони різання, автоматичного збору стружки для мінімізації пошкоджень частини, що піддаються фрезеруванню, серводвигунами Panasonic замість крокових тощо. Також верстати можуть бути укомплектовані шпинделями майже будь-якої потужності. Є можливість встановити як китайський так і італійські шпинделі. Доставка і встановлення проводиться за рахунок виробника, також виробник зазначає про опцію експрес-навчання. Безкоштовна технічна підтримка на весь життєвий цикл верстата. Вигляд виробу показаний на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 – Фрезерний верстат з ЧПУ MSF2060 [11]

Характеристики

Розміри робочої поверхні: 2000x6000x200 мм

Габаритні розміри: не вказані виробником

Потужність шпинделя: 4,5 кВт

Система охолодження: Водяне охолодження

Живлення: 380В

Направляючі: квадратні лінійні HIWIN 20 мм або 25 мм

Вбудоване програмне забезпечення: DSP, MACH3 або Ncstudio

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

Порт підключення: USB

Маса: не вказана виробником

Ціна: 558000 гривень

Країна-виробник: Україна

Портальний фрезерний верстат з ЧПК Haas GM-2

Даний верстат являється найінноваційніших серед представлених мною. Один з найпотужніших в світі. Конструкція верстата сфокусована на підвищенні жорсткості конструкції, що дозволяє фрезерувати товсті та великі за габаритами листи металу, витримує вагу 2722 кг. Єдиний з представлених в цьому розділі, що має автоматичну зміну насадок. Окрім водяного охолодження, наявне ще повітряне охолодження, щоправда такий функціонал потребує вільного доступу повітря в мінімально визначеному об'ємі. Система управління є окремою стійкою на роликах, що підвищує зручність керування. Вигляд виробу показаний на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Верстат з ЧПК Haas GM-2 [12]

Характеристики

Розміри робочої поверхні: 3683x2223x559мм

Габаритні розміри: 5740x3630x3230 мм

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
24

Потужність шпинделя: 22,4 кВт

Система охолодження: Водяне + повітряне охолодження

Живлення: 220 В/ 70А або 440В/ 35А

Направляючі: колонно-мостові вали

Вбудоване програмне забезпечення: DSP, MACH3 або Ncstudio

Порт підключення: USB

Маса: 9190 кг

Ціна: 7256103 гривень

Країна-виробник: США

Порівняння характеристик двох підгруп верстатів можна у відповідному порядку побачити в таблицях 1.1 та 1.2.

					<i>РА81.845931.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		25

Таблиця 1.1 – Характеристики настільних верстатів

Назва	3018 Pro	TTS-55	Кречет-6090	Ястреб-6090-2
Тип	Комплект для збірки фрезерного верстата з ЧПУ	Комплект для збірки гравірувального верстата з ЧПУ	Фрезерний верстат з ЧПУ	Фрезерний верстат з ЧПУ
Розмір робочої поверхні, мм	300x180x40	300x300	600x900x100	600x900x200
Габаритні розміри, мм	420x355x280	-	1100x1500x800	1340x1000x850
Потужність шпинделя, Вт	100	5,5	910	1500
Охолодження / Тип	-	-	-	Водяне охолодження
Живлення	24В / 5,6А	12В / 4А	220В	220В
ПЗ	GRBL	GRBL	Mach3	Mach3
Порт підключ.	microUSB	USB	USB	USB
Маса, кг	7,1	4,3	42	87
Ціна, грн	4500	8000	23000	64000

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

Лист

26

Таблиця 1.2 – характеристики верстатів для виробництва

Назва	GRIZZLI Profi	CNCPROM CNC 8060Z	MSF2060	Haas GM-2
Тип	Фрезерний верстат з ЧПУ	Фрезерно - гравірувальн ий верстат з ЧПУ	Фрезерний верстат з ЧПУ	Портальний фрезерний верстат з ЧПУ
Розмір робочої поверхні, мм	1500x2500x 170	800x600x20	2000x6000x200	3683x2223x5 59
Габаритні розміри, мм	-	1130x890x610	-	5740x3630x3 230
Потужність шпинделя, кВт	2,5	1,5	4,5	22,4
Охолодження / Тип	-	Повітряне охолодження	Водяне охолодження	Водяне+пові тряне охолодження
Живлення	220В	220В	380В	220В / 70А; 440В / 35А
ПЗ	GRBL	Mach3, Emc2 або Kcam	Mach3, DSP або Ncstudio	Вбудоване Haas
Порт підкл.	USB	USB	-	-
Маса, кг	90	61	-	9190
Ціна	89000	107160	558000	7256103

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

Лист

27

При аналітичному огляді ринку фрезерних верстатів, можна відмітити, що фрезерний верстат - це дорогий пристрій. Ціна за одиницю фрезерного верстата складає від 4500 гривень для невеликих фрезерно-гравірувальних станків до 8000000 гривень для більш потужних і громіздких імпорتنих порталних фрезерних верстатів з ЧПУ для промислових масштабів виробництва.

В деяких верстатах передбачена зміна шпинделя на більш потужний, при цьому кожен з верстатів обмежений визначеною робочою поверхнею, а також міцністю конструкції, при навантаженні робочої поверхні матеріалом важчим за вказану у технічних параметрах робота верстата не гарантується. В дипломному проєкті буде приділена увага відношенню розмірів робочої поверхні до загальних розмірів верстата задля забезпечення мінімальної різниці між цими розмірами, з метою підвищення ефективності використання простору для виконуваної роботи.

Майже в кожному з представлених верстатів переміщення шпинделя забезпечується зубчасто-гвинтова передача, через що швидкість роботи пристрою уповільнюється. В одному з представлених верстатів доступна заміна коркового двигуна на сервопривод, що може дещо підвищити фрезерування, але це підвищення швидкості буде незначним.

Основною проблемою фрезерувальних верстатів з ЧПУ є перегрівання, через що на дорогих верстатах присутня можливість водяного охолодження, а подекуди й більш функціональне повітряне охолодження всієї робочої поверхні. Іноді для пришвидшення обігу матеріалів для фрезерування, виробники вдаються до можливості заміни запчастин верстата, що гріються. Це дуже ефективна концепція, адже ніяка з доступних систем охолодження не може перевершити такий підхід до роботи. При відсутності системи охолодження або концепції заміни запчастин, на охолодження шпинделя може піти значний час.

					<i>РА81.845931.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		28

1.2 Вихідні положення та параметри розробки

В ході дослідження існуючих рішень верстатів було отримано більш повноцінне враження про ринок фрезерних станків в Україні та світі. Були відмічені певні рішення, якими можна буде скористатися під час розробки власного пристрою.

Виходячи з висновків виконаного аналізу

Задачею проєктування є розробка конструкції та електронної частини фрезерного верстата в вигляді прототипу, з можливістю подальшого удосконалення. Прототип має містити місце для кріплення шпинделя з патроном для фрези або іншого різального чи гравірувального інструмента, а також можливість переміщення місця кріплення по двом горизонтальним та вертикальній осі над всією робочою поверхнею. Розробка власне шпинделя не планується.

Основним матеріалом для виробу конструкції верстата обрано пластик, адже 3D принтери дозволяють зробити відносно просту маніпуляцію з цим матеріалом, з метою вироблення конструкції пристрою. Також цей матеріал легше за метал, з якого зроблена абсолютна більшість існуючих верстатів, таке рішення дозволить значно зменшити вагу, що забезпечить мобільність пристрою та вигідно виділить верстат серед конкурентів.

Оскільки розробка буде виконуватись мною самостійно: без фінансової підтримки держави та третіх сторін, було визначено фінансову складову розробки як бюджетну - це означає, що в ході розробки по можливості будуть прийматися рішення, які не збільшать фінансову складову розробки, або мінімально затратними з фінансової точки зору.

Основною ціллю розробки буде задача зробити фрезерний верстат мобільним та компактним, тобто мінімізувати різницю між розміром робочої області та габаритними розмірами, в цілому зробити верстат не великим за розмірами.

Планується зробити верстат швидшим за конкурентів. Це планується зробити за рахунок ремінної передачі на відміну від зубчасто-винтової у

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
29

пристроїв-конкурентів. Це дозволить значно збільшити швидкість, щоправда вплине на точність обробки.

Оскільки при розробці технології переміщення ми нехтуємо точністю обробки, ми можемо також полегшити конструкцію пристрою: замість двох направляючих використати один. Це також може збільшити похибку обробки, але враховуючи факт ремінної передачі ця зміна буде не суттєвою, при зманшенні маси, що припадає на направляючі в два рази.

1.3 Розроблення та аналіз ТЗ

Завданням для цього дипломного проекту є розробка робочого прототипу фрезерного верстата з ЧПУ, з можливими технічними допущеннями.

Одним з головних параметрів фрезерного верстата є розмір робочої області, цей розмір технічним завдання визначено як 130 мм в ширину, 130 мм в довжину, та хід шпинделя на 10 мм по вертикальній осі.

Іншим таким параметром є швидкість переміщення шпинделя над робочою поверхнею. Ця швидкість зумовлена кількістю можливих обертів на хвилину крокового двигуна при холостих обертах. В робочому стані швидкість переміщення буде визначена як 10 мм за секунду, задля того, щоб верстат зміг створити конкуренцію, іншим фрезерним станкам з ЧПУ в нижньому ціновому сегменті. Швидкість переміщення зростатиме до 20мм/с при вільному переміщенні до зони обробки.

Також важливим параметром є швидкість роботи шпинделя який планується приводити в роботу за допомогою сервоприводу. Проте ця швидкість не повинна бути занадто високою, задля забезпечення акуратності фрезерування. Тому це число буде обрано, відповідно до стандартної швидкості роботи сервоприводу при певному навантаженні.

Місце де планується розташування шпинделю прототипу буде головним чином гніздом, з можливістю встановлення шпинделя.

					<i>РА81.845931.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>30</i>

2 КОНСТРУКТОРСЬКА РОЗРОБКА ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

2.1 Розроблення загальної конструкції верстата

З метою зменшення загальної ваги пристрою, було вирішено відійти від стандартного типу виконання верстатів, яке було описано в попередніх розділах. Зазвичай, за направляючі рейки беруть дві поздовжні рейки по обидва боки від робочої поверхні, в випадку мого верстату ця кількість була зменшена до однієї поставленої в поперек, і буде знаходитись вона з одного краю робочої площини. В свою чергу поперечну рейку яка лягала на дві перпендикулярних було замінено на таку саму, але поздовжню і закріплено її на одній поперечній рейці. Конструкція самої рейки буде являти собою два циліндри невеликого(менше 10 мм) радіусу з'єднаних на кінцях.

На рисунку 2.1 зображена конструкція пристрою, на рисунку частини конструкції області обведені пунктирною лінією умовно поділяють її на частини про які буде йти мова.

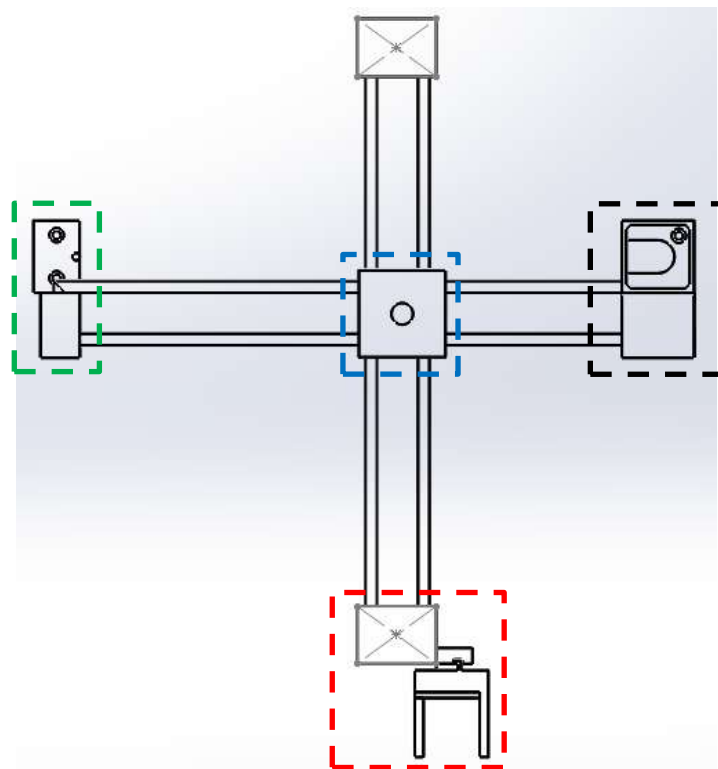


Рисунок 2.1 – Конструкція верстата вигляд зверху

В зоні кріплення поздовжньої направляючої до поперечної, виділеною на рисунку 2.1 синьою пунктирною лінією буде виділено місце під кроковий

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
31

двигун, що буде керувати положенням поздовжньої рейки. В передбаченому для крокового двигуна зоні буде розташовуватися отвір для підключення двигуна, а також отвір для валу крокового двигуна, останній отвір можна побачити на рисунку 2.1, форма місця заглиблення під кроковий двигун, буде максимально наближеною до форми крокового двигуна Nema 17HS4401, для збереження стійкої позиції двигуна під час обертання валу. Оскільки ця зона кріплення буде знаходитися у русі, передбачено наскрізні отвори для обох направляючих рейок, таким чином зона кріплення буде рухатися відносно нерухомої поперечної рейки, а поздовжня рейка буде рухатися відносно зони кріплення створюючи можливість переміщення кінця поздовжньої рейки над всією площиною робочої поверхні. Отвори для рейок будуть квадратної форми для зменшення площі доторкання рейки до зони кріплення, що буде забезпечувати менше тертя, таким чином полегшуючи роботу крокових двигунів. В зоні кріплення буде передбачено ще один наскрізний отвір, який призначений для ремня типу GT-2 довжиною 350мм, що буде приводитися в рух валом двигуна, і в свою чергу ремінь буде приводити в рух поздовжню рейку. Ременем було обрано саме GT-2, адже він широко розповсюджений при виробництві пристроїв з ЧПУ, має стандартизований крок 2 мм між виступами та заглибленням, ширина ремня 6 мм. У нижній частині зони кріплення, буде передбачено заглиблення для кріплення деталі із заглибленням для зубчиків ремня, що в результаті стискання із зоною кріплення, буде міцно фіксувати поперечний кільцевий ремінь GT-2 завдовжки 610мм, рисунок 2.2.



Рисунок 2.2 – Кільцевий ремінь GT-2 [13]

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
32

Поперечна рейка буде закріплена з двох кінців. З одного боку кріпленням буде виступати невелика деталь, на рисунку 2.1 виділена зеленою пунктирною лінією, ізометричний вигляд зблизька можна побачити на рисунку 2.3.

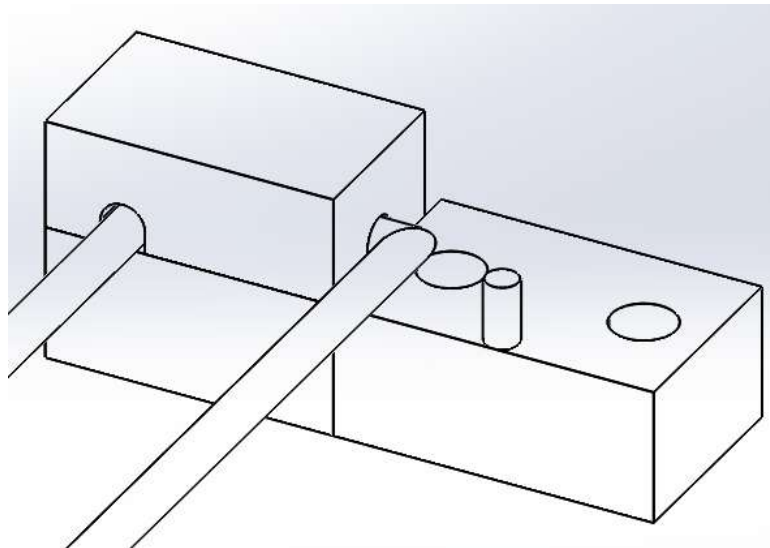


Рисунок 2.3 – Ізометричний вигляд кріплення поперечної рейки

В нижній частині буде два отвори для закріплення деталі саморізами до опорної дошки. У верхній частині навпаки буде виступ - місце встановлення підшипника, зображеного на рисунку 2.4, висотою 6мм, що відповідає ширині ременя, внутрішнім діаметром 6 мм під виступ, та зовнішнім діаметром 19мм. Він буде полегшувати обертання кільцевого ремня типу GT-2, який відповідальний за переміщення зони кріплення. В обох частина передбачені відповідні заглиблення і виступи для з'єднання частин одна з одною.



Рисунок 2.4 – Підшипник [14]

З іншого боку кріпленням поперечної рейки буде більша деталь, на рисунку 2.1 виділена чорним пунктиром, яка також буде складатись з двох

частин. Нижня - досить комплексна деталь: вона об'єднує в собі місце для встановлення другого крокового двигуна, який приводить в рух зону кріплення, тобто, на валу цього двигуна, буде закріплено 16-зубий шків, що зображений на рисунку 2.5 з заглибленням 6,35мм. Він буде здійснювати переміщення кільцевого реміня.



Рисунок 2.5 – Шків під ремінь типу GT-2 [15]

Деталь кріплення поперечної рейки з місцем під кроковий двигун зображено на рисунку 2.6.

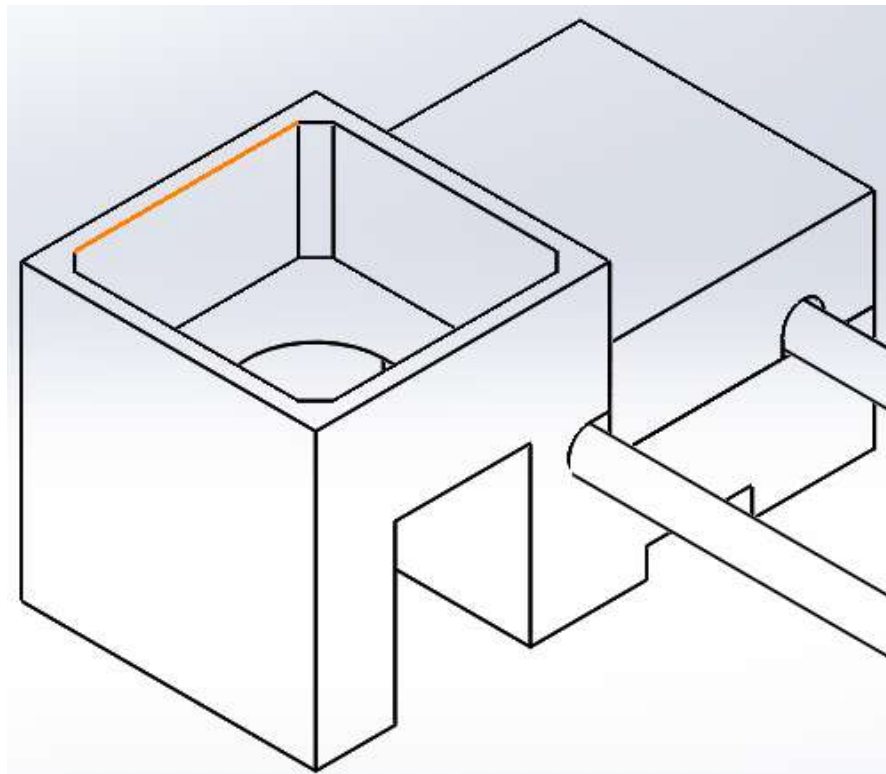


Рисунок 2.6 – Комплексна деталь кріплення поперечки

Місце для крокового двигуна зроблене таким чином, щоб встановити двигун валом вниз, що є незвичайним положенням, але дозволяє зекономити ресурси пластику, що використовується, а також зробити отвори для закріплення деталі саморізами до опорної дошки. Кроковий двигун можна встановити будь-якою стороною, але було вибрано положення таке, щоб

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

напряг дротів підключення двигуна співпало з напрямом таких дротів для іншого двигуна. В нижній частині цієї деталі присутнє відкриття для проходження ременю. Також передбачений виступ для з'єднання з верхньою частиною, поряд з ним, присутній отвір для закріплення деталі саморізом до опорної дошки. В низу цієї частини передбачено підйом, що утворює отвір з опорною дошкою для припущення дротів, якими підключено рухомий кроковий двигун. У верхній частині передбачено заглиблення для фіксації рейки та з'єднання з нижньою частиною деталі.

Одним з ключових місць конструкції фрезерувального верстата з ЧПК є місце для шпинделя, рисунок 2.7, на рисунку 2.1 виділена червоною пунктирною лінією.

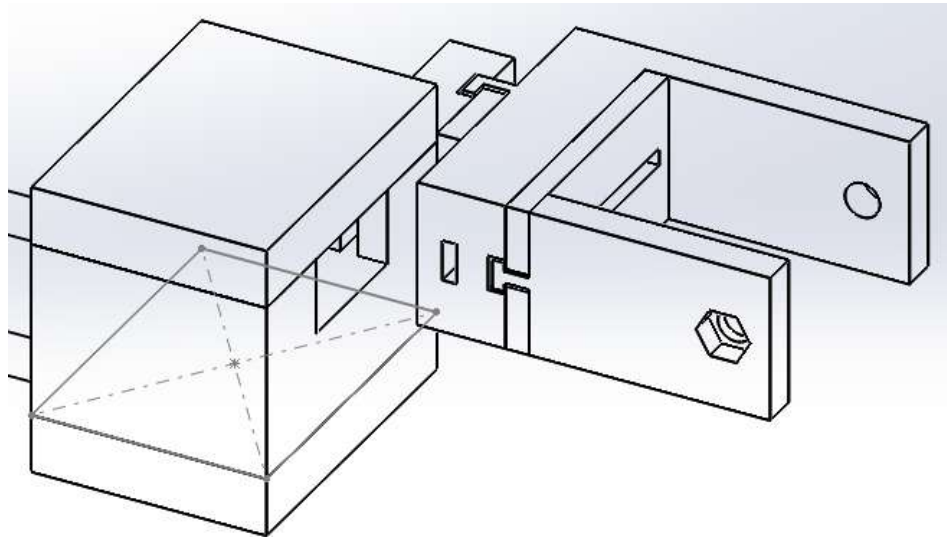


Рисунок 2.7 – Місце для шпинделя

Це комплексна деталь, яка складається з декількох частин, дві з яких є допоміжними: верхня має заглиблення у вигляді зубчиків ременя, яка слугує для його закріплення, та нижня, яка закріплює заглиблення в основній частині деталі, яке призначене для сервоприводу що рухає шпиндель по вертикальній осі. Заглиблення для сервоприводу спроектовано наступним чином: заглиблення для сервоприводу лише частково може вміщувати його, адже обертова частина сервоприводу повинна виступати назовні цією деталі, щоб мати можливість рухати місце кріплення шпинделю по вертикальній осі, також передбачено заглиблення для виходу дротів, що слугують для підключення сервоприводу. В основній частині є також заглиблення для

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

кріплення кінця поздовжньої рейки. Інша частина деталі, яка знаходиться праворуч на рисунку 2.7 це затичкач для шпинделя. Вона складається з двох частин: в основній є заглиблення для голівки сервопривода, за рахунок цього буде задаватися положення шпинделя по висоті. В самому затискачі присутні отвори для гвинта, а також заглиблення для фіксації гайки, що й буде затискати шпиндель.

На іншому кінці поздовжньої рейки також передбачена деталь, що складається з двох частин, в кожній присутні відповідні заглиблення та виступи для кріплення ременю, приєднання деталі до рейки, а також з'єднання частин одна з одною, це блок на рисунку 2.1, що не виділений пунктичною лінією.

Для кращого розуміння на рисунку 2.8 зображено ізометричний вигляд конструкції верстата. Частини конструкції обведені пунктирною лінією, кольором відповідним, що й на вигляді зверху.

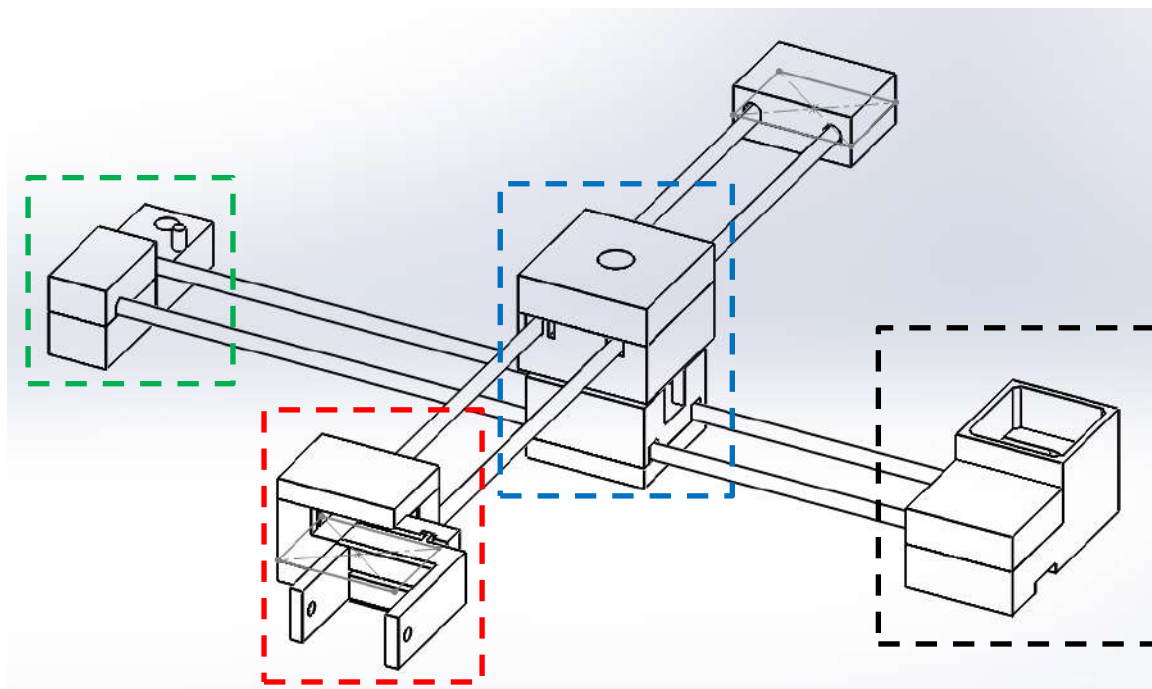


Рисунок 2.8 – Ізометричний вигляд конструкції верстата

Таким чином буде виглядати конструкція розроблюваного пристрою. Моделювання деталей конструкції проводилось в програмі SolidWorks. Файл збірки деталей дав змогу протестувати рух частин, після розташування у потрібних місцях. Під час перевірки, перешкод при русі виявлено не було,

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

перетинання геометрій деталей не виявлено. Отже, конструкція може функціонувати в реальному житті.

2.2 Обґрунтування вибору електронних модулів

Метою дипломного проєкту є створення фрезерного верстата з числовим програмним управлінням. Для цього необхідно створити блок керування, який складається з наступних частин: мікроконтролер, плата доповнення до мікроконтролера, крокові двигуни, драйвери для крокових двигунів, сервопривід і блок живлення для плати доповнення, яка в свою чергу буде живити крокові двигуни і сервопривід.

Для початку було обрано контролер, він є основним модулем серед всіх інших електронних модулів, адже дозволяє запрограмувати плати доповнення потрібним чином, а також здійснює необхідні обчислення для правильного керування рухомими елементами, тобто, є невід'ємною частиною для створення числового програмного управління. Контролер обирався між трьома різними за архітектурами головного процесора платами. Було проведено аналітичне порівняння Raspberry Pi, Arduino Uno та ESP 8266. Кожен з цих мікроконтролерів створені для різних задач і всі вони в різних цінових діапазонах.

NodeMCU ESP8266 побудований на основі процесора Tensilica L106 з 32-бітною архітектурою і тактовою частотою 80 МГц. Даний контролер має вбудовану антену, що дозволяє приймати і надсилати сигнали, таким чином робить можливим розробку в галузі Інтернету речей. Його очевидними перевагами є доступність та потужні технічні можливості. Серед недоліків, те що програмування контролера здійснюється тільки на мові програмування C++, а також відсутність широкого спектру навчальних матеріалів по темі, що може ускладнити розробку. Контролер зображено на рисунку 2.9



Рисунок 2.9 – Мікроконтролер NodeMCU ESP8266 [16]

Arduino Uno існує в різних версіях. Дві найрозповсюдженіших побудовані на базі чіпів CH340G та ATmega16U2, вони дещо різняться в ціні. Побудований на процесорі з 8-бітовою архітектурою, з тактовою частотою 16МГц. Для програмування використовується спрощена версія C++. Розробку ПЗ можна вести як з використанням безкоштовного середовища Arduino IDE, так і за допомогою довільного C/C++ інструментарію. Це буде дуже корисним при подальшій розробці та пошуку вбудованого програмного забезпечення та завантаження його на плату. Для програмування та передачі даних на комп'ютер потрібен USB-кабель, а для автономної роботи можна використати блок живлення. Даний контролер знаходиться в дорожчій цінній категорії при цьому має менше потужність порівняно з вищезгаданим мікроконтролером. При цьому варто зазначити, що його технічні можливості повністю задовольняють потребам розробки. Контролер зображено на рисунку 2.10

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
38



Рисунок 2.10 – Мікроконтролер Arduino Uno з чіпом ATmega [17]

Платформа для розробки Raspberry Pi 4 насправді являється повноцінним комп'ютером, в основі якого лежить процесор Quad core Cortex-A72 на 64-бітній архітектурі з тактовою частотою 1,5 ГГц, що в рази потужніше за згадані вище варіанти. Має вбудований WiFi та Bluetooth модуль, що робить його ідеальним при розробці пристроїв з технологією Інтернету речей. Основною мовою програмування цього девайса є мова програмування Python, але має можливість розробки на будь-якій мові програмування. Має велику кількість навчального матеріалу по розробці. При всіх перевагах над іншими платформами для розробки Raspberry Pi 4 має один суттєвий недолік - це його висока ціна. Контролер зображено на рисунку 2.11



Рисунок 2.11 – Мікроконтролер Raspberry Pi 4 [18]

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

Контролером спочатку було обрано Arduino Uno R3 на базі чіпу комунікації CN340, адже цей мікроконтролер доступніший в ціні. Але згодом при експлуатації плати, а саме при системному збої, який полягав в тому що при виконанні обчислювальних операцій плату було відключено від живлення, і при подальших підключеннях плати до комп'ютера програмне середовище Arduino не розпізнавало плату. В таких випадках, для вирішення цієї проблеми рекомендують встановити драйвер для операційної системи Windows, який розпізнає плату, але в останніх версіях цієї ОС ручне встановлення драйвера для пристрою неможливе. Через що було обрано Arduino Uno Rev3 на базі іншого мікроконтролера: ATmega16U2. Таким чином проблему було вирішено, не втрачаючи при цьому функціональних можливостей попередньо обраного модуля. Іншим чинником вибору цієї платформи стала доступність розробки ПЗ для неї на різних мовах програмування.

Платою доповнення було обрано CNC Shield V3, тому що вона підходить до обраного контролера, при цьому має 4 місця для встановлення драйверів крокових двигунів і 4 місця для підключення власне двигунів. Окрім того плата містить конектор для живлення всіх підключених елементів, а також додаткові та споміжні місця підключення: для ввімкнення плати, для скидання налаштувань плати, підключення сервоприводу, тощо. Плата доповнення зображена на рисунку 2.12.

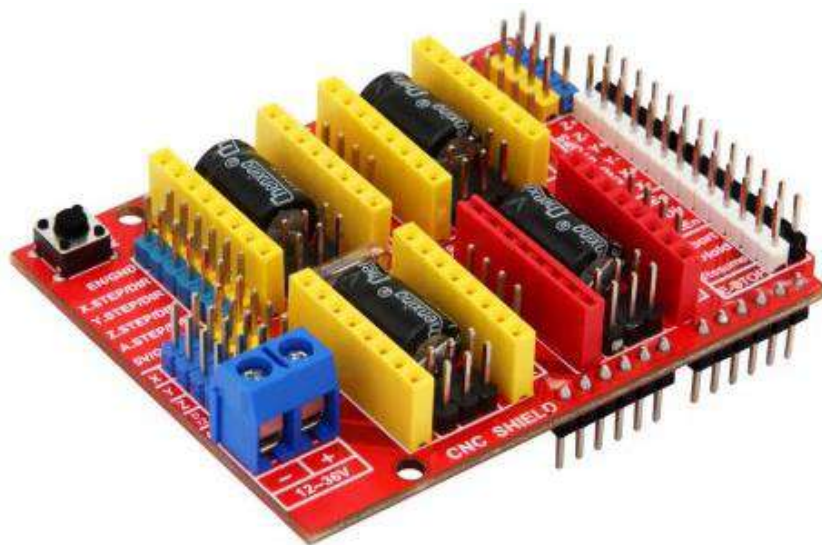


Рисунок 2.12 – Плата доповнення [19]

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

Хоча плата доповнення вже містить конектор для підключення живлення, було придбано додатковий конектор живлення для постійного струму DC005 5.5x2.1мм. Це дозволить розроблюваному пристрою в подальшому бути більш універсальним, а також зручним у використанні звичайним користувачем. Конектор зображено на рисунку 2.13.



Рисунок 2.13 – Конектор [20]

Іншим важливим модулем є його силова частина, яка буде відповідальна за всі переміщення рухомих частин конструкції. Є два шляхи розробки: використовувати крокові двигуни або сервомотори. Серед переваг останніх є їх порівняно більша потужність, а також можливість не лише обертання на визначений кут, але й обертання до визначеної позиції. Крокові двигуни поступаються потужністю, але суттєвою перевагою є їх ціна. Саме з цієї причини мною було прийнято рішення розробки фрезерного верстата, а конкретніше його силової частини з допомогою крокових двигунів. Найрозповсюдженішими кроковими двигунами являються NEMA 17HS4401 та 28BYJ48, їх було обрано до порівняння. Кроковий двигун можна побачити на рисунку 2.14.

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
41



Рисунок 2.14 – Кроковий двигун 28BYJ48 [21]

Головною особливістю крокового двигуна 28BYJ48 є те що живлення може відбуватися від Arduino контролера, адже робоча напруга двигуна 5В, але це не рекомендується, оскільки двигун працює за великого значення сили струму, що може пошкодити контролер. Ціна на такий двигун коливається від 80 до 150 гривень і є найдешевшим серед крокових двигунів, в той час як ціна на 17HS4401 стартує від 300 гривень. Кроковий двигун можна побачити на рисунку 2.15.



Рисунок 2.15 – Кроковий двигун 17Н4401 [22]

					<i>РА81.845931.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		42

Nema 17HS4401 має міцнішу конструкцію, адже на відміну від вищезгаданого двигуна має металевий корпус, це одночасно є і недоліком, адже значно збільшує його масу. Порівняння характеристик обох двигунів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Порівняння характеристик крокових двигунів

Кроковий двигун	28BYJ48	Nema 17HS4401
Кроків на повний оберт	4096	200
Швидкість обертання, кроків/секунду	1024	1600
Обертаючий момент, кг*см	0,35	5,5
Число фаз	4	2
Габаритні розміри, мм	41,9x31,1x29 мм	42x42x48 мм
Маса, грам	34	280
Ціна, грн	97	325

Кроковими двигунами, що будуть здійснювати переміщення шпинделя по осям робочої площини було обрано двофазний NEMA size 17 1.8o, тому що він має достатню потужність для приведення конструкції у рух. До того ж враховуючи конструкцію верстата, велику точність яку має 28BYJ48 не потрібна. При цьому обраний двигун майже не поступається габаритними розмірами своєму конкуренту, що дозволяє зберегти компактність пристрою. Серед зручностей обраного двигуна те, що немає потреби перерозподілу напруги між входами двигуна, двигун напряму під'єднується до плати доповнення. Також швидкість крокового двигуна вигідно доповнює систему ремінної передачі розроблюваного верстата.

Наступним необхідно обрати драйвер для крокового двигуна, адже саме він інтерпретує сигнал що подається контролером і в свою чергу подає необхідну напругу на відповідні входи. Драйвером було обрано A4988, серед особливостей цього модуля захист від подання надмірного струму на

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

кроковий двигун. Драйвер на рисунку 2.16 зображено разом з алюмінієвим радіатором, який призначений для охолодження центрального чіпу на драйвері.

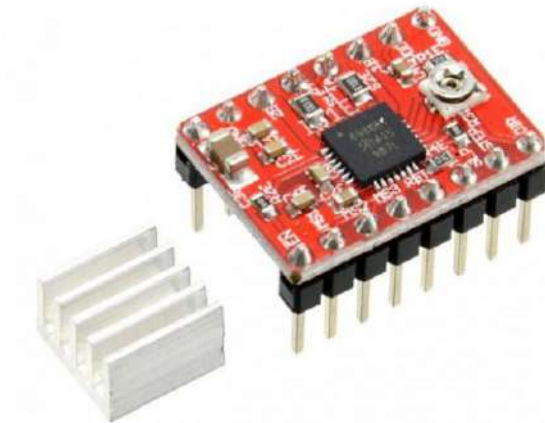


Рисунок 2.16 – Драйвер A4988 для крокового двигуна [23]

Головним чинником вибору саме цього драйвера, це те що він сумісний з кроковим двигуном, який використовується в проєкті. Іншим чинником стало те, що плата доповнення сумісна з драйвером напряду і не має потреби перерозподіляти або відокремлювати сигнал, що подається на виходи плати доповнення призначення для драйвера.

Для руху шпинделя по вертикальній осі було вирішено обрати сервопривід замість крокового двигуна. Розглядалися дві моделі сервопривода китайського виробника Tower Pro: SG90 та MG 995, сервоприводи зображені на рисунках 2.17 та 2.18 відповідно.



Рисунок 2.17 – Сервопривід SG-90 [24]

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 2.18 – Сервопривід MG-995 [25]

Нижче наведена порівняльна таблиця 2.2 характеристик обох сервоприводів.

Таблиця 2.1 Порівняння характеристик цифрових сервоприводів

Сервопривід	MG-995	SG-90
Обертаючий момент, кг*см	8,5	2
Швидкість обертання об./с	0,83	1,38
Габаритні розміри, мм	40,7x19,7x42,9 мм	33x30x13 мм
Маса, грам	55	15
Ціна, грн	217	84

Обрано сервопривід SG-90. Такий вибір зумовлено декількома факторами. По-перше, це маса шпинделя, оскільки він знаходиться на кінці рейки навіть при великому моменті сили, коли шпиндель знаходиться у крайньому найвіддаленішому положенні шпиндель не повинен створювати надмірну вагу, і спричиняти додаткову силу тертя. Маса цього сервомотора всього 15 грам, що дозволяє майже анулювати додаткову силу тертя. Його маса в 5 разів менша ніж в MG995. Також цей сервомотор, на відміну від

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

крокових двигунів, не потребує додаткового живлення при цьому всі роз'єми для підключення присутні серед додаткових на платі доповнення. Окрім цього обраний сервопривід менший за розмірами за свого конкурента. Звісно, він має меншу швидкість обертання та крутящий момент в порівнянні, але повністю задовольняє потребам при його використанні. На останок, варто зазначити, що SG-90 майже в три рази дешевший ніж MG-995, що суттєво скоротить витрати на розробку фрезерного верстата.

Останнім модулем є блок живлення, який обирається виходячи з технічних вимог крокових двигунів. Блок живлення SYS1428-1812W2E 12V/2A повністю задовольняє ці технічні вимоги, при цьому має конектор, що підходить обраному раніше, що дозволяє універсалізувати використання пересічним користувачем. Обраний блок живлення зображений на рисунку 2.19.



Рисунок 2.19 – Блок живлення SYS1428-1812W2E 12V/2A [26]

2.3 Обґрунтування вибору вбудованого та стороннього ПЗ

Для коректної роботи верстата необхідно аби верстат містив в собі вбудоване програмне забезпечення. Воно потрібно для того, щоб верстат при надсиланні на нього G-code міг правильно інтерпретувати його і виконувати

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
46

допомоги сторонніх програм або декомпіляторів. Також це ПЗ легко завантажити на контролер без додаткового технічного забезпечення. Завантаження можливе через USB порт за допомогою кабеля, бібліотека GRBL для ардуіно знаходиться у відкритому доступі. Було обрано поточну версію ПЗ: grbl 0.9i з підтримкою сервоприводу.

Ще одним необхідним програмним забезпеченням є генератор G-code. Обрано програму LaserGRBL, адже вона знаходиться у вільному доступі, проста у використанні, має необхідний функціонал: генерація G-code з векторного формату SVG, налаштування роботи двигунів верстата, а також крайні положення для всіх трьох осей верстата, збереження згенерованого G-code у файл. У цій програмі доступні також функції надсилання коду, але перевагу було надано саме Universal G-code sender через зручніше виконання функцій зупинки та скидання процесу надсилання G-code, яке на відміну від GRBL виконується без технічних збоїв у роботі пристрою.

Перед тим як відправляти згенерований код на верстат з ЧПУ, існує необхідність протестувати його. Для цього існують програми симулятори, оскільки вищеобрана програма об'єднує у собі й цю функцію, на роль симулятора було обрано саме її.

Крім вбудованого ПЗ, для роботи фрезерувального верстата, а саме його переміщення в необхідному напрямку та безпосередньо фрезерування по певній траєкторії необхідне програмне забезпечення для комп'ютера, що дозволить надсилання G-code на контроллер. Й хоча LaserGRBL об'єднує в собі й цей функціонал, під час тестування було помічено, що при перериванні трансляції коду на плату можуть виникати системні збої, що призводять до необхідності перевстановлення вбудованого ПЗ, тому на роль транслятора G-code було обрано Universal G-code sender, за нею таких проблем помічено не було. Вона також знаходиться у вільному доступі та не потребує придбання ліцензії. Ця програма має весь необхідний функціонал: надсилання готового G-code, генерація та надсилання простих команд G-code.

2.4 Проектування конструкції верстата. Розроблення конструкторської документації

Вихідні дані для проектування

Вихідними даними для проектування стали розміри електронних модулів під які в корпусі зроблено місце монтажу з фіксацією. Такими елементами є кроковий двигун і сервопривід. Їх габаритні розміри складають 42,3x42,3x40 мм [33] і 22.6 x 21.8 x 11.4 мм [34] відповідно. На основі цих відомостей були змодельовані місця для їх монтажу.

Також в конструкції зроблені отвори для направляючої рейки та повздовжньої рейки, які являють собою два з'єднані між собою циліндричні вали, діаметри яких однакові і складають 7 мм.

При проектуванні місця для монтажу зроблені з запасом 0,5 – 1 мм, для того щоб при виготовленні деталей на 3D принтері можна було користуватися найменшою точністю виготовлення, що дозволить скоротити витрати на виробництво.

Розрахунки, що підтверджують працездатність

Крутний момент сили обраного двигуна дорівнює 0,4 Н*м. Це означає що момент сили що припадає на кожен з двигунів має бути менше за дане значення. Максимальне значення відстані віддаленості місця прикладання сили від валу двигуна складає $d=15$ см на поперечній рейці, саме там двигун виконує найбільшу роботу, адже цей двигун приводить в рух всю рухому частину. Для цього двигуна й буде проводитися перевірка.

Маса рухомої частини складає $m=0,7$ кг. Коефіцієнт тертя спокою між сталлю і пластиком $\mu=0.2$ [35] – коефіцієнт тертя ковзання 0.1 [35]. В розрахунках будемо враховувати гірший варіант. Сила реакції опори

$$N = mg,$$

де g – прискорення земного тяжіння.

Сила тертя, що виходить в результаті початку переміщення складає

$$F_{\text{тер}} = \mu mg = 1,7 \text{ Н}$$

Момент сили, що припадає на вал двигуна, що переміщує рухому частину двигуна в крайньому положенні складає

					РА81.845931.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$M = F_{\text{тер}}d = 0,25 \text{ Н*м}$$

Отже, момент сили, що припадає на вал двигуна у найгіршому випадку: при найбільшому віддаленні рухомої частини від крокового двигуна та при дії сили тертя спокою, менше ніж момент сили на який розрахований обраний кроковий двигун. Можна зробити висновок, що кроковий двигун зможе переміщувати рухому частину конструкції.

Особливості та засоби розроблення конструкторської документації

Для проєктування конструкції верстата було обрано програмне середовище SolidWorks. Воно дозволяє виконати проєктування як окремої деталі, так і збірки деталей. Після завершення проєктування ця програма має можливість розробки конструкторської документації – це дуже зручно, саме це і стало головною причиною вибору саме SolidWorks. Другорядною причиною вибору цієї програми стало те, що вона дозволяє зберегти 3D модель деталі у багатьох різних форматах, серед яких .STL, оскільки після проєктування деталі буде необхідно виготовити на 3D принтері, якому необхідний саме цей формат.

Деталі було спроектовано після начерку головних ідей конструкції на папері: наявність лише однієї направляючої, форми деталей, що утримують крокові двигуни, положення двигунів відносно деталей, з метою реалізації прямої ремінної передачі.

Після проєктування окремих деталей, було створено файл збірки. Такий файл дозволяє оцінити і перевірити взаємне розташування деталей та їх взаємодію в початковому положенні, а також в положенні яке займають деталі після переміщення рухомих частин у визначеному діапазоні.

Після створення файлу збірки, в програмі SolidWorks створено креслення найбільш важливих деталей. Сучасні технології ЧПУ дозволяють виготовляти деталі з визначеною точністю по файлах, що були створені за допомогою САПР, тому не має потреби створювати креслення кожної окремої деталі.

					<i>РА81.845931.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		50

універсальних і спеціалізованих верстатів, ручної праці, що вимагало обов'язкової розробки конструкторської документації, розробки технології, підбору і заготовки матеріалів тощо.

Обладнання, яке реалізує адитивні технології повністю сумісне з САПР, тому не вимагає виготовлення конструкторської документації, вихідною інформацією є STL-файл, а матеріали застосовуються в універсальній первинній формі. Найбільшого поширення набула технологія 3D друку в основі якої лежить принцип пошарового створення (вирощування) твердого об'єкта.

Вітчизняні компанії надають послуги з 3D друку за такими технологіями:

- моделювання методом наплавлення (Fused deposition modeling, FDM);
- стереолітографія (Laser stereolithography, SLA);
- селективне лазерне спікання (Selective laser sintering, SLS).

З метою визначення оптимальної технології для виготовлення деталей прототипу зазначені технології порівнювалися за такими критеріями як:

- точність відтворення деталі;
- властивості матеріалів;
- візуальні характеристики деталей;
- ціна.

Зважаючи, що всі технології виявилися придатними для виготовлення деталей прототипу визначальним критерієм стала ціна.

За цим критерієм перевагу має технологія FDM. 3D друк за технологією FDM це безперервна подача нитки матеріалу в екструдер, зображений на рисунку 3.1, оснащений нагрівальним елементом. Екструдер призначений для нагрівання сопла, через яке подається матеріал. На цьому етапі відбувається плавлення пластику і видавлювання його на платформу 3D принтера. Кожен наступний шар видавлюється на попередній по заданій траєкторії, за рахунок чого і відбувається побудова виробу. Для більш плавної подачі матеріалу, а також швидкого затвердіння шарів, екструдери оснащуються зовнішніми вентиляторами.

					<i>РА81.845931.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

В якості матеріалу в FDM 3D принтерах використовуються спеціальні нитки пластика діаметром 1,75 мм, або 2,85 мм. Для виготовлення деталей прототипу був обраний матеріал ABS пластик чорного кольору, який є найбільш розповсюдженим і доступним матеріалом, рисунок 3.2.



Рисунок 3.1 – Друкуюча головка з двома екструдерами [29]



Рисунок 3.2 – Котушка з ниткою ABS пластика [30]

Після остаточного вибору технології 3D друку і матеріалу необхідно підготувати 3D моделі в форматі STL до друку за допомогою програми слайсера. Слайсер в своєму функціоналі має можливість поділу моделі на шари, а також створення «підтримок» чи інших допоміжних деталей, які після друку будуть відділені від основної деталі. Окрім створення додаткових елементів слайсер дає змогу налаштувати режим друку: температуру сопла, температуру стола, швидкість друку та інші. Деталі прототипу були виготовлені на 3D принтері моделі CreatBot F430, зображений на рисунку 3.3.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 3.3 – 3D принтер CreatBot F430 (620×485×680 мм) [29]

Після друку на 3D принтері була проведена фінішна обробка деталей, яка передбачала механічне видалення «підтримок» і припасування деталей шляхом слюсарної обробки. Зібрана конструкція з виготовлених деталей зображена на рисунку 3.4.

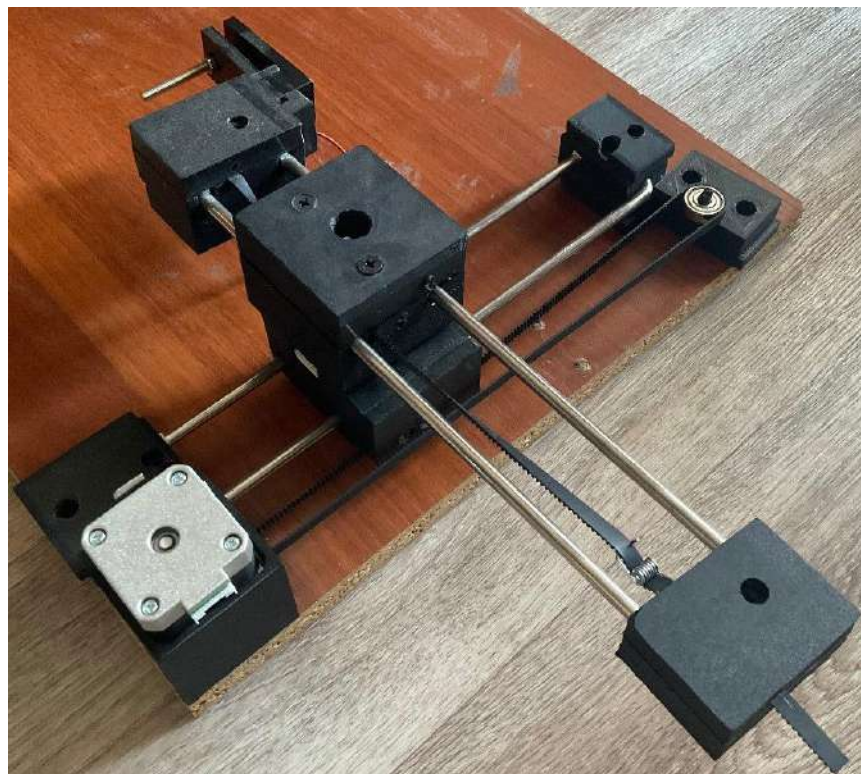


Рисунок 3.4 – Готова конструкція верстата

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
54

Крім деталей виготовлених на 3D принтері для складання механічної прототипу використовувались покупні комплектувальні вироби: сталеві стрижні, стандартні кріпильні вироби.

Підключення електронних модулів

Для ініціалізації плати доповнення необхідно закоротити піни «EN/GND» [31], на рисунку 3.5 обведені червоною пунктирною лінією. Це було реалізовано за допомогою джампера, після чого плата почала працювати.

Як вказано раніше, для зручності використання верстата пересічним користувачем клеми до яких під'єднується живлення доповнено конектором з роз'ємом. До конектора було припаяно дроти, далі їх було закріплено на стандартному конекторі плати доповнення з відповідними полюсами.

Драйвер A4988 під'єднується до плати доповнення, таким чином, щоб позначені на платі доповнення виводи A1, A2, B1, B2 співпадали з відповідними на драйвері для крокового двигуна, область підключення показана на рисунку 3.5 чорною пунктирною лінією.

Кроковий двигун під'єднується до плати доповнення в області виділеній синьою пунктирною лінією. Обрані мною крокові двигуни йдуть в комплекті з дротами для підключення. На одному кінці ці дроти мають роз'єм для під'єднання до двигуна, а на іншому штекери для під'єднання до плати доповнення. Зазвичай ці дроти червоного, зеленого, жовтого та синього кольорів, і відповідають послідовно виводам A2, A1, B1, B2 [33]. Саме в такому порядку необхідно виконати підключення, інакше крокові двигуни будуть обертатися не за вказівками G-code.

Сервопривід має три виводи: живлення, земля та вивід для вхідного цифрового сигналу. Вони під'єднуються до плати доповнення наступним чином: живлення під'єднується до виводу плати доповнення «5V», земля – до «GND», а цифровий сигнал, який керує обертанням сервоприводу [34] передається через пін «Z+», область підключення показано на рисунку 3.5 зеленою пунктирною лінією

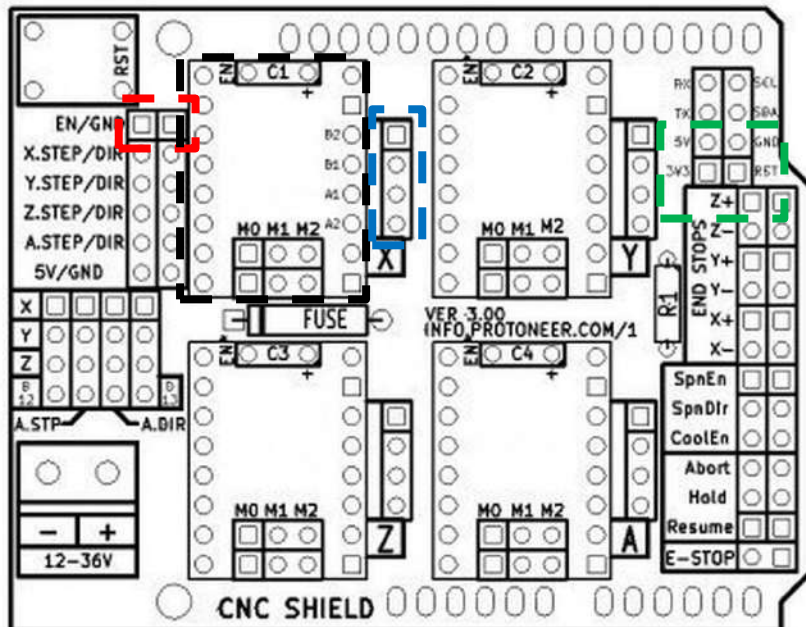


Рисунок 3.5 – Области підключення електронних модулів [31]

3.2 Налаштування прототипу

Налаштування крокового двигуна

Для коректної роботи верстата, а саме силової його частини, необхідно за допомогою підстроєчного резистору на драйверах крокового двигуна налаштувати вхідну напругу V_{ref} згідно технічним умовам двигуна. Це важливо тому що надмірна сила струму може перегріти двигун, що може призвести до пошкоджень і в подальшому, до зупинки роботи крокового двигуна. Іншою причиною для встановлення необхідного значення V_{ref} є те що, тільки при правильному значенні кроковий двигун може задовольняти параметрам вказаних в його технічних характеристиках. Для того щоб обчислити вхідну напругу, що буде обмежувати силу струму, яка подається на кроковий двигун ми скористаємося формулою з технічної документації драйвера A4988 [32]:

$$V_{ref} = I_{max} 8R_s ,$$

де I_{max} - це струм потрібний для коректної роботи крокового двигуна, для крокового двигуна 17HS4401 $I_{max}=1.7$ А, R_s - опір на резисторах обмеження струму драйвера крокового двигуна A4988, $R_s=0.1$ Ом.

$$V_{ref} = 0.748 \text{ В.}$$

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

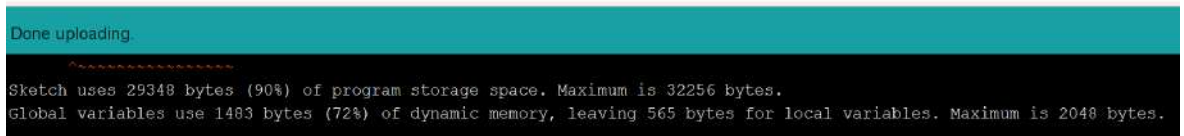


Рисунок 3.7 – Успішне завантаження програми на контролер

Після цього необхідно налаштувати конфігурації верстата через програму LaserGRBL. Вона дозволяє налаштувати швидкість переміщення, максимальний діапазон переміщення по осях. Приклад конфігурації, яку було завантажено на плату показано на рисунку 3.8.

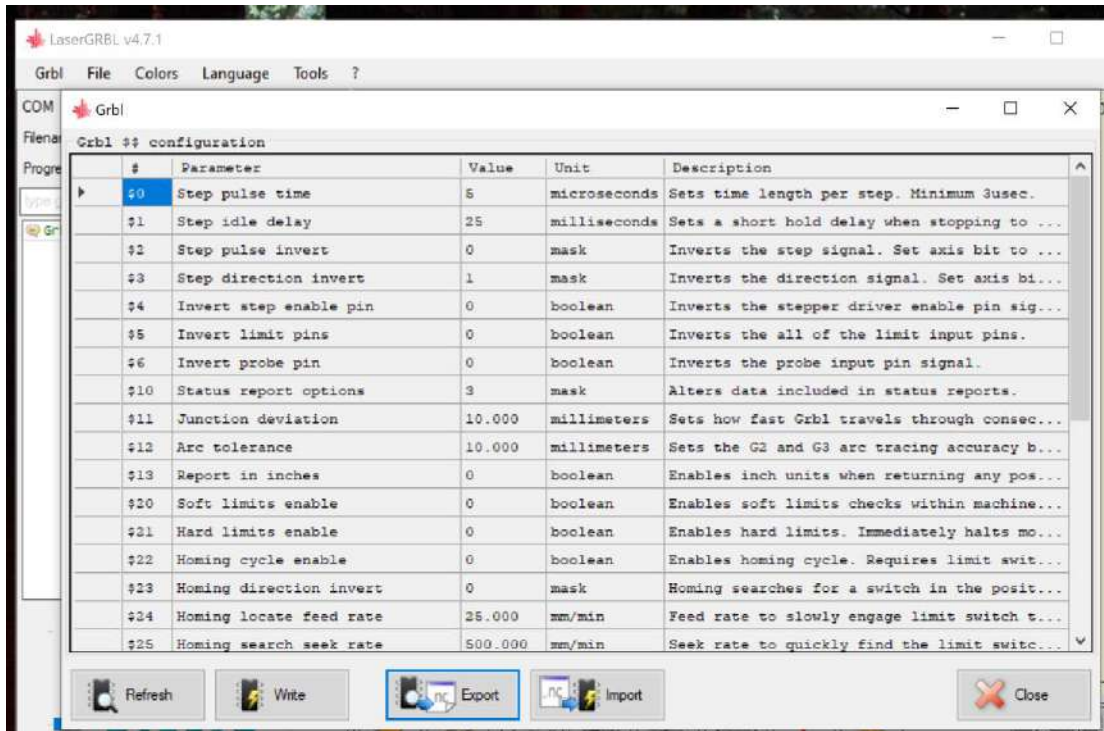


Рисунок 3.8 – Приклад конфігурації верстата

Саме з цією конфігурацією буде проводитися перший тест, а потім в разі необхідності конфігурацію буде змінено.

3.3 Тестування роботи прототипу

Тестування розпочалося з перевірки правильності виконання простих дій. Під'єднавши верстат до ноутбука з встановленою програмою транслятору G-code виконав переміщення рухомої частини верстата на 130 мм по осі поперечної направляючої. На рисунку 3.10 можна побачити початкове положення верстата, на рисунку 3.11 початкове положення за даними програми.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

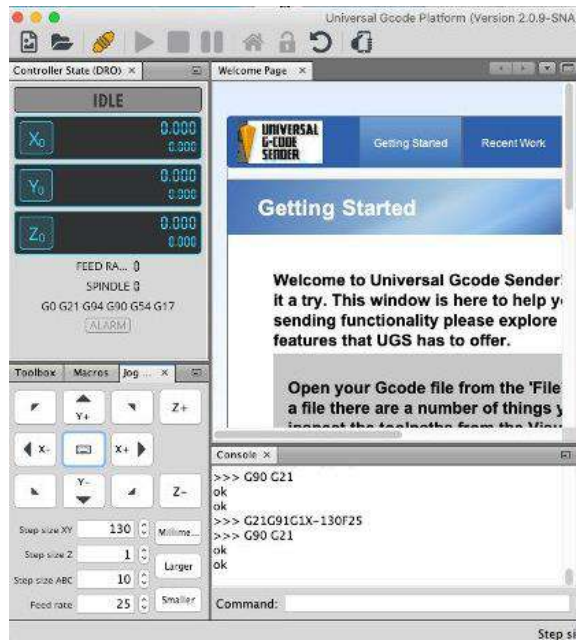


Рисунок 3.10 – Початкове положення за даними програми

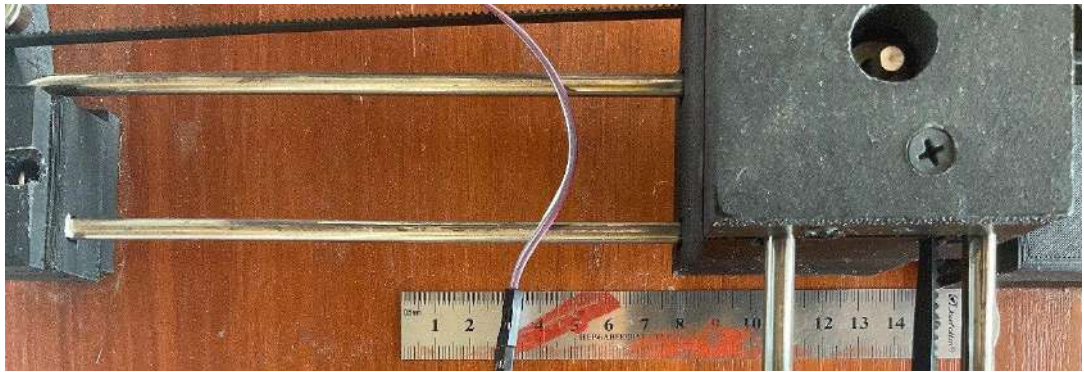


Рисунок 3.11 – Початкове положення верстата

На рисунку 3.12 та 3.13 можна побачити кінцеві положення верстата.

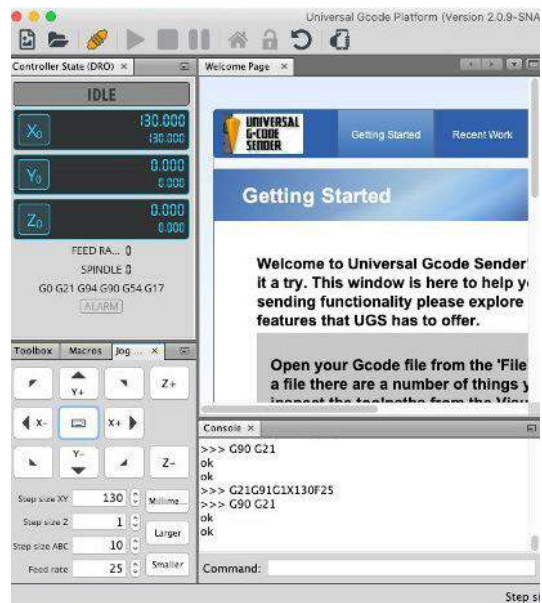


Рисунок 3.12 – Кінцеве положення за даними програми

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

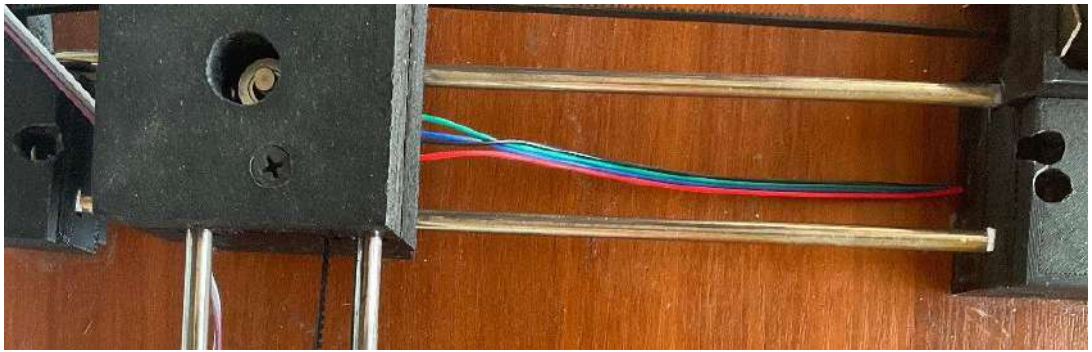


Рисунок 3.13 – Кінцеве положення верстата

Як можна побачити з рисунків приведених вище прості дії верстат виконує правильно, згідно з даними, що вказані в програмі верстат пересунувся на 130 мм, ідентичні дані маємо за результатом експерименту. Отже, перший тест завершено успішно.

Тестування проводилося наступним чином: в графічному редакторі створено картинку у векторному форматі на якій присутні лише лінії, зберіг її у форматі SVG, рисунок 3.14.

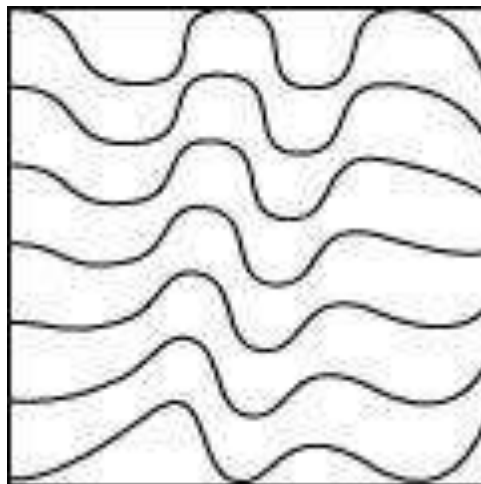


Рисунок 3.14 – Лінійна картинка для тестування

Далі за допомогою програми LaserGRBL згенерував з картинки G-code. В режимі симуляції транлював G-code на пристрій. Симуляція минула без помилок. Підключив верстат до комп'ютера. На робочій поверхні зафіксував папір, на місці для встановлення шпинделя встановив кулькову ручку. Почав трансляцію G-code за допомогою Universal G-code Sender. Результат тестування можна побачити на рисунку 3.15.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

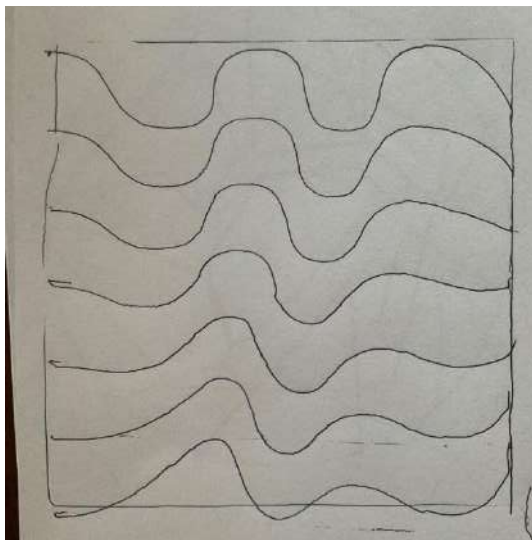


Рисунок 3.15 – Результат тестування

Даний тест було проведено декілька разів з різними файлами G-code. В першому тесті було перевірено як фрезерний верстат працює з кодом, який представляє плавні лінії.

В одному з тестів було перевірено, як верстат працює з кодом, який представляє коло, всередині якого знаходять опуклі та впуклі багатокутники, зображення векторного формату з якого був згенерований G-code можна побачити на рисунку 3.16, на рисунку 3.17 – результат другого тесту.

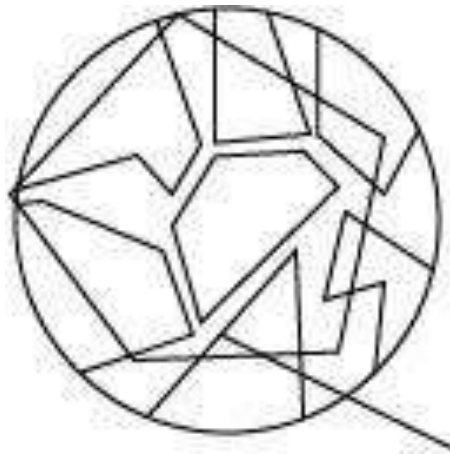


Рисунок 3.16 – Картинка другого тестування

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

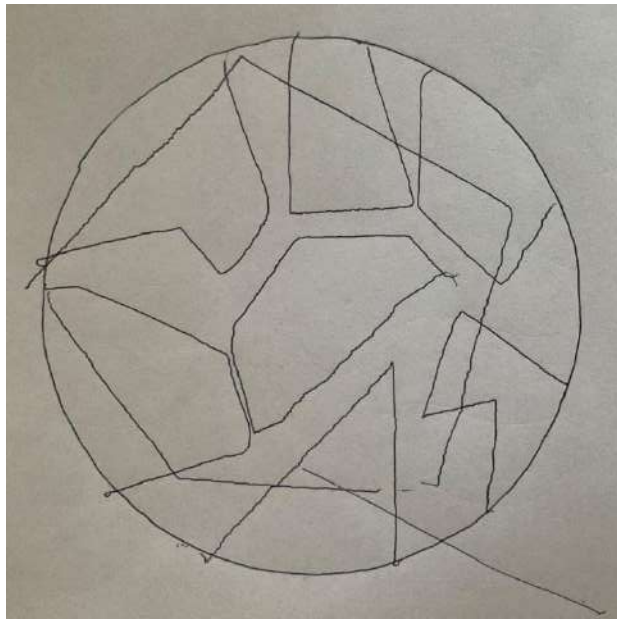


Рисунок 3.17 – Результат другого тестування

За результатами тестування можна було виміряти допуск точності переміщення, який склав 3мм.

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
62

ВИСНОВКИ

Отже в ході виконання дипломного проєкту:

1. Було досліджено світовий ринок існуючих фрезерних верстатів з ЧПУ. Виконаний аналітичний огляд показав, що існує нагальна потреба у спрощенні конструкції верстата та його здешевленні.
2. Спроентовано конструкцію пристрою. Запропонована в проєкті конструкція верстата з ЧПУ має такі особливості: присутня одна поперечна направляюча рейка та одна повздовжня, загальна конструкція не велика за розмірами в висоту, зроблено лише місце з затискачем для шпинделя, оскільки завданням не було обумовлено виконання шпинделя з патроном для фрези.
3. У результаті обґрунтування вибору апаратного та програмного забезпечення верстата прийнято такі рішення: підібрано електронні модулі потрібні для коректної роботи пристрою: контролер Arduino UNO, крокові двигуни 17HS4401, драйвери до крокових двигунів A4988, плата доповнення CNC Shield V3, сервопривід SG-90, блок живлення SYS1428-1812W2E 12V/2A; підібрано ПЗ на роль генератора, симулятора - LaserGRBL та транслятора G-code – Universal G-code Sender, вбудованим ПЗ стало grbl 0.9i.
4. Виготовлено прототип, згідно технічного завдання, яке було створено на початку розробки. Вартість розробки верстата перевершила очікування і стала навіть дешевшою за аналогічні верстати з ЧПУ, що представлені на ринку. Вартість розробки за підрахунками становить 1747 грн, тоді як найдешевший фрезерний верстат з ЧПУ, що був розглянутий коштує 4500 грн. Можна зробити висновок, що виробництво таких верстатів буде ще дешевшим, за рахунок того, що близько 200 гривень, було витрачено на електронні модулі, які не приймали участь в тестуванні роботи прототипу;
5. Результати тестування прототипа верстата показали, що розроблений верстат має невисоку точність обробки: +3 мм. Цей параметр можна

					РА81.845931.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		63

вдосконалити за рахунок зменшення швидкості обробки, але мною було прийнято рішення розробити верстат, що має високу швидкість обробки: 1 см/с, а отже, може мати вищий обіг деталей, що оброблюється. Цей фактор відіграє провідну роль в показниках ефективності виробництва.

6. Зроблено висновок щодо галузі застосування відповідно до технічних характеристик верстата. Даний фрезерний верстат з ЧПУ придатний до використання в галузі освіти та науки, персональному використанні та використанні малим бізнесом з відповідними масштабами виробництва.
7. В ході виконання поставленої задачі автор покращив свої навички роботи з САПР SolidWorks, отримав досвід програмування контролерів, а також засвоїв практичні навички роботи з такими електронними модулями як крокові двигуни, сервоприводи та контроллери.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Фрезерний верстат // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш ; за заг. ред. Р. А. Шмига. — Львів, 2010. — С. 204.
2. Базові поняття про числове програмне управління // АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ УПРАВЛІННЯ В ГКС // Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, Б.Б. Самотокін, М.М. Поліщук, М.М. Ткач, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко; -КП, 2005. -Розділ 5.2.1-
<http://tc.kpi.ua/content/book2005/book3/glav0521/0521.html>
3. Типи верстатів з ЧПУ [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://get-it-made.co.uk/guides/cnc-machining-guide/>
4. Переваги та недоліки обробки з ЧПУ [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://learnmechanical.com/cnc-machine/>
5. Фрезерний верстат 3018 pro [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.aliexpress.com/item/1005004230009466.html>
6. Гравірувальний верстат TTS-55 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.aliexpress.com/item/1005003943108813.html>
7. Фрезерний верстат з ЧПУ Кречет 6090 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://cncmachines.com.ua/stanok-chpu/frezerniy-standok-chpu/krechet-6090.html>
8. Фрезерний верстат з ЧПУ Ястреб 6090-20 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://cncmachines.com.ua/stanok-chpu/frezerniy-standok-chpu/yastreba-6090-200.html>
9. Фрезерний верстат з ЧПК GRIZLI Profi [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://grizlicnc.com.ua/tovar-grizli-profi-1500x2500mm>
10. Верстат з ЧПУ CNCROM CNC 8060Z [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://cnc.prom.ua/p1039528157-frezerno-gravirovalnyj-standok.html>

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
65

11. Фрезерний верстат з ЧПУ MSF2060 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://mirstankov.com/catalog/frezernyj-standok-s-chpu-msf2060/>
12. Верстат з ЧПК Haas GM-2 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.haascnc.com/machines/vertical-mills/gantry/models/gm-2.html>
13. Кільцевий ремінь GT-2 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://cncls.com.ua/p695230787-remin-gt2-6mm.html>
14. Підшипник [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://cncls.com.ua/p884122084-pidshipnik-694zz-4x11x4.html>
15. Шків під ремінь типу GT-2 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://cncls.com.ua/p418002876-shkiv-zubiv-gt2.html>
16. Мікроконтролер NodeMCU ESP8266 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://evse.com.ua/lolin-v3-nodemcu-lua-wi-fi-esp8266-ch340-plata-razrabotchika>
17. Мікроконтролер Arduino Uno з чіпом ATmega [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://arduino.ua/prod676-arduino-uno-rev3>
18. Мікроконтролер Raspberry Pi 4 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/326183062/p326183062/>
19. Плата доповнення [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://uamper.com/index.php?route=product/product&product_id=378
20. Конектор [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://evse.com.ua/razem-gnezdo-pitaniya-dc005-55x21mm>
21. Кроковий двигун 28BYJ48 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/312380497/p312380497/>
22. Кроковий двигун 17H4401 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://uamper.com/index.php?route=product/product&product_id=267
23. Драйвер A4988 для крокового двигуна [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/284369968/p284369968/>

24. Сервопривід SG-90 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://flymod.net/item/domestic_sg90_towerpro_9
25. Сервопривід MG-995 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.robostore.com.ua/detali-i-komplektuyushie-dlya-robototehniki/servoprivody/servoprivod-mg995-tower-pro-360/>
26. Блок живлення SYS1428-1812W2E 12V/2A [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://belka-izi.com/p1444987767-setevoj-adapter-12v.html>
27. PlanetCNC [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://mellowpine.com/cnc/best-cnc-software/>
28. GRBL 0.9i [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://github.com/robottini/grbl-servo>
29. 3D принтер CreatBot F430 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://3ddevice.com.ua/product/3d-printer-creatbot-f430/>
30. Котушка з ниткою ABS пластика [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://3ddevice.com.ua/product/abs-пластик-klema-175мм/>
31. CNC Shield V3 datasheet [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.handsontec.com/dataspecs/cnc-3axis-shield.pdf>
32. A4988 datasheet [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/338780/ALLEGRO/A4988.html>
33. 17HS4401 datasheet [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1131976/MOTIONKING/17HS4401.html>
34. SG-90 datasheet [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf
35. Сила тертя ковзання між сталлю і пластиком [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.tribology-abc.com/abc/cof.htm>

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

РА81.845931.001 ПЗ

Лист
67

Додаток А

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
НА КУРСОВИЙ ПРОЄКТ
“Фрезерний верстат з ЧПУ”

Київ 2022

					РА81.845931.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		68

1 НАЗВА, ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

Розробка фрезерного верстата з ЧПУ. Підставою до виконання є завдання на дипломний проєкт.

2 ВИКОНАВЕЦЬ

Виконавець – студент групи РА-81 Гончарук Костянтин Григорійович.

3 МЕТА ВИКОНАННЯ І ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

Розробка фрезерного верстата з ЧПУ. Виріб буде призначений для фрезерування та гравірування оброблюваного матеріалу: дерево, пластик.

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1 Вимоги призначення:

Напруга живлення 12 В;

Розмір робочої області: 150x150x10 мм

Габаритні розміри пристрою: 370x645x114 мм

Порт підключення: USB

Вбудоване програмне забезпечення: GRBL

4.2 Вимоги життєздатності та стійкості до зовнішніх впливів і чинників:

Кліматичне виконання УХЛ 4 за ГОСТ 15150-69. Захист від механічних пошкоджень М13 за ГОСТ 17516.1-90.

4.3 Вимоги до конструкції:

Зовнішньо прилад являє фіксовані кріплення поперечної направляючої по якій може переміщатися повздовжня направляюча. На кінці повздовжньої направляючої місце для затискання швинделя, що й буде робити обробку.

					<i>РА81.845931.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		69

4.4 Вимоги уніфікації та стандартизації:

Використовувати уніфіковану та стандартизовану матеріальну базу.

4.5 Вимоги до дизайну і ергономіки:

- 1) В корпусі повинні бути отвори направляючих рейок;
- 2) В корпусі має бути місце для фіксації крокових двигунів;
- 3) Корпус складається з дошки, що являється робочою поверхнею. На дошці саморізами фіксуються кріплення поперечної направляючої, по якій буде здійснюватись переміщення повздовжньої рейки.
- 4) На кінці повздовжньої рейки буде передбачено місце для кріплення

4.6 Вимоги до експлуатації, зручності технологічного обслуговування та ремонту:

Експлуатація верстат можлива після підключення контролера до комп'ютера по USB та плати доповнення до живлення.

Для обслуговування і ремонту передбачена можливість доступу до кожного окремого електронного модуля.

4.7 Вимоги безпеки життя, здоров'я, майна громадян та охорони довкілля:

Керуватися положеннями стандартів про вимоги техніки безпеки, електробезпеки, а саме ГОСТ 1220070-75, ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 12.1.038-88.

4.8 Вимоги до транспортування і зберігання:

Транспортувати автомобільним, залізничним та авіаційним видами транспорту в упакованому вигляді. Зберігання проводиться в складському приміщенні при температурі від 0°C до +40°C і відносній вологості повітря не більше 70% та відсутності в ньому кислотних парів, які шкідливо діють на матеріали.

					<i>РА81.845931.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		70

4.9 Якості технічного рівня

Відповідає світовому рівню.

5 ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ, МАТЕРІАЛІВ І ПКВ

Обрано матеріал ABS для виготовлення конструкції та сталеві направляючі.

6 ВИМОГИ ДО КОНСЕРВАЦІЇ, ПАКУВАННЯ І МАРКУВАННЯ

Пакування та маркування виконується за ДСТУ 4171-2003. Консервація не передбачена. Упаковка повинна мати достатню міцність, щоб зберегти виріб при транспортуванні.

7 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Завдання на дипломний проект;

Зміст;

Вступ;

1. Фрезерні верстати з ЧПУ;
2. Конструкторська розробка фрезерного верстата;
3. Прототип фрезерного верстата;

Висновки;

Перелік джерел посилань;

Додаток А Технічне завдання

Додаток Б Специфікації

Виконавець

Гончарук К. Г.



Керівник

Нелін Є. А.



					РА81.845931.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		71

