

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська дипломна робота на тему:
«МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГРАВІРУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА З ЧИСЛОВИМ
ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ»

Виконав: студент 4 курсу, гр. ЕМ-22мс
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка)

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Ярослав ЯЩУК

(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

Керівник: к.т.н., доц. кафедри КЕМСК

Дмитро ПРОЦЕНКО

(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

« 28 » 05 2024 р.

Рецензент:

к.т.н., доц. каф. ЕСЕМ

Олександр БАБЕНКО

(прізвище та ініціали)

« 10 » 06 2024 р.

Допущено до захисту

Зна. кафедри

« 22 » 05 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

Вінницький національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 – Електрична інженерія

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма «Електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КЕМСК

к.т.н., доц. Микола МОШНОРИЗ

“ 11 ” 03 20 24 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ящуку Ярославу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація електропривода гравірувального верстата з числовим програмним керуванням

Керівник роботи Проценко Дмитро Петрович, к.т.н., доц. каф. КЕМСК

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 11 ” 03 20 24 року № 80

2. Термін подання студентом роботи _____

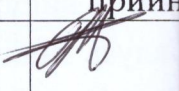
3. Вихідні дані до роботи: об'єкт модернізації – електропривод гравірувального верстату з числовим програмним керуванням, робоча область: довжина - 20 см, ширина – 20 см, потужність лазера 80 Вт,

4. Зміст текстової частини: Вступ 1. Патентно-інформаційне дослідження. 2. Аналітичний огляд. 3. Розробка гравірувального електроприводу верстату. 4. Конструювання та програмування верстату. 6. Охорона праці. Висновки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Аналіз наявного гравірувального верстату. Дослідження ринку гравірувальних верстатів. Задачі проектування. Розробка загальної конструкції. Загальна вартість всіх компонентів. Розрахунок двигунів. Конструювання та програмування верстату.

6. Консультанти розділів роботи

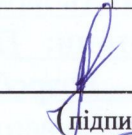
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконав прийняв
Спеціальна частина	к. т. н., доц. каф. КЕМСК Проценко Д. П.	 11.03.2024	 28.05.2024
Охорона праці	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	 11.03.2024	 28.05.2024

7. Дата видачі завдання 11.03.24

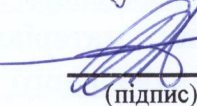
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	11.03.2024	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	21.05.2024	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	28.05.2024	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	28.05.2024	
5	Попередній захист БДР	28.05.2024	
6	Нормоконтроль БДР	28.05.2024	
7	Рецензування БДР	10.06.2024	
8	Захист БДР	11.06.2024	

Студент

 Ясун Г. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

 Проценко Д. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ящук Я. В. "Модернізація електропривода гравірувального верстата з числовим програмним керуванням". Бакалаврська дипломна робота. – Вінниця: ВНТУ. 2024. – 121 с. Бібліог.: 43. Іл.: 48. Табл.: 10.

Ця дипломна робота присвячена розробці та виготовленню настільного гравірувального верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК) для навчальних цілей. У рамках роботи було проведено всебічне дослідження історії розвитку верстатів ЧПК, а також детальне ознайомлення з основними термінами і поняттями технології гравірування.

Було проведено аналіз ринку настільних верстатів з ЧПК, який виявив високу вартість більшості комерційних моделей. Це стало мотивацією для створення власного верстата, що дозволило знизити витрати і адаптувати конструкцію до специфічних потреб освітнього процесу. У процесі розробки були обрані найбільш підходящі електронні компоненти, такі як контролер Arduino, драйвери крокових двигунів A4988, блок живлення Mean Well 200W LRS-200-24 і лазер LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V. Для програмного забезпечення було обрано GRBL та LaserGRBL, які забезпечують ефективне керування верстатом.

Виготовлення верстата включало використання алюмінієвого профілю V-slot для забезпечення міцності та легкості конструкції. Після завершення збірки були проведені тестові гравірування, які підтвердили високу точність і стабільність роботи верстата, що робить його ідеальним для використання у навчальних цілях.

Таким чином, дана робота демонструє можливість створення ефективного, надійного і економічного настільного гравірувального верстата з ЧПК, який відповідає сучасним вимогам та потребам освітнього процесу.

ABSTRACT

Yashchuk Y. V. "Modernization of the electric drive of the engraving machine with numerical software control". Bachelor thesis. – Vinnytsia: VNTU. 2024. - 93 p. Bibliog.: 121. Illustration: 48. Table: 10.

This thesis is devoted to the design and manufacture of a CNC desktop engraving machine for educational purposes. As part of the work, a comprehensive study of the history of the development of CNC machines was carried out, as well as a detailed introduction to the basic terms and concepts of engraving technology.

An analysis of the CNC desktop machine market was conducted, which revealed the high cost of most commercial models. This became the motivation for creating our own machine, which made it possible to reduce costs and adapt the design to the specific needs of the educational process. During the development process, the most suitable electronic components were selected, such as Arduino controller, A4988 stepper motor drivers, Mean Well 200W LRS-200-24 power supply and LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V laser. For the software, GRBL and LaserGRBL were chosen, which provide efficient control of the machine.

The production of the machine included the use of an aluminum V-slot profile to ensure strength and lightness of the structure. After the assembly was completed, test engravings were carried out, which confirmed the high accuracy and stability of the machine, making it ideal for educational use.

Thus, this work demonstrates the possibility of creating an effective, reliable and economical tabletop engraving machine from the CNC, which meets the modern requirements and needs of the educational process.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ПАТЕНТНО-ІНФОРМАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1 Історія винаходу версата з ЧПК.....	8
1.2 Впровадження комп'ютерних технологій в ЧПК.....	9
1.3 Розробка програм CAD і CAM.....	10
1.4 Ранні компактні верстати з ЧПК.....	12
1.5 Перехід до настільних верстатів з ЧПК.....	12
1.6 Загальні відомості про гравірування з використанням технології ЧПК....	15
1.7 Принципи роботи гравірувального верстату з ЧПК.....	15
1.8 Види гравірування з ЧПК.....	16
1.9 Матеріали, що використовуються при гравіюванні.....	19
1.10 Преваги та недоліки гравірування з ЧПК.....	21
2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	24
2.1 Аналіз наявного верстату з ЧПК.....	24
2.2 Принципи та критерії оцінювання інших верстатів з ЧПК.....	26
2.3 Вибір конструктивного рішення механічної частини гравірувального верстата з ЧПК.....	29
2.4 Вихідні положення та параметри розробки.....	40
2.5 Розробка та аналіз ТЗ.....	41
3. РОЗРОБКА ГРАВІРУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА.....	42
3.1 Розроблення загальної конструкції верстата.....	42
3.2 Вибір електронних модулів.....	47
3.3 Вибір програмного забезпечення.....	61
3.4 Розрахунок двигуна.....	64
4. КОНСТРУЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ВЕРСТАТУ.....	66
4.1 Складання рами.....	66
4.2 Програмування верстату та підключення.....	71
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	76

5.1 Технічні рішення з безпечної організації обслуговування електрообладнання.....	76
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць під час виконання робіт.....	76
5.1.2 Електробезпека.....	79
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії.....	80
5.2.1 Мікроклімат.....	80
5.2.2 Склад повітря робочої зони.....	81
5.2.3 Виробниче освітлення.....	82
5.2.4 Виробничий шум.....	83
5.3 Пожежна безпека.....	84
ВИСНОВКИ.....	87
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	89
Додаток А Технічне завдання.....	94
Додаток Б Графічна частина.....	98
ДОДАТОК В Протокол перевірки дипломної роботи на наявність текстових запозичень.....	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

Зважаючи на постійну потребу у гравіруванні матеріалів у різних сферах виробництва, особливо для малих підприємств, розробка гравірувального верстата з ЧПК стає актуальною. Цей процес традиційно є високовартісним, що обмежує доступність для багатьох користувачів. Однак, завдяки технології ЧПК, вартість гравірування зменшилась, але наразі на ринку спостерігається тенденція до зниження розмірів гравірувальних верстатів, щоб задовольнити попит на обробку менших деталей. Це стає важливим, оскільки традиційні гравірувальні верстати не завжди ефективні для роботи з дрібними деталями, тоді як дорого вартісні верстати з високою точністю не завжди відповідають бюджету середнього користувача.

Електропривод наявного гравірувального верстату з ЧПК являється морально та технічно застарілим. Існуючий електропривод не задовольняє вимоги швидкості та точності. Конструкція переповнена недоліками, які заважають нормальній роботі та обмежують розміри потенційних виробів. При конструюванні наявного верстату з ЧПК було застосовано застарілі та не ефективні методи збірки, вибору матеріалів для конструкції, вибору керуючих та направляючих елементів.

Актуальність теми модернізації електроприводу гравірувального верстату з ЧПК обумовлена декількома ключовими факторами:

- **Розвиток навиків студентів:** Робота з програмуванням та опанування електроприводом верстатів з ЧПК дозволить студентам розширити свої технічні знання та практичні навички в області механіки та автоматизації.
- **Підвищення продуктивності:** Модернізація забезпечує оптимальні умови для гравірування, підвищуючи точність і швидкість обробки матеріалів, що важливо для освітнього процесу та розвитку практичних навичок у студентів.

- Зниження трудомісткості: Модернізація зменшує потребу в ручній праці, що є актуальним в умовах розвитку та розповсюдження технології ЧПК.

- Технологічний прогрес: Впровадження сучасних технологій у навчальний процес сприяє підготовці студентів до реальних умов праці в сучасній промисловості.

Метою дослідження є забезпечення надійної та ефективної роботи гравірувального верстату з ЧПК шляхом модернізації його електроприводу для використання в навчальному процесі.

У відповідності із поставленою метою необхідно вирішити наступні завдання:

- Дослідження теми створення перших верстатів з ЧПК;
- Вивчення понять та термінології гравірувальних верстатів з ЧПК;
- Аналіз наявного верстату з ЧПУ та подібних верстатів, що представлені на ринку;
- Розгляд вимог до гравірувального верстату з ЧПК у навчальних умовах, оцінка наявних ресурсів та умов експлуатації;
- Розробка модернізованої системи керування електроприводом гравірувального верстату, визначення необхідних компонентів системи (контролери, драйвери тощо).

Об'єкт дослідження: конструкційні особливості та системи керування електроприводом гравірувального верстату.

Предмет дослідження: розробка електроприводу гравірувального верстату з ЧПК для навчальних цілей.

Методи дослідження: використання теорії електричних машин, теорії управління, програмування мікроконтролерів.

Отже, цей проєкт зосереджений на модернізації електроприводу верстата, який буде мати більшу область обробки деталей, не складатиме великої вартості і буде виконувати роль навчального стенду. Розроблюваний верстат буде відносно компактним, з максимально допустимою робочою

областю, та з невеликою потужністю, але з універсальним застосуванням. Планується, що гравірувальний верстат з ЧПК буде корисним у галузях, де важлива не тільки точність, але й доступність, таких як освіта, мистецтво та малий бізнес.

1 ПАТЕНТНО-ІНФОРМАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Історія винаходу версата з ЧПК

Період зародження технології ЧПК у 1950-1960-их роках відзначається проривними спробами використання комп'ютерів для керування верстатами з числовим програмним керуванням. У 1940-х і на початку 1950-х років відбулися перші дослідження з використання комп'ютерів для керування верстатами. У 1949 році Массачусетський технологічний інститут (MIT) запустив проект по створенню машини з числовим програмним керуванням. В 1949 році військово-повітряні сили США профінансували розробку цієї фірмою верстата для контурного фрезерування складних за формою деталей авіаційної техніки. Самостійно виконати таке складне завдання фірма не мала можливості, тому звернулась за допомогою до Масачусетського технологічного університету. Це співробітництво продовжувалось недовго. Вже в 1950 році університет викупив компанію по виробництву фрезерних верстатів Hydro-Tel та відмовився від співробітництва з Parsons Inc. Університет заключив самостійний контракт з військово-повітряними силами США на створення фрезерного верстата з програмним керуванням і вже у вересні 1952 року верстат, що управлявся від перфострічки, вперше продемонстрували широкому загалу. Все ж він був досить складний і не міг використовуватись у виробничих умовах. Перший серійний пристрій з числовим програмним керуванням був створений у 1954 році, а з 1955 року почав встановлюватись на верстатах [1].

У другій половині 1950-х років компанії, такі як MIT, General Electric та інші, почали впроваджувати технологію ЧПК в промислове виробництво [2]. Перші застосування були зосереджені в основному на авіаційній промисловості та виготовленні складних компонентів. У цей період комп'ютери були досить великі, дорогі та складні у використанні. Крім того, програмування верстатів ЧПК вимагало спеціалізованих знань та навичок.

Першими вітчизняними верстатами з числовим програмним керуванням для промислового використання були токарно-гвинторізний верстат 1К62ПУ та токарно-карусельний 1541П. Вони були створені в першій половині 60-х років. Потім були розроблені вертикально-фрезерні верстати на базі верстата мод. 6Н13 з системою програмного керування «Контур-3П». В наступні роки найбільше поширення для токарних верстатів отримали системи числового програмного керування вітчизняного виробництва 2Р22 та «Електроніка НЦ-31».

Незважаючи на виклики, технологія ЧПК почала демонструвати свій потенціал. Вона дозволяла автоматизувати виробничі процеси, зменшувати час виготовлення та підвищувати точність обробки. Період зародження технології ЧПК у 1950-1960-их роках був періодом дослідження та впровадження інновацій в промислове виробництво. Ці ранні досягнення стали фундаментом для подальшого розвитку та поширення технології ЧПК, яка з часом стала невід'ємною частиною багатьох галузей промисловості.

1.2 Впровадження комп'ютерних технологій в ЧПК

У 1977 році одночасно було випущено три «мікрокомп'ютери» — Apple II, PET 2001 і TRS-80 — а в січні 1980 року журнал Byte оголосив, що «настала ера готових персональних комп'ютерів». З цього моменту розвиток швидко пішов угору, з гострою конкуренцією між лідерами Apple та IBM. У 1984 році Apple випустила класичний Macintosh (рисунок 1.1), перший персональний комп'ютер масового виробництва з мишею та графічним інтерфейсом користувача (GUI) .



Рисунок 1.1 – Персональний комп'ютер Apple Macintosh 1984 року

Macintosh був оснащений програмами MacPaint і MacWrite (які популяризували програми WYSIWYG — what you see is what you get (що бачиш, те й отримуєш)). Наступного року завдяки партнерству з Adobe було запущено нові графічні програми, що створило основу для автоматизованого проектування (CAD) і автоматизованого виробництва (CAM) .

1.3 Розробка програм CAD і CAM

Посередниками між комп'ютером і верстатом з ЧПК є дві основні програми: CAD і CAM. Перш ніж ми заглибимося в коротку історію двох, ось огляд. Програми CAD дозволяють цифровому вигляді створювати, модифікувати та надавати спільний доступ до 2D або 3D об'єктів.

Програми CAM дозволяють вибирати інструменти, матеріали та інші параметри для роботи з різання. Незважаючи на те, що ви виконали всю свою роботу в CAD і знаєте, як ви хочете, щоб ваша деталь виглядала, фрезерний верстат не знає розміру чи форми фрезерного інструменту, який ви хочете використовувати, чи особливостей розміру чи типу вашого матеріалу.

Програми CAM використовують модель, створену вами в CAD, для розрахунку руху інструменту через матеріал. Ці обчислення руху, які називаються траєкторіями , автоматично генеруються програмою CAM для досягнення максимальної ефективності. Деякі сучасні CAM-програми також можуть створювати на екрані моделювання того, як машина розрізатиме

матеріал вибраним вами інструментом. Запуск симуляції замість повторного різання деталі заощаджує знос інструменту, час обробки та матеріал.

Коріння сучасної CAD сягає 1957 року та програми під назвою Pronto, створеної комп'ютерним науковцем Патріком Дж. Ханратті, визнаним батьком CAD /CAM. У 1971 році він також розробив широко поширену програму ADAM, інтерактивну систему графічного дизайну, креслення та виробництва, написану мовою Fortran і призначену для повсюдного використання на машинах. Університет Каліфорнії в Ірвайні, де він тоді проводив дослідження, стверджує : «За оцінками галузевих аналітиків, 70 відсотків усіх доступних сьогодні тривимірних механічних систем CAD/CAM простежують своє коріння до оригінального коду Ханратті».

У 1960 році між двома програмами Ханратті була розроблена новаторська програма Івана Сазерленда Sketchpad, перша в історії, у якій використовувався повний графічний інтерфейс користувача.

Примітно, що AutoCAD (рисунок 1.2) від Autodesk, представлений у 1982 році, був першою програмою 2D CAD, створеною спеціально для персональних комп'ютерів, а не для комп'ютерів звичайних розмірів на той час. До 1994 року AutoCAD R13 зробив програму сумісною з 3D-проектами. У 1995 році було випущено SolidWorks, розроблену з явною метою зробити дизайн CAD більш доступним для широкої верстви населення, а потім Autodesk Inventor у 1999 році, який працював, щоб бути ще більш інтуїтивно зрозумілим.

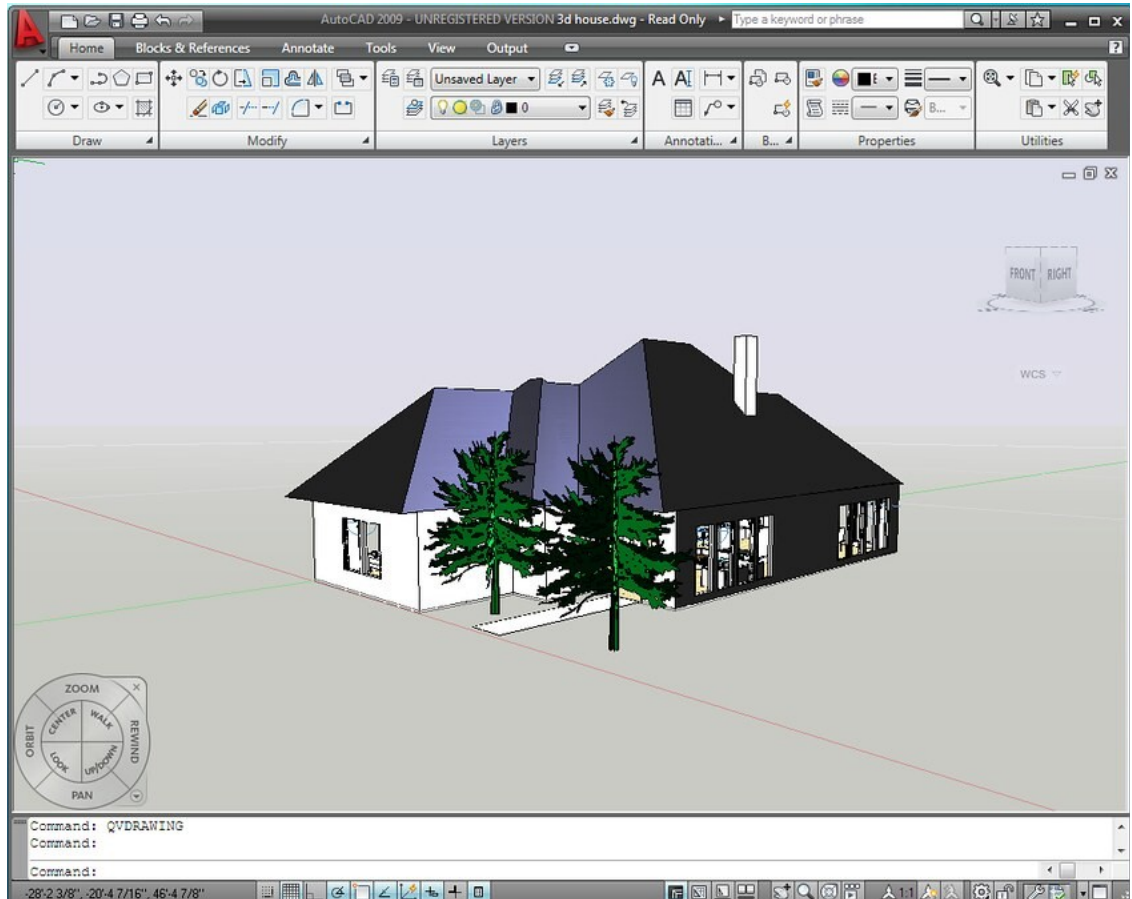


Рисунок 1.2 – AutoCAD

1.4 Ранні компактні верстати з ЧПК

Один із піонерів і творців компактних верстатів з ЧПК Тед Холл, засновник ShopBot Tools, був професором в Університеті Дьюка, а у вільний час любив будувати човни з фанери. Він шукав інструмент для полегшення різання фанери, але навіть фрези з ЧПК того часу коштували понад 50 тисяч доларів. У 1994 році він показав групі людей компактний ЧПК-станок, який він спроектував у своїй майстерні, таким чином розпочавши шлях компанії.

1.5 Перехід до настільних верстатів з ЧПК

У 2001 році Массачусетський технологічний інститут (MIT) запустив новий Центр бітів і атомів, дочірню лабораторію Медіа-лабораторії Массачусетського технологічного інституту, на чолі з далекоглядним

професором Нілом Гершенфельдом. Гершенфельд вважається одним із батьків-засновників концепції fab lab (фабрикаційної лабораторії). Центр бітів і атомів (СВА) , який фінансується нагородою Національного наукового фонду в розмірі 13,75 мільйонів доларів США за дослідження інформаційних технологій, розпочав пошуки, щоб допомогти створити мережу невеликих майстерень, які пропонуватимуть масам персональні інструменти цифрового виготовлення.

Перед тим, у 1998 році, Гершенфельд створив клас у Массачусетському технологічному інституті під назвою «Як зробити (майже) що завгодно» з наміром познайомити студентів-техніків із дорогими промисловими машинами для виробництва, але його курс привернув увагу студентів із найрізноманітнішого походження, включаючи мистецтво, дизайн та архітектуру. Це стало основою для революції в персональному цифровому виготовленні.

Одним із проектів СВА був Machines That Make (MTM) , зосереджений на розробці машин швидкого прототипування, які можна використовувати у виробничих лабораторіях. І одним із верстатів, які виникли в результаті цього проекту, був настільний фрезерний верстат з ЧПК MTM Snap (рисунок 3) студентів Джонатана Уорда, Наді Пік і Девіда Мелліса, створений у 2011 році. У корпусі з міцного пластику HDPE (вирізаного з кухонних обробних дощок) на широкоформатному фрезерному станку Shopbot з ЧПК), цей 3-осьовий фрезер працював на недорогому мікроконтролері Arduino і міг точно фрезерувати все, починаючи від друкованих плат і закінчуючи пінопластом і деревиною, і все це встановлювалося на робочому столі, було портативним і доступним.

У той час, хоча деякі виробники млинів з ЧПК, як-от ShopBot і Epilog, працювали над випуском менших і дешевших настільних версій своїх млинів, вони все ще були досить дорогими.

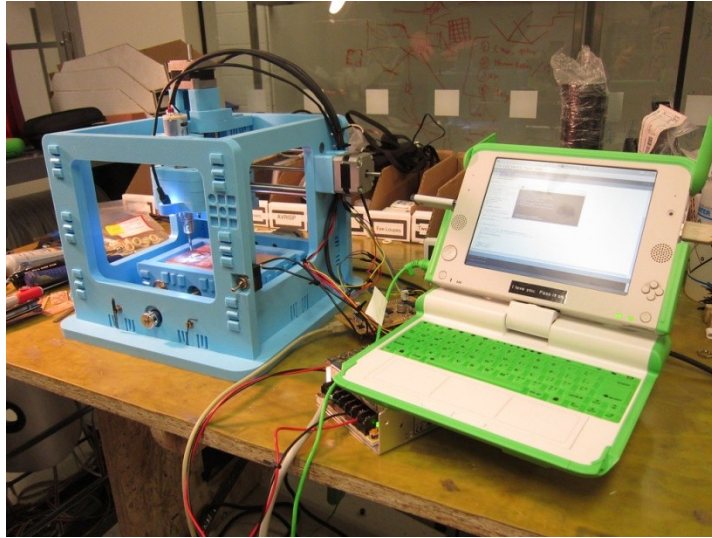


Рисунок 1.3 - Фрезерний верстат з ЧПК MTM Snap

Невдовзі після створення MTM Snap член команди Джонатан Ворд об'єднався з інженерами Майком Есте, Форрестом Гріном і вченим-матеріалом Даніель Епплстоун, щоб співпрацювати над фінансованим DARPA проектом під назвою MENTOR (Manufacturing Experimentation and Outreach), щоб «оновити клас виробництва для 21 століття.»

Команда, яка працювала в Otherlab у Сан-Франциско, перегрупувала та переглянула конструкцію машини MTM Snap, щоб створити доступний, точний, простий у використанні настільний фрезер з ЧПК, який вони назвали Othermill (рисунок 1.4), попередником Bantam Tools. Настільний фрезерний верстат для друкованих плат.

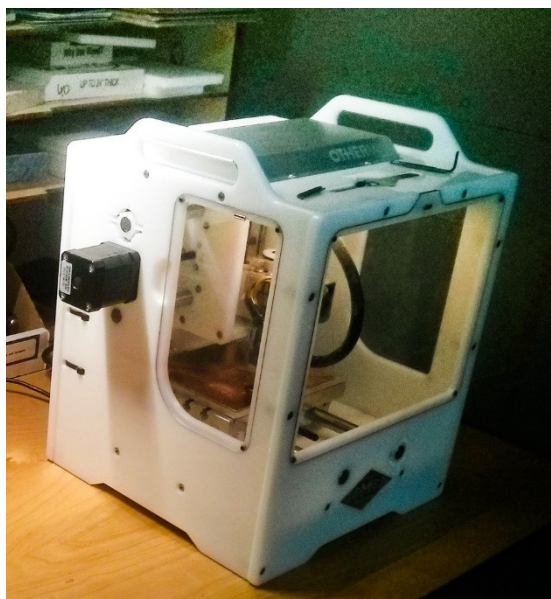


Рисунок 1.4 - Othermill

Команда Other Machine Co. запустила успішну краудфандингову кампанію в травні 2013 року. Через місяць, у червні, ShopBot Tools запустила кампанію (також успішну) для портативного верстата з ЧПК під назвою HandiBot, який передбачалося брати безпосередньо на роботу. сайти. Для обох верстатів головною перевагою було супровідне програмне забезпечення — Otherplan і FabMo відповідно — призначене для інтуїтивно зрозумілих і простих у використанні програм WYSIWYG, які роблять обробку з ЧПК доступною для широкої аудиторії. Очевидно, як свідчить підтримка обох цих проектів, громада була готова до такого типу інновацій.

1.6 Загальні відомості про гравірування з використанням технології ЧПК

Гравірування – це процес поступового видалення невеликої кількості матеріалу з поверхні по визначеному шляху. Процес залишає видимі сліди на поверхні підкладки (деталі). Гравірування з ЧПК – це сучасна версія гравірування, за допомогою якої автоматична технологія ЧПК керує інструментом для гравірування з високою точністю та прецизійним контролем. Обробка гравіювання має широкий спектр застосувань, наприклад виготовлення декору та вивісок. Крім того, він сумісний з великою різноманітністю матеріалів і є економічно ефективним процесом [3].

1.7 Принципи роботи гравірувального верстату з ЧПК

Процес гравіювання з ЧПК виглядає наступним чином:

Спочатку дизайнер створює візуалізацію візерунка гравіювання в програмному забезпеченні CAD. Машиніст повинен добре володіти CAD, щоб мати можливість створювати складні візерунки швидко й точно.

Програмне забезпечення автоматизованого виробництва (CAM) — це спеціальне програмне забезпечення, яке використовується для створення програм для гравірувального верстата з ЧПК відповідно до проекту CAD. Інженер CAD/CAM використовує це програмне забезпечення для вибору відповідного інструменту для процесу гравірування, параметрів процесу та встановлення траєкторії інструменту. Нарешті, програмне забезпечення CAM генерує файл G-коду, який записаний у синтаксисі, який розуміє машина з ЧПК.

Перед початком обробки гравіювання оператор верстата встановлює заготовку на машину. Під час цього процесу розміщення заготовки та вирівнювання є важливими, щоб уникнути виробничих помилок.

Нарешті починається процес гравіювання. Технологія ЧПК є автоматичною, тому технікам не потрібно багато втручатися після деяких початкових процедур. Після завершення процесу заготовка демонтується, і машина готова до наступного проекту.

1.8 Види гравірування з ЧПК

На сьогоднішній день одними з розповсюджених видів гравірування є:

1. Ротаційне гравіювання (рисунк 1.5) використовує обертовий ріжучий інструмент для видалення матеріалу з підкладки. Ріжучий інструмент дуже схожий на звичайний обробний інструмент і має ріжучі кромки у формі канавок. Форма та розмір різців важливі, оскільки вони створюють канавки точно так само, як і їх форма. Поширеними формами є V-подібні та кулькові (закруглені) млини.

Гравер з ЧПК має спеціальний шпиндель для утримання та обертання цих обертових інструментів для гравірування. Як правило, гравірування з ЧПК є високошвидкісним процесом зі швидкістю до 20 000 об/хв. Крім того, глибина різку знаходиться в межах 0,5-3 мм, в залежності від властивостей матеріалу і вимог конструкції.

Ці можливості роблять обертове гравіювання з ЧПК дуже універсальним. Крім того, такий спосіб гравіювання дешевий і працює з більшістю матеріалів.



Рисунок 1.5 – Ротаційне гравірування

2. Лазерне гравірування (рисунок 1.6) з ЧПК принципово відрізняється від ротаційного гравірування. У цьому процесі лазерний промінь високої інтенсивності нагріває поверхню підкладки до температури, при якій відбувається сублімація (прямий перехід фази з твердої фази на газову). В результаті на поверхні залишається поглиблення.

Лазерний гравірувальний верстат з ЧПК має лазерну головку для створення лазерного променя. Рухом цієї головки керує ЧПК, що робить цей процес надзвичайно точним і швидким. Крім того, лазерне гравірування досить надійне і довговічне.

Лазерне маркування дуже схоже на лазерне гравірування, але з набагато меншою глибиною відступу. Звідси слово «маркування». Лазерне травлення - це зовсім інший процес, який використовує хімічну реакцію для видалення матеріалу з поверхні. Порівняно з лазерним гравіруванням, це процес з низьким споживанням енергії.

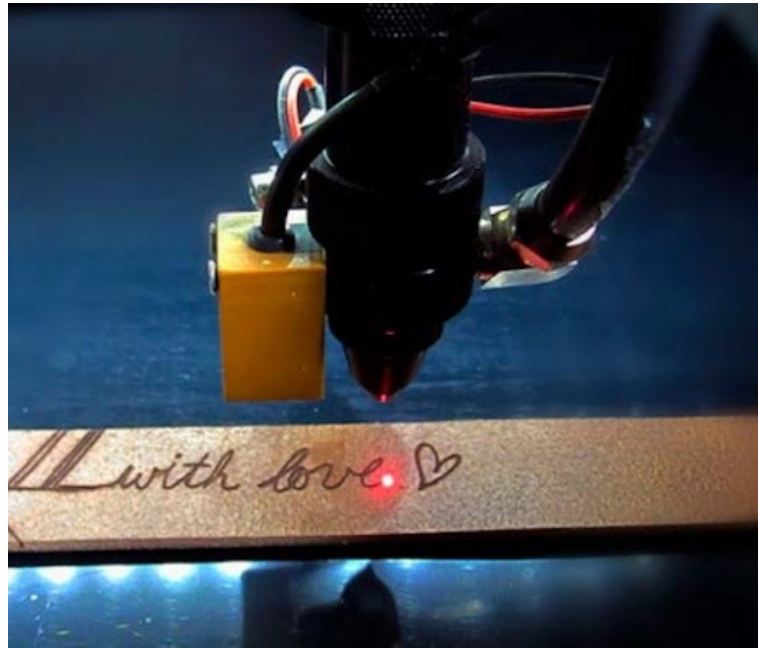


Рисунок 1.6 – Лазерне гравірування

3. Алмазне гравіювання. У цьому процесі гострий алмазний кінчик тягнеться поверхнею для виконання операції гравіювання. Оскільки алмаз є найтвердішим відомим матеріалом, він є ефективним інструментом для гравірування. Крім того, алмазне гравірування не передбачає обертання інструменту. Отже, основним процесом видалення матеріалу є подряпина.

Алмазне гравіювання з ЧПК є дуже точним і швидким завдяки точному контролю за рухами інструменту. Крім того, висока твердість алмазу робить його придатним навіть для найтвердіших металів.

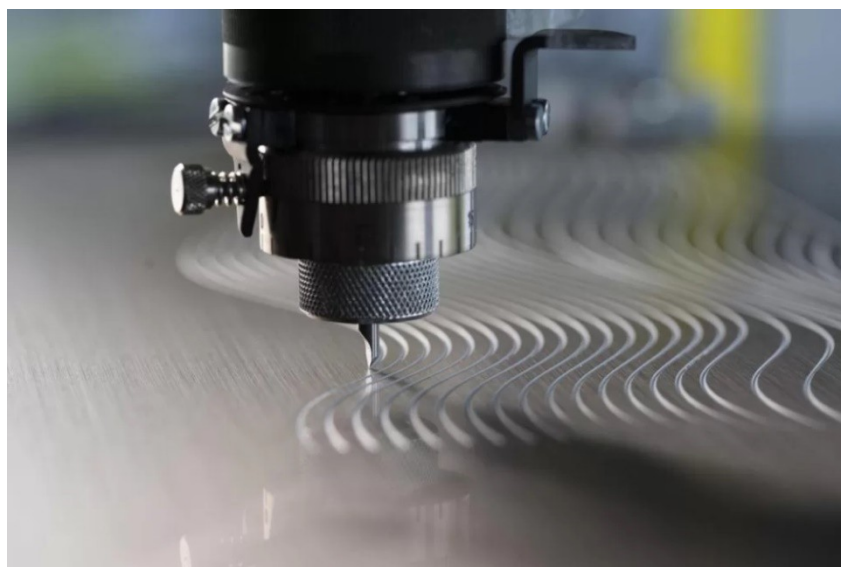


Рисунок 7 – Алмазне гравірування

1.9 Матеріали, що використовуються при гравіюванні

До переліку матеріалів, на яких можна гравіювати відносяться:

1. Метали, як правило, є найпоширенішим типом матеріалу, який можна знайти в майстернях гравіювання з ЧПК. Гравіювання металу схоже на менш інтенсивну версію фрезерування з ЧПК, яка використовує той самий тип фрез з ЧПК і параметри різання. Насправді більшість верстатів з ЧПК на певному етапі своєї роботи слугували як гравірувальні машини.

Те ж саме стосується лазерного гравіювання, де основною метою є не різання металу, а гравіювання його поверхні.

Однак метали не завжди легко обробляти, і для цього можуть знадобитися спеціальні інструменти, наприклад фрези з покриттям. Крім того, метали також дорожчі, ніж інші матеріали, які можна гравіювати, наприклад пластик.

Перелік металів, які можна гравіювати з ЧПК:

- алюміній;
- сталь і нержавіюча сталь;
- Золото;
- латунь;
- мідь;
- срібло.

Окрім цих звичайних металів, можна також гравіювати з ЧПК більш тверді метали, наприклад титанові сплави . Як правило, твердість є найважливішою властивістю, на яку слід звернути увагу під час гравіювання з ЧПК, оскільки вона визначає, наскільки важко деформувати поверхню. Отже, для більш твердих матеріалів експерти рекомендують високоефективні фрези для гравіювання або пружинні алмазні фрези.

2. Пластмаси є ще однією групою матеріалів для обробки гравіювання з ЧПК. Назва «пластик» представляє велику групу полімерів, більшість з яких сумісні з гравіюванням з ЧПК. Як правило, термопластики більш підходять

для гравіювання завдяки їхній видатній термостійкості серед інших груп пластмас.

Пластмаси сумісні як з лазерним гравіруванням з ЧПК, так і з ротаційним гравіруванням. Хоча, якщо говорити про пластик, лазерне гравіювання є більш популярним вибором. Він швидкий, не потребує обслуговування та дуже точний. Однак у деяких випадках існує небезпека для навколишнього середовища, оскільки деякі види пластику горять з димом, який вимагає належного видалення з об'єкта.

Для ротаційного гравіювання з ЧПК пластик також не є абсолютно невідомим. Пластик — це матеріал, який легко різати, який підтримує дуже високі швидкості різання та подачі. З іншого боку, вони іноді створюють задирки та можуть розм'якшитися під час різання, обмежуючи продуктивність. Управління цими недоліками дає чудові результати.

Деякі звичайні пластики для гравіювання з ЧПК:

- поліетилен;
- полістирол;
- поліамід;
- ABS;
- нейлон;
- поліуретан.

3. Деревина має багато мистецьких застосувань, наприклад, декор для дому, подарунки та предмети розкоші. Це натуральний, м'який і взагалі найдешевший варіант серед розглянутих матеріалів. Крім того, він сумісний як з лазерними, так і з ротаційними гравірувальними машинами з ЧПК.

Є кілька порад, про які варто пам'ятати щодо гравіювання на дереві, щоб уникнути втрати часу та грошей. Деревина є анізотропним матеріалом. Це означає, що його властивості не однакові у всіх напрямках. Натомість вони дещо відрізняються залежно від орієнтації зерен, сучків і кілець росту. Тому майте це на увазі, вибираючи деревину для проектів гравіювання.

Крім того, вміст вологи та масла також може негативно вплинути на ефективність лазерного гравера з ЧПК. Крім того, якщо ви використовуєте ротаційний гравірувальний верстат, будьте обережні з деревним пилом [4].

Поширені типи деревини, які можна гравірувати, включають:

- хвойна деревина;
- листяна деревина;
- бальза;
- береза;
- коркове дерево.

1.10 Преваги та недоліки гравірування з ЧПК

Розглянемо переваги гравірування з використанням ЧПК:

- підвищена точність - однією з головних переваг гравіювання з ЧПК є те, що воно набагато точніше, ніж традиційні методи гравірування, це тому, що машиною керує комп'ютер, який може виконувати дуже точні рухи, я підвищена точність означає, що гравіювання з ЧПК можна використовувати для створення набагато більш детальних і складних дизайнів, ніж інші методи;
- підвищена швидкість - ще одна перевага гравіювання з ЧПК полягає в тому, що воно набагато швидше традиційних методів гравіювання, це можливо тому, що машина може виконувати кілька рухів одночасно, що значно скорочує загальний час, необхідний для завершення проекту;
- зменшення відходів - гравірування з ЧПК також призводить до менших відходів, ніж традиційні методи гравіювання. Це пояснюється тим, що машина видаляє лише той матеріал, який необхідний для створення бажаного дизайну, а не видаляє велику кількість матеріалу, як за допомогою інших методів;
- підвищена довговічність - гравірування з ЧПК також дає довговічніші результати, ніж традиційні методи гравіювання. Це

пояснюється тим, що матеріал видаляється точніше, що залишає більш гладку та міцну поверхню. Крім того, гравіювання з ЧПК менш імовірно спричинить викривлення або інше пошкодження матеріалу, на якому гравірується;

- більша гнучкість - гравіювання з ЧПК також пропонує більшу гнучкість, ніж традиційні методи гравіювання. Це тому, що машину можна запрограмувати для створення практично будь-якого дизайну, який тільки можна собі уявити, незалежно від його складності. Крім того, гравіювання з ЧПК можна використовувати на різних матеріалах, включаючи метали, пластик і дерево.

Розглянемо недоліки гравіювання з використанням ЧПК:

- висока початкова вартість - одним з найбільших недоліків гравіювання з ЧПК є висока початкова вартість. Верстат з ЧПК може коштувати від кількох тисяч гривень до десятків тисяч гривень, що робить його значною інвестицією для більшості підприємств. Крім того, верстати з ЧПК вимагають постійного технічного обслуговування та ремонту, що може збільшити загальну вартість володіння;

- обмежена сумісність матеріалів - іншим недоліком гравіювання з ЧПК є те, що воно сумісне лише з певними матеріалами. Такі метали, як алюміній, латунь і сталь, є одними з найпоширеніших матеріалів для гравіювання, але навіть у цьому випадку існують обмеження щодо товщини та типу металу, який можна використовувати. М'які матеріали, такі як дерево та пластик, також можна гравірувати, але знову ж таки існують обмеження щодо товщини та типу матеріалу, який можна використовувати;

- вимагає спеціалізованої підготовки - керування верстатом з ЧПК вимагає спеціальної підготовки та знань. Більшість верстатів з ЧПК постачаються з програмним забезпеченням, яке потрібно навчитися працювати з верстатом, для освоєння якого може знадобитися деякий час. Крім того, багато підприємств передають свої потреби в гравіюванні з ЧПК фахівцям з необхідною підготовкою та досвідом;

- трудомісткий процес - гравірування з ЧПК займає багато часу, особливо в порівнянні з традиційними методами, такими як ручне гравіювання. Це пов'язано з тим, що кожен дизайн має бути запрограмований у машині, перш ніж його можна буде гравірувати, що може зайняти деякий час, залежно від складності дизайну. Крім того, гравіювання з ЧПК зазвичай вимагає кількох проходів над матеріалом, який гравірується, щоб створити високоякісну обробку [5].

2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

2.1 Аналіз наявного верстату з ЧПК

Наявний гравірувальний (рисунок 2.1) верстат був сконструйований у 2016 році та виконував роль навчального стенду. Студенти отримували можливість на практиці навчитися програмуванню траєкторій руху, налаштуванню параметрів обробки, та безпечній експлуатації ЧПК верстатів. Використання Mach 3 дозволяло студентам ознайомитися з одним із найпоширеніших ПЗ для керування ЧПК, що є важливою частиною їхньої освіти.

Через невелику площу обробки студенти могли працювати лише з невеликими заготовками, що обмежувало їхні можливості для виконання складніших та масштабніших проєктів. Матеріал корпусу не забезпечував достатньої стійкості та жорсткості, що призводило до нестабільної роботи та обмежувало точність обробки.

Використання недорогих компонентів, таких як корпус з ДСП та комп'ютерний блок живлення на 300 Ват, робило верстат економічно вигідним для створення та експлуатації в навчальних закладах, що дозволяло впроваджувати такі стенди в освітній процес без значних витрат.



Рисунок 2.1 – Наявний гравірувальний верстат з ЧПК

Наявний гравірувальний верстат з ЧПК має такі характеристики:

- корпус виконаний з ДСП 500мм на 500мм на 750мм;
- трьохосьове позиціонування завдяки двигунам RoboTron SPA 52/100-5782 KROS 0321;
- площу обробки 200мм на 200мм;
- комп'ютерний блок живлення на 300 Ват;
- драйвер крокового двигуна ТВ6600 4А;
- верстат з ЧПК використовує програмне забезпечення Mach 3;
- лазер LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V;
- на кінцях вісей є кінцеві вимикачі.

Корпус з ДСП не забезпечує достатньої жорсткості та стійкості до вібрацій, що може призводити до нестабільності під час роботи. Вібрації можуть впливати на точність позиціонування та якість обробки. Використання застарілих двигунів та драйверів може призводити до втрат кроків та зниження точності позиціонування, що негативно впливає на якість оброблюваних деталей. Програмне забезпечення Mach 3, хоча й функціональний, може не відповідати сучасним вимогам користувачів щодо зручності та функціональності. Це може ускладнювати інтеграцію з новими компонентами та впливати на загальну продуктивність верстату.

Для підвищення ефективності та модернізації навчального верстату з ЧПК було вирішено провести дослідження та аналітичний огляд інших верстатів з ЧПК, доступних на ринку. Це дозволить виявити новітні технології, порівняти характеристики та функціональні можливості, а також визначити оптимальні рішення для модернізації.

2.2 Принципи та критерії оцінювання інших верстатів з ЧПК

Для проведення дослідження та аналітичного огляду інших верстатів з ЧПК було визначено кілька ключових критеріїв, які дозволять об'єктивно оцінити різні моделі та вибрати оптимальні рішення для модернізації навчального станду. Нижче наведено докладний опис кожного з цих критеріїв.

1. Міцність та стабільність конструкції верстату є критично важливими для забезпечення точності та якості обробки. Корпус повинен бути виготовлений з матеріалів, які можуть витримувати високі навантаження та вібрації без деформацій.

Параметри вибору матеріалів для надійного кріплення:

- Матеріал корпусу: Метал (стал, алюміній), композитні матеріали;
- Жорсткість конструкції: Вимірюється через здатність протидіяти деформаціям під навантаженням;

- Стійкість до вібрацій: Оцінюється за допомогою спеціалізованих тестів на вібростійкість.

Металеві корпуси значно стійкіші до вібрацій порівняно з корпусами з ДСП. Композитні матеріали можуть забезпечувати високу жорсткість при меншій вазі.

2. Точність позиціонування визначає здатність верстату точно рухати робочий інструмент по заданій траєкторії. Це критично для виготовлення деталей з високими вимогами до точності.

Параметри вибору для точного позиціонування:

- Тип двигунів: Серводвигуни або крокові двигуни з високою точністю;
- Драйвери: Сучасні драйвери з мікрокроком або іншими технологіями підвищення точності;
- Система зворотного зв'язку: Використання енкодерів або лінійних шкал для контролю позиціонування.

Драйвери з мікрокроком дозволяють отримати більшу точність при використанні крокових двигунів.

3. Площа обробки визначає максимальні розміри заготовок, які можна обробляти на верстаті. Більша робоча зона дозволяє виконувати більш складні та масштабні завдання.

Параметри вибору робочої площі:

- Розміри робочої зони: Довжина, ширина та висота робочої зони;
- Можливість розширення: Чи є можливість збільшити робочу зону шляхом модернізації.

4. Програмне забезпечення - сучасне програмне забезпечення є важливим компонентом верстату з ЧПК, оскільки воно визначає зручність програмування, налаштування та управління процесом обробки.

Параметри вибору програми для керування верстатом ЧПК:

- Інтуїтивність інтерфейсу: Наскільки легко користувачам зрозуміти та використовувати програмне забезпечення;

- Функціонал: Підтримка різних типів файлів, можливість тривимірного моделювання, автоматизація процесів;
- Оновлюваність: Частота оновлень та підтримка нових функцій.

Сучасні програми можуть підтримувати імпорт файлів із CAD систем, що полегшує інтеграцію з різними етапами виробничого процесу. Програмне забезпечення з підтримкою тривимірного моделювання дозволяє створювати більш складні деталі.

5. Енергоефективність

Енергоефективність визначає здатність верстату виконувати свої функції з мінімальними витратами енергії. Це важливо для зниження експлуатаційних витрат та забезпечення стабільної роботи.

Параметри вибору енергоефективних засобів:

- Потужність блоку живлення: Повинна бути достатньою для забезпечення всіх компонентів верстату.
- Енергоефективність компонентів: Використання енергоефективних двигунів та електроніки.

Блок живлення на 500-700 Ват забезпечує стабільну роботу навіть при високих навантаженнях. Використання енергоефективних компонентів дозволяє знизити споживання енергії без втрати продуктивності.

Дослідження за цими критеріями дозволить визначити оптимальні моделі верстатів з ЧПК для модернізації навчального стенду. Кожен з цих критеріїв відіграє важливу роль у забезпеченні високої продуктивності, точності та надійності обладнання, що в свою чергу сприяє ефективному навчанню студентів і підготовці їх до роботи на сучасному виробництві.

2.3 Вибір конструктивного рішення механічної частини гравірувального верстата з ЧПК

Здійснимо огляд існуючих конструкцій гравірувальних верстатів які випускаються серійно для вибору оптимальної конструкції для проєктованого верстата.

Гравер/лазерний різак Mesrow X5 Pro 33вт (рисунок 2.2) має такі основні характеристики:



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд лазерного граверу Mesrow X5 Pro

- Матеріал рами: алюмінієвий сплав;
- Вхідне живлення: AC 110-220V;
- Номінальна потужність: 192 Вт;
- Максимальна площа гравіювання: 600 x 600 мм;
- Максимальна швидкість гравірування: 28000 мм/хв.;
- Точність гравірування: 0,08 x 0,1 мм;
- Сигналізація нахилу: $\pm 50^\circ$;
- Підтримка програмного забезпечення: MKSLaser APP / LaserGRBL / LightBurn;
- Системна підтримка: Windows / Mac / Linux;

- Підтримка форматів файлів: JPEG, BMP, GIF, PLT, PNG, DXF;
- Матеріали для лазерного гравіювання: дерево, акрил, порцеляна, тканина, бамбук, пластикова дошка, шкіра, фрукти, хліб тощо;
- Потужність лазера: 33 Вт;
- Швидкість повітря для повітряного насоса: 25 л/хв.;
- Зарядний пристрій: АС 110-220V 2А (вхід), 24V 8А (вихід);
- Особливості Автоматичний повітряний насос: Так;
- Підтримка офлайн: так;
- Лазерна головка для захисту очей: так;
- Попередження: Так;
- Аварійна зупинка: Так;
- Кнопка скидання: так;
- Замок безпеки: так;
- Датчик полум'я: Так;
- Кінцеві вимикачі: Так;
- Вага виробу: 7,5 кг;
- Розмір виробу (Д х Ш х В): 805 x 712 x 194 мм;
- Ціна: 43000 грн.

Завдяки потужній лазерній головці потужністю 33 Вт цей потужний лазерний гравірувальний верстат без особливих зусиль виконує різання за один прохід на різноманітних товстих матеріалах, таких як дерев'яні плити товщиною 15 мм , чорні акрилові листи товщиною 12 мм і навіть листи з нержавіючої сталі товщиною 12 мм. 0,1 мм - виняткова здатність різання, яка майже в п'ять разів перевищує показники стандартних 5 Вт конкурентів.

Випромінюючи лазерну пляму розміром лише 0,08*0,1 мм із вражаючою швидкістю 28000 мм/хв , він втілює в життя надзвичайну творчість із швидшим і точнішим гравіюванням, забезпечуючи точне гравіювання кожної складної лінії в зоні гравіювання, яка на 50% більша, ніж у типових моделей.

Включає корисний автоматичний повітряний насос, який керується за допомогою налаштувань програмного забезпечення для автоматичної активації та деактивації під час гравіювання. Завдяки потужному потоку повітря до 25 літрів на хвилину він ефективно розсіює високотемпературний дим і видаляє забруднення, що виникають, щоб забезпечити бездоганну якість роботи та підвищити точність гравіювання, запобігаючи пожовтінню або плямам на кожній лінії.

Панель також забезпечує постійну фокусну відстань для дуже точного фокусування, що особливо зручно для новачків у лазерному гравіюванні.

Датчик полум'я виявляє будь-який ризик пожежі під час гравіювання, запускаючи попередження та вимикаючи машину. Кнопка аварійної зупинки негайно припиняє роботу в екстрених ситуаціях. Сигнал про нахил лунає, коли машину піднімають за безпечний кут. Запобіжний замок запобігає випадковій активації допитливими дітьми, а лазерна головка має щиток для захисту очей [6].

Плавна взаємодія з MKSLaser, LaserGRBL і LightBurn — трьома основними програмами лазерного гравіювання — забезпечує легку роботу на смартфонах, ноутбуках і настільних комп'ютерах.

Переваги Mesrow X5 Pro:

- Висока точність обробки завдяки серводвигунам та інтегрованим драйверам з мікрокроком.
- Широка робоча зона (600 мм на 600 мм) дозволяє обробляти великі заготовки.
- Інтуїтивно зрозуміле програмне забезпечення з підтримкою тривимірного моделювання.
- Стійка та жорстка конструкція з алюмінієвого корпусу.
- Енергоефективність та стабільна робота під високими навантаженнями.

Недоліки Mesrow X5 Pro:

- Висока вартість: як і більшість високотехнологічних професійних верстатів, Mesrow X5 Pro має високу ціну, що може бути недоступним для освітніх закладів з обмеженим бюджетом.
- Складність налаштування: для студентів може знадобитися час для освоєння всіх можливостей програмного забезпечення та налаштування верстату.

Лазерний верстат-гравер S1 4030 (рисунок 2.3) має такі основні характеристики:

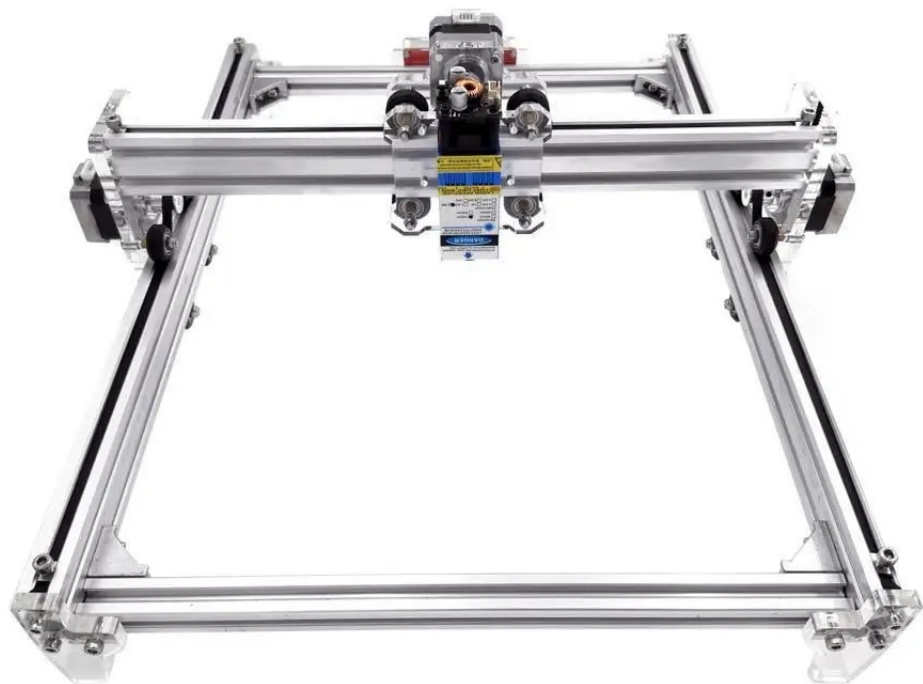


Рисунок 2.3 – Лазерний верстат-гравер S1 4030

- Потужність: 5500 мВт;
- Фокусна відстань: до 30 мм;
- Довжина хвилі: 405 нм (фіолетовий лазер);
- Робоча напруга: 12 В TTL драйвер;
- Робочий струм до 5 А;
- Скляна лінза в регульовальному кільці для фокусування;
- Кулер охолодження;
- Розмір лазера: 115 x 33 x 33 мм;

- Довжина кабелю: ~50 см;
- Вага: 190 г;
- ПЗ: VigoEngraver (на диску в комплекті), підтримує Benbox, Ribs, Laserax;

- Робоча зона/площа: 395 x 285 мм;
- Габарити верстата: 526 x 485 x 193 мм;
- Кроковий двигун NEMA17 2 шт.

Алюмінієвий верстатний профіль 2040 V-Slot 510 мм Алюмінієвий верстатний профіль 2040 V-Slot 403 мм 2 шт.

Алюмінієвий верстатний профіль 2020 360 мм Акрилові кріплення, куточки для профілю, ролики, підшипники, ремінь GT2, зубчасті ролики для ременя, кріплення та ін.

Лазерний гравер S1 + модуль 5500 мВт 400 x 300 мм являє собою комплект для самостійної збірки повноцінного лазерного ЧПК-верстата. Гравірує пофарбований метал (фарбу), пластик, шкіру, дерево, папір, картон, фанеру та інші матеріали.

Призначений для випалювання картин, портретів, логотипів і написів на тканини, фанері, дереві, шкірі за допомогою діодного лазерного модуля. Випалювання растрове, рядкове і точкове. Відтінок малюнка випалюється за рахунок зміни потужності та швидкості лазерного променя. Підходить для різьби по корпусу мишки, ручки, кредитних карт, гаманців, пластикових карт, різних дерев'яних рамок, виготовлення печаток і багато іншого.

Верстат поставляється в розібраному вигляді, але збірка є досить простою. Лазерний модуль з регульованим фокусуванням. Збірка - моноблок, TTL плата і кулер змонтовані на корпусі радіатора охолодження. Джерелом лазерного випромінювання служить надпотужний світлодіод [7].

Переваги S1 4030

- Висока точність обробки завдяки кроковим двигунам та драйверам з мікрококом;

- Широка робоча зона (400 мм на 300 мм) дозволяє обробляти середні заготовки;
- Інтуїтивно зрозуміле програмне забезпечення з підтримкою різних типів файлів та інтеграції з CAD/CAM системами;
- Стійка та жорстка конструкція з металевого корпусу;
- Енергоефективність та стабільна робота під високими навантаженнями;
- Низька ціна: S1 4030 має доступну ціну, що робить його привабливим вибором для навчальних закладів та малих підприємств.

Недоліки S1 4030

- Обмежена робоча зона: хоча 400 мм на 300 мм є достатньою для більшості завдань, для дуже великих заготовок цього може бути недостатньо;
- Відсутність серводвигунів: крокові двигуни, хоч і високоточного рівня, поступаються серводвигунам у швидкості та точності.

Лазерний верстат-гравер S3 100100 (рисунок 2.4) має такі основні характеристики:



Рисунок 2.4 – Лазерний верстат-гравер S3 100100

- Операційні системи: LaserEngraver: Windows7,8,10,11; Laser GRBL : Windows7,8,10,11; Lightburn: (Paid) Windows Mac OS and Linux;
- Швидкість гравіювання: до 5000 мм/хв.;
- Точність гравіювання: 0.5W-15W (0.2-0.3mm);
- Робоча зона/площа: 1000 x 1000 * 60 мм (висота заготівки можна збільшити, піднявши верстат);
- Габарити верстата: 1154 x 1270 мм;
- Живлення AC100-240V;
- Режим гравіювання Фото, Word, сканування, контур, піксельне лазерне гравіювання;
- Підтримувані формати jpg, bmp, svg, G-код;
- Матеріали корпусу: алюміній і акрил;
- Робоча напруга постійного струму 12 В ток 5А;

Характеристики лазерного модуля:

- Споживана потужність: до 40 Вт;
- Оптична потужність: 5.5 Вт;
- Фокусна відстань: фіксована 45 мм;
- Довжина хвилі: 445 нм (фіолетовий лазер);
- Термін експлуатації 16 000 годин;
- Робоча напруга: 12 В (блок живлення до комплекту не входить);
- TTL драйвер;
- Робочий струм: до 3А;
- Кулер охолодження;
- Розмір лазера: 115 x 40 x 40 мм;
- Довжина кабелю: ~50 см;
- Вага: 240 г.

Лазерний гравер S3 у комплекті з лазерним модулем LM-C40W 1000 x 1000 мм являє собою комплект для самостійного складання повноцінного лазерного ЧПК-станка. Гравіює пластик, шкіру, дерево, папір, картон, фанеру та інші матеріали.

LM-C40W — це потужний лазерний модуль із повітряною продувкою зони різання, що застосовується для розкроювання фанери та інших матеріалів. У вихідній частині лазерного модуля вбудована форсунка для подавання повітря. Це підвищує чистоту різання завдяки швидкому виведенню продуктів горіння. TTL плата та кулер змонтовані на корпусі радіатора охолодження. Джерелом лазерного випромінювання є лазерний діод. У цій моделі загальна електрична потужність досягає 40 ватів, вихідна оптична потужність становить 5,5 Вт (пікова 6 Вт). У дешевших моделях лазерних модулів зазвичай вказується тільки загальна електрична потужність. Цей лазерний модуль, по можливостям різання приблизно можна порівняти з CO2 лазерним верстатом обладнаний лазерною трубкою 30 Вт, водночас він не вимагає додаткового водяного охолодження.

Завдяки підтримці високопотужних твердотільних лазерних модулів (оптичної потужності 5-10-15 Ватів) тепер можливе не тільки гравіювання, а й різання різних матеріалів, наприклад: фанери, МДФ, оргскла. Нанесення написів або зображень на металевих поверхнях.

Лазерний гравер S3 може бути доповнений спеціальним готовим кит набором, що містить шпиндель і навісне обладнання, що перетворює його на багатофункціональний фрезерний ЧПК CNC 100 станок. З таким доповненням верстат може обробляти пластик, деревину, не тверді метали (алюміній, золото, свинець, срібло, олово), акрил, пвх і ін. Комплектується 775 шпинделем 120 Вт (аналогічний 3018 Pro).

Під час під'єднання поворотного механізму стає можливим лазерне гравіювання на циліндричних поверхнях діаметром від 10 до 100 мм і завдовжки до 40 см. За переміщення по осі Y відповідають відразу два крокові двигуни, чим забезпечується вища точність позиціонування.

Лазерний гравірувальний верстат S3 призначений для випалювання картин, портретів, логотипів і написів на тканині, фанері, дереві, шкірі за допомогою діодного лазерного модуля. Випалювання розтравне, побудоване та точкове. Відтінок малюнка випалюється завдяки зміні потужності та швидкості лазерного променя. Підходить для вирізання ручки, кредитних карток, гаманців, пластикових карток, різних дерев'яних рамок виготовлення печаток і багато іншого. Верстат постачається в розібраному вигляді, але складання є досить простим [8].

Переваги S3 100100:

- Висока точність обробки завдяки серводвигунам та інтегрованим драйверам з мікропроцесором;
- Велика робоча зона (1000 мм на 1000 мм) дозволяє обробляти великі заготовки;
- Інтуїтивно зрозуміле програмне забезпечення з підтримкою тривимірного моделювання та інтеграції з CAD/CAM системами;
- Стійка та жорстка конструкція з металевої рами;
- Енергоефективність та стабільна робота під високими навантаженнями.

Недоліки S3 100100:

- Відносно висока вартість: як і більшість високотехнологічних професійних верстатів, S3 100100 має високу ціну, що може бути недоступним для невеликих підприємств або освітніх закладів з обмеженим бюджетом;
- Великі габарити: значні розміри верстату вимагають відповідного місця для встановлення, що може бути проблематичним у невеликих майстернях.

Таблиця 2.1 – Характеристики настільних верстатів

Характеристика	S1 4030	S3 100100	Месрор X5 Pro
Корпус	Металевий, 526 х 485 х 193 мм	Металевий, 1154 х 1270 мм	Металевий, 805 х 712 мм
Позиціонування	Трьохосьове, крокові двигуни	Трьохосьове, серводвигуни	Трьохосьове, крокові двигуни
Площа обробки	395 мм х 285 мм	1000 мм х 1000 мм	600 мм х 600 мм
Блок живлення	12 В, 5 А	12 В, 5 А	24 В, 8 А
Потужність лазера	5,5 Вт	15 Вт	33 Вт
Програмне забезпечення	Інтуїтивно зрозуміле, інтеграція з CAD/CAM	Професійне ПЗ, 3D моделювання, CAD/CAM	Професійне ПЗ, інтеграція з CAD/CAM
Конструкція	Стійка, жорстка, металевий корпус	Висока жорсткість, металева рама	Міцна, металева конструкція
Енергоефективність	Висока	Висока	Середня
Ціна	12697 грн.	14710 грн.	43000 грн.
Переваги	Висока точність, доступна ціна.	Висока точність, велика робоча зона, професійне ПЗ	Хороша точність, достатня робоча зона, інтеграція з CAD/CAM
Недоліки	Обмежена робоча зона, відсутність	Відносно висока вартість, великі габарити	Висока вартість

	серводвигунів		
--	---------------	--	--

При аналізі ринку настільних верстатів з ЧПК, можна відмітити, що ці пристрої відрізняються як за своїми характеристиками, так і за ціною. Ціна за верстат з ЧПК значно варіюється, від 12697 гривень для моделей початкового рівня, таких як S1 4030, до 43000 гривень для більш потужних та високотехнологічних верстатів, таких як Mesrow X5 Pro.

Важливим фактором при виборі верстата є його робоча поверхня та міцність конструкції. Кожен з розглянутих верстатів має визначені обмеження щодо робочої поверхні. Так, S1 4030 пропонує робочу зону 395 мм x 285 мм, що підходить для дрібних і середніх проектів при загальній простоті конструкції, тоді як S3 100100 має значно більшу робочу зону 1000 мм x 1000 мм, дозволяючи обробляти великі заготовки. Mesrow X5 Pro, з робочою зоною 600 мм x 600 мм, пропонує баланс між компактністю та функціональністю.

У представлених верстатах переміщення каретки з лазером відбувається завдяки моменту з крокового двигуна на жорстко закріплений ремінь. В верстаті S3 100100 передбачена заміна лазерної установки на готовий збірку, що містить шпиндель і навісне обладнання, що перетворює його на повноцінний фрезерний станок.

Основною проблемою наведених фрезерувальних верстатів з ЧПК є перегрівання та знижена чіткість гравійованого зображення через потрапляння часточок пилу та продуктів горіння від оброблюваного матеріалу на фокусну лінзу лазера. Це вимагає додаткових технологічних покращень з боку користувача, таких як встановлення вентиляторів біля лазерної голівки або подача повітря через компресорну установку. Ці способи дозволяють багатократно підвищити якість зображення та збільшити строк служби лазера.

2.4 Вихідні положення та параметри розробки

В результаті дослідження існуючих рішень верстатів вдалося отримати більш повне уявлення про ринок фрезерних станків в Україні та світі. Були виявлені певні рішення, які можна використати при розробці власного пристрою.

Задачею проектування є розробка конструкції та електронної частини гравірувального верстата. Прототип має містити місце для кріплення наявного лазера LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V, так як він повністю задовольняє умови якості гравірування. Також передбачена можливість переміщення місця кріплення по двох повздовжніх та поперечній осі над всією робочою поверхнею .

Основним матеріалом для конструкції верстата обрано алюмінієвий профіль V-slot. Вибір цього матеріалу зумовлений його легкістю та міцністю, що є важливими перевагами в порівнянні з ДСП, який використовується в наявному верстаті. Використання алюмінієвого профілю V-slot дозволяє значно зменшити вагу конструкції, що забезпечує мобільність пристрою і зручність його використання у порівнянні з старим верстатом. Крім того, цей матеріал легко обробляти і з'єднувати, що спрощує процес розробки і складання конструкції.

Фінансова складова збірки нового верстата повинна бути оптимізована, щоб забезпечити мінімальний бюджет, зберігаючи при цьому високу якість компонентів. Необхідно ретельно підбирати матеріали та комплектуючі, такі як алюмінієвий профіль V-slot і високоточні двигуни, щоб гарантувати надійну і довговічну роботу верстата. Важливо також врахувати витрати на систему охолодження, щоб створити ефективний і функціональний пристрій для навчальних цілей.

Основною метою розробки є створення мобільного та компактного фрезерного верстата в порівнянні з наявним, з мінімальною різницею між розміром робочої області та загальними габаритами.

Верстат планується зробити за рахунок ремінної передачі на відміну від зубчасто-винтової у наявного верстата. Це дозволить збільшити швидкість і точність обробки.

2.5 Розробка та аналіз ТЗ

Завданням для цього дипломного проєкту є модернізація електроприводу лазерного гравірувального верстату з ЧПК.

Один із ключових показників фрезерного верстата – це розмір робочої площі, який визначений у технічному завданні як 600 мм у ширину та 640 мм у довжину, та регулювання висоти лазера на вертикальній осі.

Ще одним важливим параметром є швидкість переміщення лазера над робочою поверхнею. Ця швидкість залежить від кількості обертів на хвилину крокового двигуна у режимі холостого ходу. У робочому стані швидкість переміщення буде складати 15 мм за секунду, щоб верстат міг конкурувати з іншими фрезерними станками з ЧПК у доступному ціновому сегменті. Під час вільного переміщення до зони обробки швидкість збільшиться до 30 мм/с.

3 РОЗРОБКА ГРАВІРУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА

3.1 Розроблення загальної конструкції верстата

З метою збільшення міцності та надійності конструкції було вирішено використати вже існуючі варіанти виконання гравірувальних верстатів, які були описані у попередніх розділах. Виконувати роль повздовжніх і поперечної направляючих рейок буде верстатний профіль V-slot 20 мм х 40 мм (рисунок 3.1)[9].



Рисунок 3.1 - Верстатний профіль V-slot 20 мм х 40 мм

Для фіксації рейок буде використано сполучну пластину товщиною 3 мм під кутом 90 градусів (рисунок 3.2)[10].



Рисунок 3.2 - Пластина сполучна 90 градусів

Кріплення поперечної рейки буде виконуватись на двох каретках, які будуть синхронно рухатись в одному напрямку по повздовжніх рейках за допомогою двох крокових двигунів. Для руху лазера по поперечній рейці також буде використовуватись каретка з одним двигуном.

В каретках (рисунок 3.3), які будуть переміщуватись по повздовжній рейці, передбачено отвори для валу двигуна та чотири отвори для його кріплення. Розмір отвору для валу та кріплення для нього розраховані на кроковий двигун Nema 14HS5401, для збереження стійкої позиції двигуна під час обертання валу. Місце двигуна розташоване таким чином, щоб встановити його шків перпендикулярно до направляючої рейки з ременем. Це дозволить керувати положенням каретки на пряму через ремінь і шків двигуна та полегшить доступ до виводів двигуна.

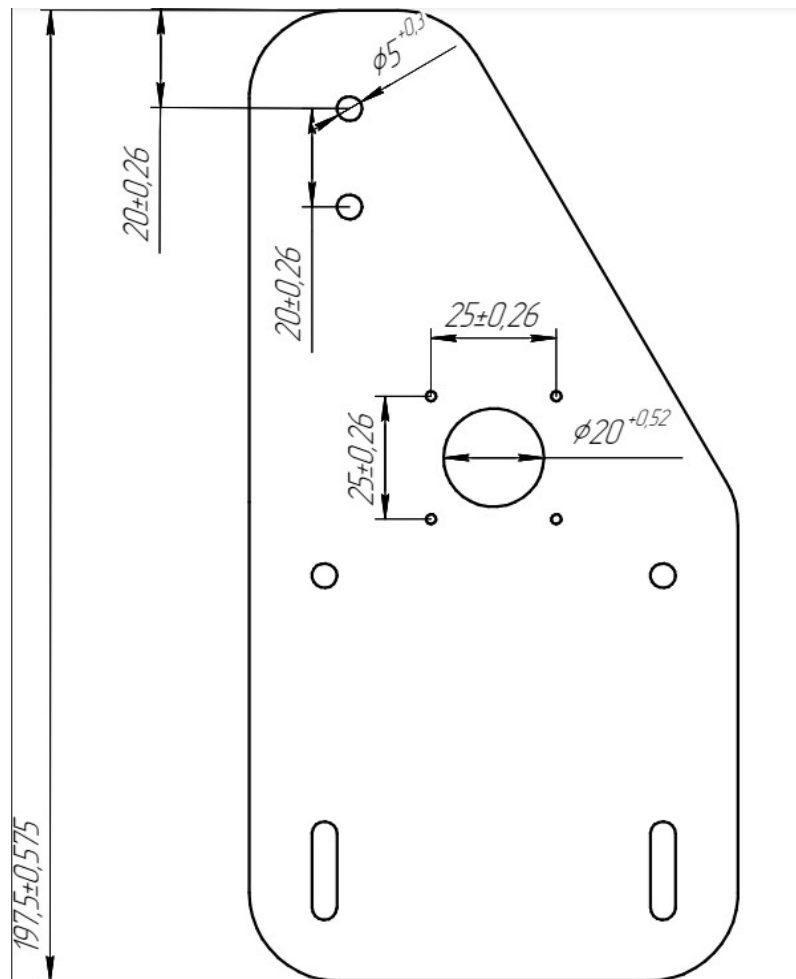


Рисунок 3.3 – Креслення каретки повздовжньої вісі

Серед настільних верстатів з ЧПК широко розповсюджений ремінь GT-2 (рисунок 3.3). Ремінь GT-2 має зубчасту структуру з профілем зуба, який забезпечує мінімальне ковзання і високу точність передачі руху. Крок зуба 2 мм та шириною 6 мм є оптимальним для забезпечення високої точності і стабільності передачі руху [11].



Рисунок 3.4- Ремінь GT-2

Ремінь протягується під роликами через шків двигуна та жорстко закріплюється на кінцях рейки за допомогою затискачів. Регулювання натягу ременя також відбувається за допомогою затискачів на сполучній пластині. Співосність між шківом двигуна та роликами на рейці досягається за допомогою регулювання положення шківу на валу крокового двигуна, закріплюючи його двома гвинтами. Шків для ременя GT2 (рисунок 3.4) шириною до 6 мм з 16 трапецієподібними зубами, діаметром отвору для осі двигуна 5 мм та двома фіксуючими гвинтами М3 [12].



Рисунок 3.5 – Шків під ремінь GT-2

Оскільки ці каретки призначені для переміщення по поперечній вісі, передбачено два наскрізних отвори і два регулюючих отвори для роликів, які закріплюються на гвинті довжиною 35 мм. Направляючий ролик (рисунок 3.5) з підшипником для профілю V-slot з зовнішнім діаметром 24 мм, внутрішнім діаметром 5 мм та шириною 11 мм [13].



Рисунок 3.6 - Ролики

Це дозволить переміщувати каретки по нерухомій повздовжній вісі. Для кріплення поперечної вісі передбачено два отвори для поперечної рейки.

Для переміщення лазера по поперечній вісі розроблено каретку яка складається з двох частин та закріплюється гвинтом з довжиною 60 мм. Перша (рисунок 3.7) з отвором для валу двигуна та отворами для його кріплення, також передбачені отвори для кріплення та регулювання роликів. Принцип переміщення та кріплення ремня такий самий як на повздовжній каретці. Спочатку ремінь протягують під роликами і натягують його через шків двигуна.

На другій (рисунок 3.8) виконано отвори для встановлення та регулювання роликів. Отвори для кріплення лазера на другій частині карети будуть виміряні та виконані на місці для більш точного позиціонування висоти лазера відносно робочої поверхні.

Для підтримання конструкції було передбачено чотири ніжки (рисунок 3.9), які встановлюються на краях рейок.

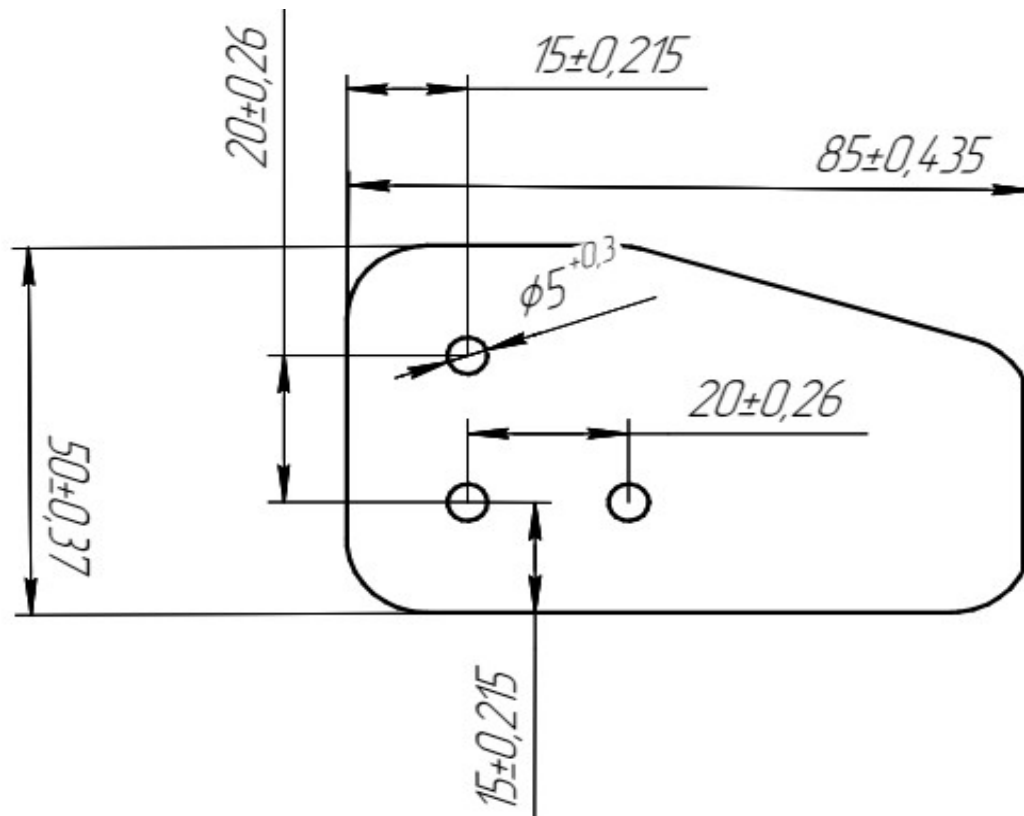


Рисунок 3.9 – Ніжки для верстату

3.2 Вибір електронних модулів

Завданням цієї дипломної роботи є модернізація електроприводу верстата з числовим програмним керуванням. Для модернізації електроприводу було вирішено створити комплексний блок керування, який включає в себе такі компоненти: мікроконтролер, плату доповнення до мікроконтролера, крокові двигуни, драйвери для крокових двигунів і блок живлення. Плата доповнення виконує роль розширювача, забезпечуючи живлення для крокових двигунів. Цей блок керування забезпечить точне і надійне керування рухами верстата, підвищуючи його ефективність і продуктивність.

Головним компонентом в гравірувальному станку з ЧПК є його контролер. Контролер координує роботу всіх електронних і механічних

частин верстата, включаючи двигуни, драйвери, кінцеві вимикачі та лазер. Він забезпечує синхронізацію та узгодженість дій різних елементів системи. Контролер дозволяє завантажувати і виконувати програми, які визначають послідовність дій верстата. Також виконує необхідні обчислення для визначення траєкторії руху лазера, обробки сигналів від кінцевих вимикачів і коригування помилок у реальному часі. Це дає можливість автоматизувати процес гравірування і забезпечити високу точність і повторюваність результатів.

Серед популярних контролерів є NodeMCU ESP8266, Raspberry Pi 4 та Arduino Uno (версія 3). Кожен з цих контролерів має свої унікальні особливості та переваги, що робить їх підходящими для різних завдань та проектів.

NodeMCU ESP8266 (рисунок 3.10) є відкритою платформою для розробки, заснованою на мікроконтролері ESP8266 з вбудованою підтримкою Wi-Fi.

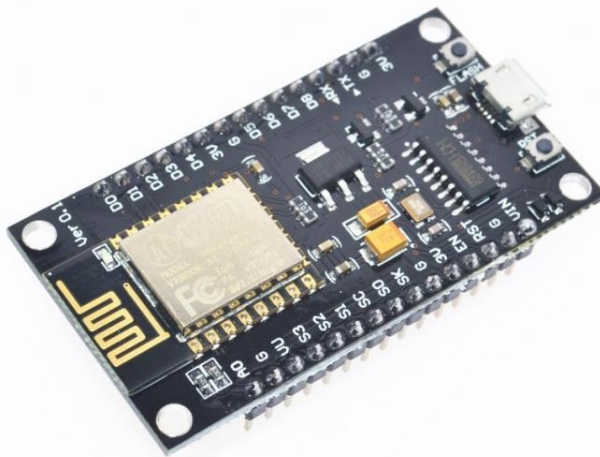


Рисунок 3.10 - NodeMCU ESP8266

Він оснащений 32-бітним процесором Tensilica L106, що працює на частоті 80 або 160 МГц, що забезпечує достатню обчислювальну потужність для багатьох IoT-додатків. Мікроконтролер має 4 МБ флеш-пам'яті, що

Рисунок 3.11- Raspberry Pi 4

Це забезпечує високу обчислювальну потужність, необхідну для складних завдань. Він оснащений оперативною пам'яттю від 2 ГБ до 8 ГБ LPDDR4, що дозволяє обробляти великі обсяги даних і працювати з вимогливими додатками. Пристрій підтримує два Micro-HDMI виходи для відео до 4K, що робить його ідеальним для мультимедійних проєктів. Він має два порти USB 3.0 і два порти USB 2.0, що дозволяє підключати безліч периферійних пристроїв. Крім того, Raspberry Pi 4 оснащений Ethernet портом для швидкого провідного підключення до мережі, а також 40-піновим

GPIO роз'ємом для підключення різних датчиків і модулів. Він зберігає операційну систему та дані на microSD карті, що забезпечує простоту оновлення і обслуговування. Вбудований Wi-Fi модуль підтримує стандарти 802.11ac, а також є Bluetooth 5.0, що забезпечує бездротовий зв'язок з іншими пристроями. Raspberry Pi 4 підходить для широкого спектру завдань, включаючи медіа-центри, сервери, системи машинного навчання та автоматизацію будинку [15].

Arduino Uno ver.3 (рисунок 3.12) є популярним мікроконтролером на основі ATmega328P, що широко використовується в освітніх цілях і для створення прототипів.

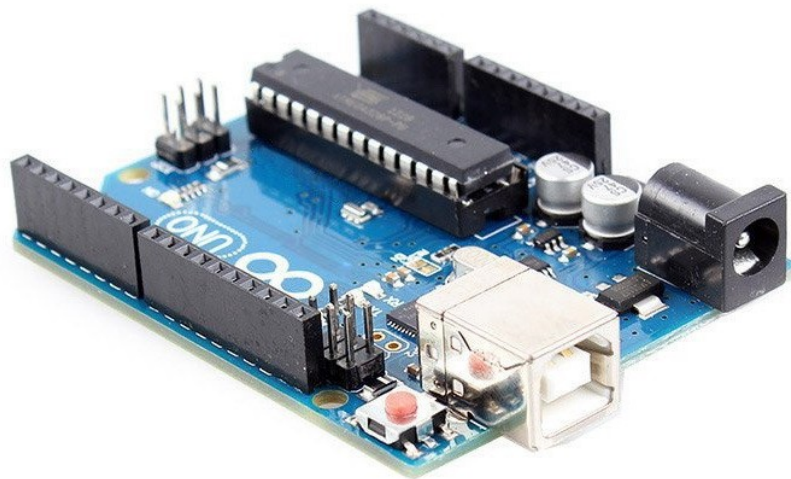


Рисунок 3.12 - Arduino Uno ver.3

Він має 32 КБ флеш-пам'яті для зберігання програм, 2 КБ SRAM для тимчасових даних і 1 КБ EEPROM для зберігання постійних налаштувань. Arduino Uno оснащений 14 цифровими входами/виходами, з яких 6 можуть використовуватися як PWM-виходи для керування аналоговими пристроями, такими як двигуни і світлодіоди. Також є 6 аналогових входів для підключення сенсорів. Контролер підтримує інтерфейси UART, SPI і I2C, що дозволяє легко підключати його до різних периферійних пристроїв і модулів. Arduino Uno може житися від USB або зовнішнього джерела живлення (7-12 В), що забезпечує гнучкість у використанні. Він підтримує програмування

на мові C/C++ через Arduino IDE, що робить його доступним для новачків і професіоналів. Arduino Uno має велику спільноту розробників, що забезпечує доступ до безлічі бібліотек, прикладів коду і проектів, що робить його ідеальним для створення різноманітних інтерактивних пристроїв, таких як робототехніка, системи збору даних і керування освітленням [16].

Після аналізу трьох популярних контролерів - NodeMCU ESP8266, Raspberry Pi 4 та Arduino Uno - обрано Arduino Uno. Arduino Uno відомий своєю простотою використання та програмування, широким спектром доступних платформ для розробки та низькою вартістю. Цей контролер має достатню кількість входів/виходів для забезпечення потрібного функціоналу верстата та можливості легкої інтеграції з різними компонентами.

CNC Shield V3 (рисунок 3.13) є ідеальним рішенням для модернізації верстата з ЧПК, забезпечуючи легку інтеграцію з Arduino Uno та підтримку до чотирьох крокових двигунів за допомогою драйверів A4988 або DRV8825.

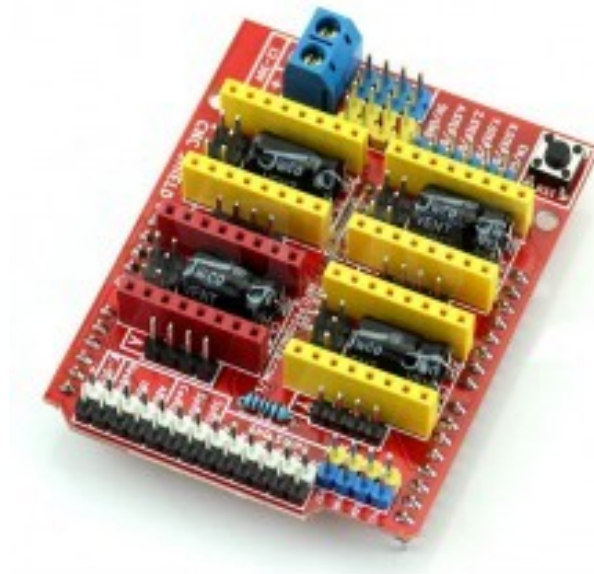


Рисунок 3.13 - CNC Shield V3

Ця плата має роз'єми для кінцевих вимикачів і зовнішнього джерела живлення, що дозволяє стабільно керувати двигунами та підвищувати точність і безпеку роботи. CNC Shield V3 відзначається зручністю у використанні, гнучкістю та модульністю, що робить його особливо корисним

для освітніх і експериментальних проектів. Незважаючи на обмеження щодо потужності та можливу відсутність вбудованого захисту, CNC Shield V3 залишається надійним вибором для стабільного управління системою ЧПК [17].

Другим по важливості елементом в ЧПК станку є його двигун. Двигуни є серцем машини, оскільки вони відповідають за рух усіх механічних частин. Для ЧПК верстатів використовуються два основні типи двигунів: крокові двигуни та серводвигуни. Кожен з цих типів має свої переваги та недоліки, що визначає їх застосування в різних умовах.

Крокові двигуни дуже популярні завдяки своїй простоті та точності. Вони працюють за принципом дискретних кроків, що дозволяє точно контролювати позиціонування без необхідності зворотного зв'язку. Це робить їх ідеальними для застосувань, де потрібна висока точність і повторюваність. Основними перевагами крокових двигунів є їх простота в керуванні та відносно низька вартість. Однак, вони мають обмежену потужність і можуть втрачати кроки під час перевантаження, що може призвести до втрати позиціонування. Також крокові двигуни можуть перегріватися при високих навантаженнях.

Серводвигуни, з іншого боку, використовують зворотний зв'язок для забезпечення більш точного контролю руху. Вони можуть працювати при високих навантаженнях і забезпечують більшу потужність та швидкість у порівнянні з кроковими двигунами. Це робить їх підходящими для застосувань, де потрібна висока продуктивність і потужність. Однак, серводвигуни є більш складними в керуванні і коштують дорожче, ніж крокові двигуни.

При виборі двигуна для модернізації ЧПК верстата, варто звернути увагу на крокові двигуни, оскільки вони забезпечують достатню точність і простоту в керуванні за відносно низької вартості. Серед розповсюджених крокових двигунів для ЧПК верстатів варто відзначити моделі NEMA 17 і NEMA 14.

17HS6001 (рисунок 3.14) – це популярний кроковий двигун стандарту NEMA 17, який широко застосовується в різних автоматизованих пристроях, таких як ЧПК верстати, 3D-принтери та інші механічні системи, де важлива точність і надійність. Він має габаритні розміри 42x42 мм по фронтальній площині і довжину близько 48 мм, що робить його сумісним з багатьма стандартними механічними компонентами.



Рисунок 3.14 – Кроковий двигун 17HS6001

17HS6001 забезпечує крутний момент до 0.5 Нм, що робить його потужним варіантом для завдань середнього навантаження. Цей двигун працює з кроком у 1.8 градуса, що означає 200 кроків на один повний оберт, забезпечуючи високу роздільну здатність і точність позиціонування. Для досягнення ще більшої точності можна використовувати мікрокроковий режим.

Працює двигун від напруги 12-24 В і споживає струм до 1.7 А на фазу, що робить його сумісним з багатьма популярними драйверами крокових двигунів, такими як A4988, DRV8825 та інші. Завдяки своїй конструкції, 17HS6001 має високий коефіцієнт утримуючого моменту, що зменшує ймовірність пропусків кроків під час роботи.

Однією з ключових переваг 17HS6001 є його надійність і довговічність. Він виготовлений з високоякісних матеріалів, що забезпечують тривалий термін служби навіть у важких умовах експлуатації. Двигун досить тихий під

час роботи, що робить його придатним для використання в середовищах, де важливий низький рівень шуму [18].

MS14HS5P4100 (рисунок 3.15) – це кроковий двигун стандарту NEMA 14, який часто застосовується в компактних і легких автоматизованих системах, таких як невеликі ЧПК верстати, 3D-принтери та інші пристрої, де важлива точність і компактність. Він має габаритні розміри 35x35 мм по фронтальній площині і довжину близько 34 мм, що робить його дуже компактным і легким варіантом для інтеграції в різні проекти.



Рисунок 3.15 - Кроковий двигун MS14HS5P4100

MS14HS5P4100 забезпечує крутний момент до 0.3 Нм, що достатньо для більшості легких завдань, таких як переміщення невеликих об'єктів або інструментів. Двигун працює з кроком у 1.8 градуса, що означає 200 кроків на один повний оберт, забезпечуючи високу роздільну здатність і точність. Для досягнення ще більшої точності можна використовувати мікрокроковий режим.

Цей двигун працює від напруги 12-24 В і споживає струм до 1 А на фазу, що робить його сумісним з багатьма популярними драйверами крокових двигунів, такими як A4988 або DRV8825. Завдяки своїй конструкції, MS14HS5P4100 має високий коефіцієнт утримуючого моменту (рисунок 3.16), що зменшує ймовірність пропусків кроків під час роботи [19].

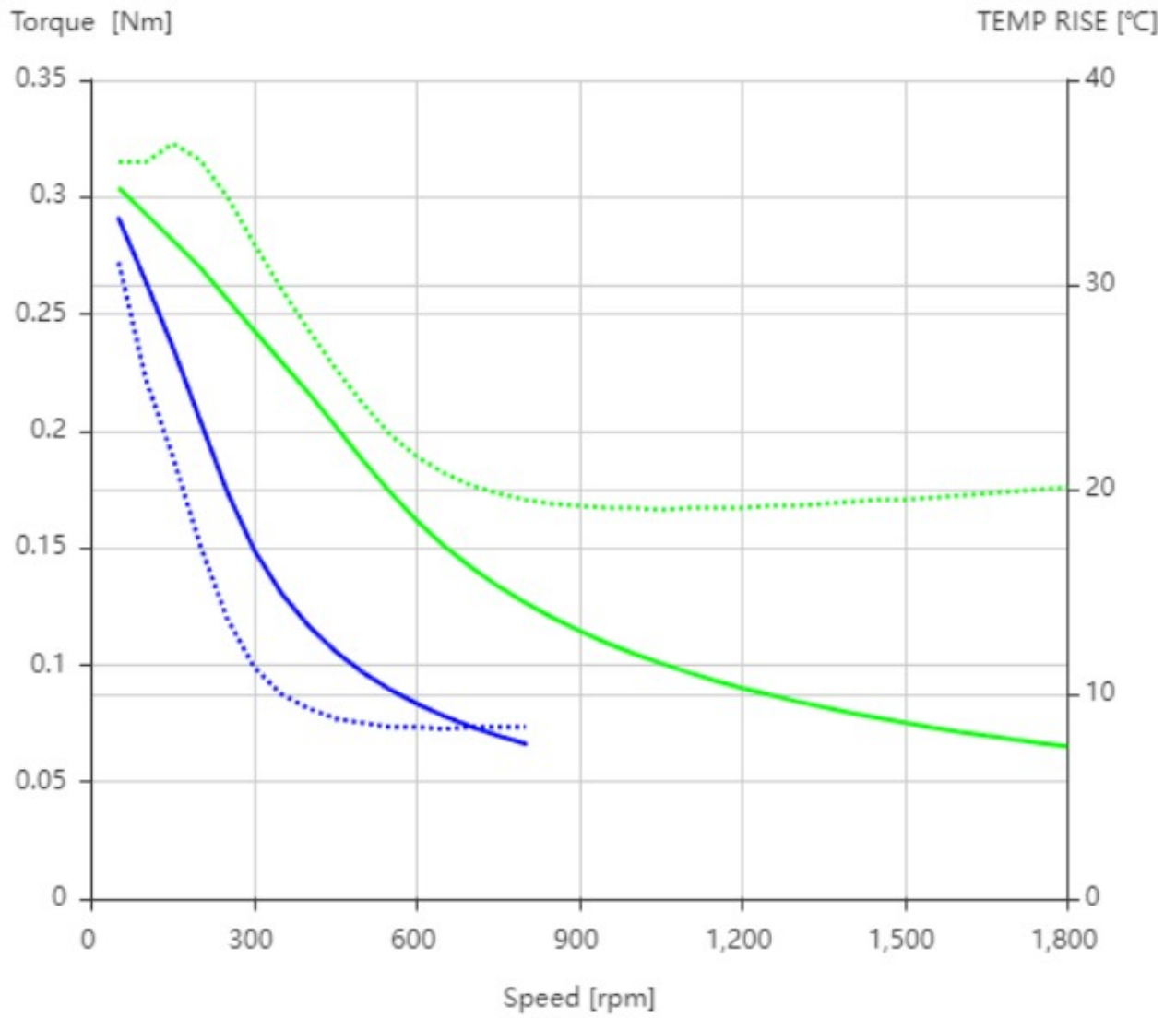


Рисунок 3.16 – Графік залежності моменту від швидкості

Таблиця 3.1 – Пояснювальні позначення до графіку

MS14HS5P4100	Крутний момент	Підвищення температури
12 В постійного струму 1 А середньоквадратичного значення		
24 В постійного струму 1 А середньоквадратичного значення		

Однією з ключових переваг MS14HS5P4100 є його компактність і легкість. Він виготовлений з високоякісних матеріалів, що забезпечують тривалий термін служби навіть у важких умовах експлуатації. Двигун досить тихий під час роботи, що робить його придатним для використання в середовищах, де важливий низький рівень шуму.

Таблиця 3.2 – Характеристика крокових двигунів

Характеристика	17HS6001	MS14HS5P4100
Стандарт	NEMA 17	NEMA 14
Розміри (мм)	42x42x48	35x35x34
Крутний момент (Нм)	0,5	0,4
Крок (градуси)	1,8	1,8
Напруга (В)	12-24 В	12-24 В
Струм на фазу (А)	до 1.7	до 1
Сумісні драйвери	A4988, DRV8825 та інші	A4988, DRV8825 та інші
Вага (г)	550 г.	240 г.
Основні переваги	Потужність	Компактність, легкість
Ціна	1045.50 грн.	300 грн.

Вибір на користь MS14HS5P4100 є обґрунтованим завдяки його компактності, легкості і достатній потужності для модернізації ЧПК верстата. Цей двигун забезпечує високу точність і простоту в інтеграції.

Драйвер для двигуна є критично важливим компонентом для ЧПК верстата, оскільки він забезпечує точне керування кроковими двигунами. В контексті модернізації існуючого верстата оптимальним вибором є драйвер A4988.

A4988 (рисунок 3.17) - це мікроконтролерний драйвер крокових двигунів, розроблений для точного керування двигунами в автоматизованих системах. Він здатний керувати двигунами за допомогою мікрокрокового режиму, що дозволяє збільшити роздільну здатність і досягти більш плавного руху. Цей драйвер підтримує режими повного, половинного, четвертного,

восьмого та шістнадцятого кроку, що забезпечує гнучкість у налаштуваннях для різних завдань.

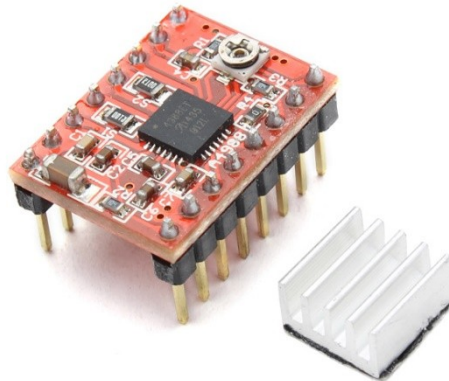


Рисунок 3.17 – Драйвер A4988

A4988 має компактний розмір, що робить його ідеальним для інтеграції в проекти з обмеженим простором. Він може працювати при напрузі від 8 до 35 В, забезпечуючи струм до 2 А на фазу, що дозволяє використовувати його з широким спектром крокових двигунів, включаючи NEMA 14 та NEMA 17. Вбудований захист від перегріву, перевантаження по струму і короткого замикання забезпечує надійну роботу навіть в умовах інтенсивного використання.

У використанні з двигунами, такими як MS14HS5P4100, A4988 дозволяє досягти високої точності та стабільності роботи, що є необхідним для ЧПК верстатів. Завдяки можливості мікрокрокування, рух робочих елементів стає більш плавним і точним, що особливо важливо при виконанні складних гравірувальних робіт. З точки зору монтажу, A4988 легко інтегрується з більшістю популярних контролерів, таких як Arduino [20].

При модернізації ЧПК станка було вирішено залишити лазер LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V (рисунок 3.18), оскільки його характеристики повністю задовольняють умови гравірування. Цей лазер має вихідну потужність 80 ват, що дозволяє виконувати високоякісне гравірування на різних матеріалах, таких як дерево, пластик, акрил та деякі метали. Завдяки

високій потужності, LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V забезпечує точне та швидке різання, що значно підвищує продуктивність роботи верстата [21].



Рисунок 3.18 – Лазер LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V

Лазер працює при напрузі 24 вольти, що є стандартним для багатьох систем ЧПК, і це робить його сумісним з іншими компонентами модернізованого верстата. Однією з ключових особливостей LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V є його здатність до точного фокусування, що дозволяє отримувати чіткі та детальні зображення навіть при роботі з дрібними деталями. Це особливо важливо для гравірувальних завдань, де вимоги до точності є надзвичайно високими. Лазер має вбудовану систему охолодження, яка запобігає його перегріванню під час тривалої роботи, що додає до його надійності та довговічності. Також є можливість обдувки повітрям через сопло, що дозволяє відводити маленькі частинки та дим під час роботи. Це дозволяє підвищити якість гравірування в рази

Враховуючи всі ці характеристики, LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V є відмінним вибором для гравірувальних робіт, оскільки забезпечує необхідну потужність, точність і надійність. Це робить його ідеальним компонентом для модернізованого ЧПК верстата, здатного виконувати складні гравірувальні завдання з високою якістю.

Компресор АСО-001А (рисунок 3.19) є оптимальним вибором для забезпечення обдувки повітрям лазера LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V. Цей компресор компактний і потужний, здатний забезпечити стабільний потік повітря, необхідний для ефективного відведення випарів і диму, що утворюються під час гравірування.

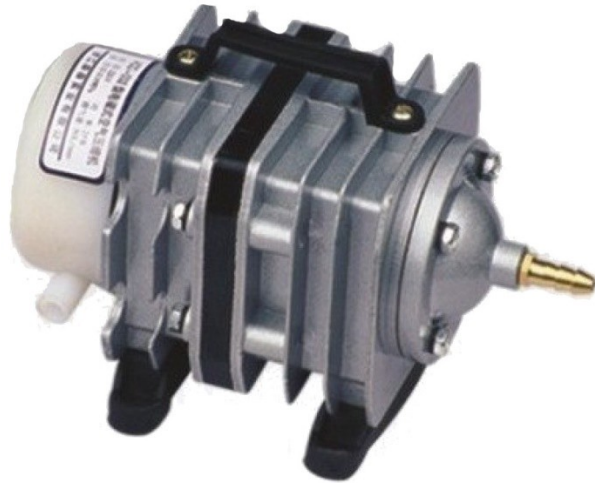


Рисунок 3.19 – Компресор АСО-001А

Компресор АСО-001А має продуктивність близько 45 літрів на хвилину, що є достатнім для підтримки чистоти робочої поверхні та охолодження матеріалу. Це запобігає перегріванню і знижує ризик пошкодження оброблюваного матеріалу. Крім того, його робочий тиск становить до 0.015 МПа, що ідеально підходить для завдань обдувки в гравірувальних верстатах.

Підключення компресора АСО-001А до лазера LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V є досить простим процесом. Перш за все, компресор слід розмістити неподалік від верстата, щоб мінімізувати втрати тиску повітря. Потім необхідно використовувати гнучкий повітряний шланг, щоб з'єднати вихідний патрубок компресора з відповідним входним отвором на лазері. Шланг повинен бути надійно закріплений з обох кінців за допомогою хомутів, щоб уникнути будь-яких витоків повітря [22].

Вибір блоку живлення є важливим аспектом модернізації ЧПК верстата, оскільки він забезпечує стабільну та надійну подачу електроенергії

до всіх компонентів системи. Mean Well 200W LRS-200-24 (рисунок 3.20) є оптимальним вибором завдяки своїм характеристикам та надійності. Цей блок живлення забезпечує вихідну потужність 200 ват і вихідну напругу 24 вольти, що є стандартним для багатьох компонентів ЧПК систем. Він має компактні розміри та вентилятор для активного охолодження, що дозволяє уникнути перегріву під час тривалої роботи. Його ефективність становить приблизно 90%, що забезпечує ефективне використання електроенергії та зменшує витрати на енергоспоживання.



Рисунок 3.20 – Блок живлення Mean Well 200W LRS-200-24

Mean Well 200W LRS-200-24 також оснащений захистами від перевантаження, перенапруги та короткого замикання, що підвищує його надійність та безпеку використання. З потужністю 200 ват цей блок живлення є більш ніж достатнім для гравірувального лазера LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V, який потребує стабільної напруги 24 вольти для ефективної роботи. Лазер потужністю 80 ват вимагає надійного живлення для підтримки стабільного світлового потоку, і Mean Well 200W LRS-200-24 забезпечує цю стабільність, що гарантує високу якість гравірування та довговічність роботи всього верстата. Завдяки своїм характеристикам, цей блок живлення є оптимальним вибором для модернізації ЧПК верстата,

забезпечуючи необхідну потужність і надійність для всіх його компонентів [23].

3.3 Вибір програмного забезпечення

Вбудоване програмне забезпечення для ЧПК-верстатів є критичним компонентом, що забезпечує роботу та управління машиною. Це програмне забезпечення виконує функції інтерпретації інструкцій, наданих у вигляді коду, і перетворення їх на конкретні команди для руху та обробки матеріалів. Важливим елементом цього програмного забезпечення є інтерпретатор G-коду.

G-код – це стандартна мова програмування для керування ЧПК-верстатами, яка використовується для визначення траєкторії інструмента, швидкості його руху, а також інших параметрів обробки. Серед найрозповсюдженіших програм, які можуть оперувати G-кодом є: Mach3, Mach4 та GRBLю

Mach3 – це популярне програмне забезпечення для керування ЧПК-верстатами, яке широко використовується завдяки своїй гнучкості та відносній доступності. Випущене компанією ArtSoft, Mach3 дозволяє перетворити звичайний комп'ютер з Windows на потужний контролер для ЧПК. Воно підтримує широкий спектр обладнання, включаючи крокові та серводвигуни, і сумісне з численними платами керування.

Однією з головних переваг Mach3 є його інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє легко налаштовувати та керувати верстатом. Програмне забезпечення має безліч функцій, таких як автоматичне управління шпинделем, контроль швидкості подачі та підтримка макросів на основі мови програмування VBScript. Однак, незважаючи на всі переваги, Mach3 має деякі обмеження, зокрема, пов'язані з його віком. Програма може бути менш стабільною на сучасних операційних системах, а також має обмеження щодо підтримки нових технологій та апаратних засобів.

Mach4 – це оновлена версія Mach3, яка пропонує покращену продуктивність, стабільність та нові функціональні можливості. Розроблена з урахуванням сучасних вимог до ЧПК-верстатів, Mach4 забезпечує більш точне та ефективне управління верстатом. Це програмне забезпечення має повністю перероблений інтерфейс, який дозволяє гнучко налаштовувати систему під конкретні потреби користувача. Mach4 підтримує більш широкий спектр обладнання та може працювати з різними операційними системами, включаючи сучасні версії Windows.

Основною перевагою Mach4 є його потужність та гнучкість. Програма підтримує багатозадачність, що дозволяє обробляти складні процеси одночасно, і має вдосконалені алгоритми для обробки рухів, що забезпечує високу точність та швидкість роботи. Крім того, Mach4 пропонує розширені можливості для автоматизації за допомогою скриптів та макросів, що дозволяє створювати складні програми для управління верстатом. Недоліками Mach4 є його вища вартість у порівнянні з Mach3, а також потреба в більш складному налаштуванні, що може вимагати додаткових технічних знань від користувачів.

GRBL – це безкоштовне, відкрито розповсюджуване програмне забезпечення для керування ЧПК-верстатами, яке зазвичай використовується на мікроконтролерах, таких як Arduino. GRBL написаний мовою C та працює безпосередньо на мікроконтролері, що забезпечує високу ефективність і низькі затрати на апаратне забезпечення. Основною перевагою GRBL є його простота та легкість у використанні, що робить його ідеальним для невеликих проектів та хобі.

GRBL підтримує основні функції керування ЧПК-верстатами, включаючи тривісне позиціонування, управління швидкістю шпинделя та базову обробку рухів. Завдяки своїй відкритій архітектурі, GRBL має активну спільноту користувачів та розробників, що постійно вдосконалюють програмне забезпечення та додають нові функції. Недоліком GRBL є його обмежена функціональність у порівнянні з Mach3 та Mach4, а також менша

потужність через використання мікроконтролерів з обмеженими ресурсами. Це робить GRBL менш підходящим для складних та високопродуктивних задач, але він залишається відмінним вибором для простих і бюджетних проектів.

З огляду на потреби модернізації ЧПК-верстата для навчальних цілей, GRBL є найкращим вибором. Це програмне забезпечення забезпечує достатню функціональність для базового керування верстатом, при цьому залишається легким у налаштуванні та використанні. Його відкритість та активна підтримка спільноти дозволяють легко знайти допомогу та ресурси для вирішення будь-яких проблем. Крім того, GRBL працює на недорогих мікроконтролерах, що дозволяє мінімізувати витрати на апаратне забезпечення, роблячи його ідеальним для освітніх проектів.

Для створення G-коду було обрано програму LaserGRBL, адже вона є популярним програмним забезпеченням для керування лазерними гравірувальними машинами, яке використовує прошивку GRBL. Це безкоштовне та відкрите програмне забезпечення, що надає користувачам зручний інтерфейс для роботи з ЧПК-гравірувальними верстатами.

Однією з головних переваг LaserGRBL є його сумісність з прошивкою GRBL, що забезпечує стабільну та надійну роботу верстатів. GRBL прошивка працює на мікроконтролерах Arduino, забезпечуючи обробку G-кодів і керування рухами верстата з високою точністю. Це програмне забезпечення може працювати з широким спектром лазерних гравірувальників, роблячи його універсальним рішенням для різних завдань.

LaserGRBL дозволяє легко завантажувати та редагувати файли зображень або векторних графік, які потім перетворюються на G-код для гравірування. Програма підтримує різні формати файлів, включаючи BMP, JPG, PNG, а також SVG для векторних зображень. Користувач може налаштовувати параметри гравірування, такі як швидкість руху лазера, потужність лазера та інші налаштування, що дозволяє досягти високої якості гравірування.

Ще однією важливою функцією LaserGRBL є можливість попереднього перегляду G-коду перед початком роботи. Це дозволяє користувачу візуально перевірити траєкторію руху лазера та внести необхідні корективи перед стартом гравірування, що зменшує ризик помилок і втрат матеріалу.

Програмне забезпечення також включає функції калібрування та налаштування верстата, що дозволяє забезпечити точне позиціонування лазера і оптимізувати процес гравірування. LaserGRBL підтримує функції автоматичного фокусування та компенсації нерівностей поверхні, що значно покращує якість кінцевого результату.

3.4 Розрахунок двигуна

Далі потрібно обрахувати моменти сили двигунів для кожної вісі окремо. Крутний момент кожного крокового двигуна MS14HS5P4100 дорівнює $0.4 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Розрахунок двигунів на повздовжній вісі. Відстань від валу двигуна до шківу ремня складає $d = 1,5 \text{ см}$. Саме на цій відстані шків рухає двигун відносно зафіксованого ремня. Загальна маса повздовжніх кареток, поперечної каретки та двигуна, лазера та поперечної вісі складає $m = 1,1 \text{ кг}$. Коефіцієнт тертя між алюмінієвим шківом та гумовим ремнем складає $\mu = 0,76$ [24].

Реакція сили опори:

$$N = m \cdot g \quad (3.1)$$

де $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення земного тяжіння.

$$N = 1,1 \cdot 9,8 = 10,78 \text{ Н}$$

Сила тертя, що виникає на початку переміщення:

$$F_{\text{тер}} = \mu \cdot N \quad (3.2)$$

$$F_{\text{тер}} = 0,76 \cdot 10,78 = 8,2 \text{ Н}$$

Загальний момент сили, що припадає на вали двигунів:

$$M_{\text{заг}} = F_{\text{тер}} \cdot d \quad (3.3)$$

$$M_{\text{заг}} = 8,2 \cdot 0,015 = 0,12 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Загальний момент слід розділити на кожен двигун окремо:

$$M = \frac{M_{\text{заг}}}{2} \quad (3.4)$$

$$M = \frac{0,12}{2} = 0,06 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент, який припадає на кожен двигун окремо, майже в 6,5 разів менший за максимальний момент двигуна за паспортними даними. Крокові двигун зможуть переміщувати поперечну вісь без перешкод.

Розрахунок двигуна на поперечній вісі. Відстань від валу двигуна до шківу ремня така сама і складає $d = 1,5$ см. Загальна маса каретки з двигуном та лазером складає $0,54$ кг.

Реакція сили опори:

$$N = 0,54 \cdot 9,8 = 5,3 \text{ Н}$$

Сила тертя, що виникає на початку переміщення:

$$F_{\text{тер}} = 0,76 \cdot 5,3 = 4 \text{ Н}$$

Момент сили, що припадає на валу двигуна:

$$M = 4 \cdot 0,015 = 0,06 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

За результатами обрахунків можна зробити висновок, що двигуни на повздовжній вісі та двигун на поперечній вісі зможуть виконувати поставлену задачу переміщення кареток.

4. КОНСТРУЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ВЕРСТАТУ

4.1 Складання рами

Рама складається з:

- двох поперечних профілях V-slot довжиною 600 мм, шириною та товщиною 20 мм х 20 мм;
- двох повздовжніх профілях V-slot довжиною 600 мм, шириною та товщиною 20 мм х 40 мм;
- чотирьох ніжках з дерева;
- сполучних пластин 90 градусів товщиною 3 мм.

Основа (рисунок 4.1) закріплюється на гвинтах M5x12 та Т-гайках M5, які вкладаються в профіль.

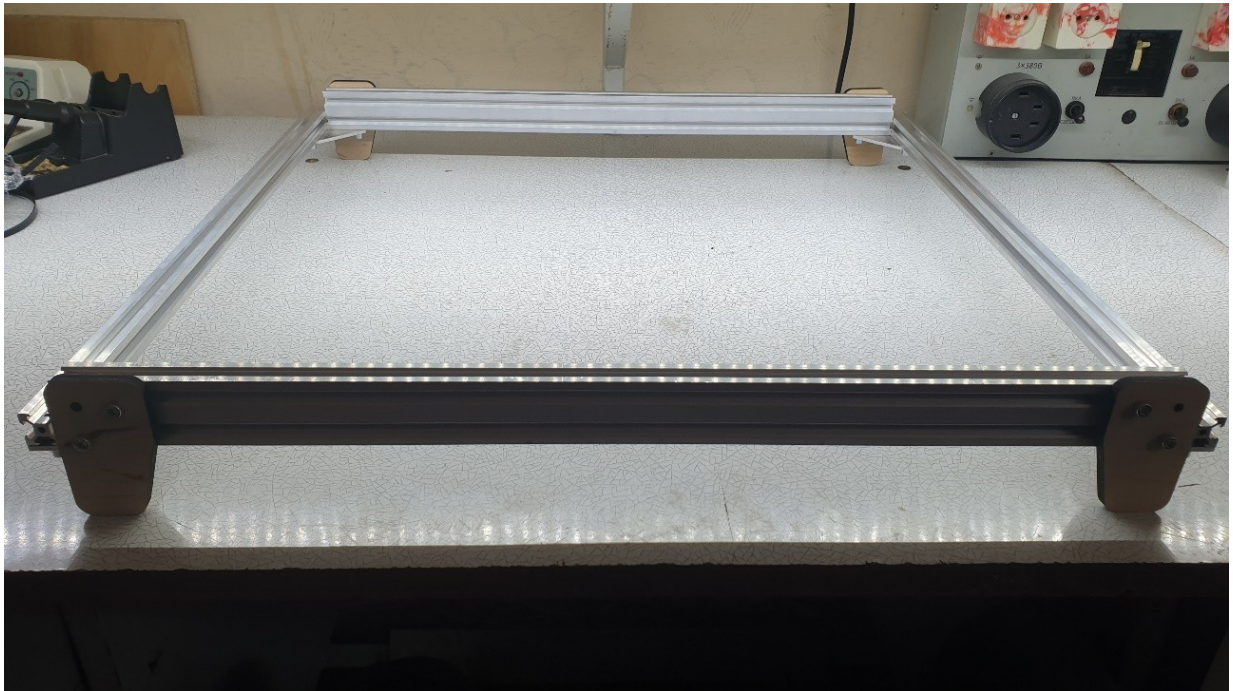


Рисунок 4.1 – Основа верстату

Наступний крок – встановлення двигуна в каретку (рисунок 4.2).

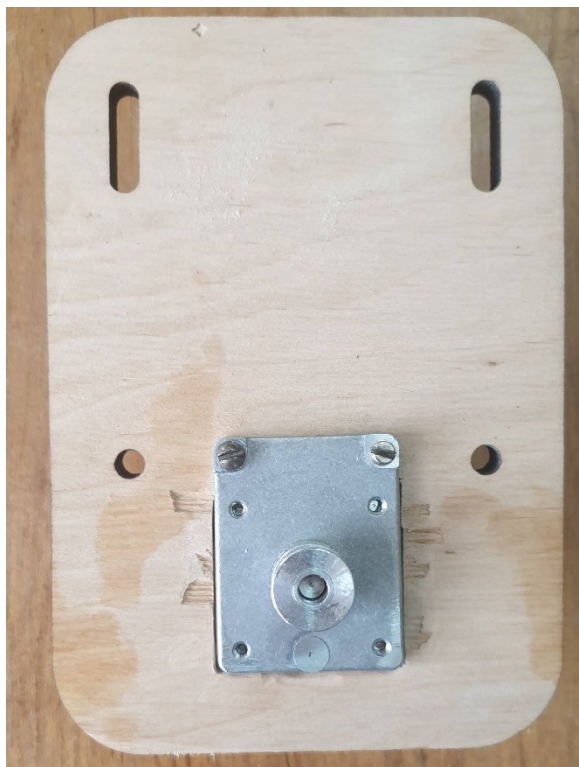


Рисунок 4.2 – Встановлення крокового двигуна в каретку

Далі ці каретки встановлюються на повздовжні вісі, протягнувши ремінь під роликами та над шківом, через гвинти M5x35, плоскі шайби, проставку 9 мм, направляючий ролик та закріплюється на самостопорних гайках M5. Блок керування кріпиться на поперечний профіль (рисунок 4.3).

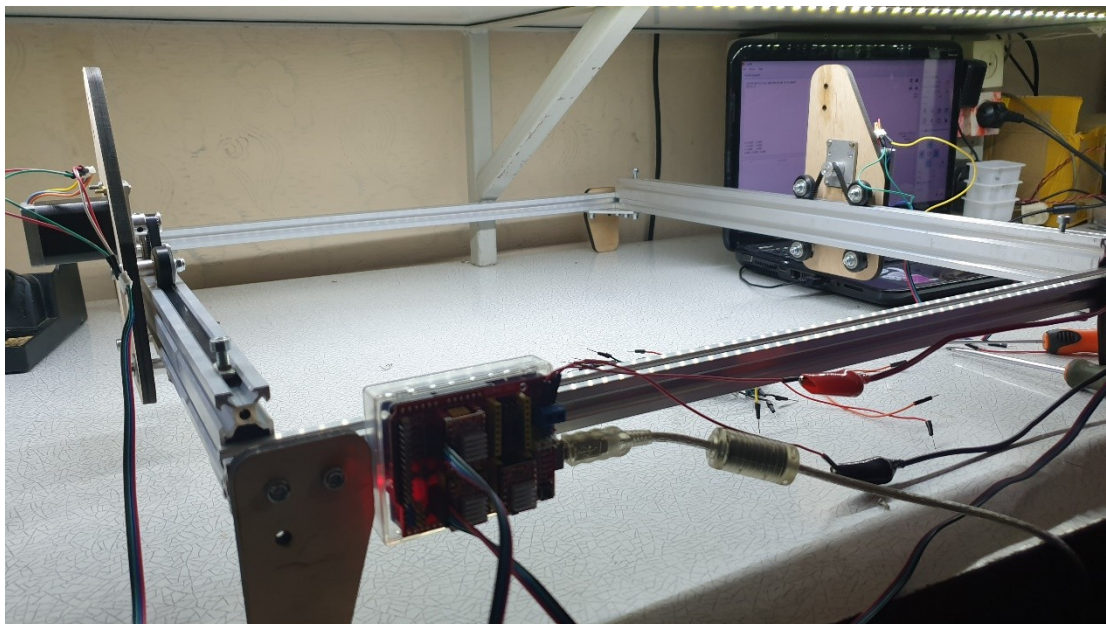


Рисунок 4.3 – Основа з встановленими каретками та контролером

Поперечна вісь являє собою профіль V-slot довжиною 690 мм шириною та товщиною 20 мм х 40 мм. Перед її встановленням між каретками на поперечних осях її слід обрізати на 70 мм та прорізати різьбу M5 в отворах (рисунок 4.4).

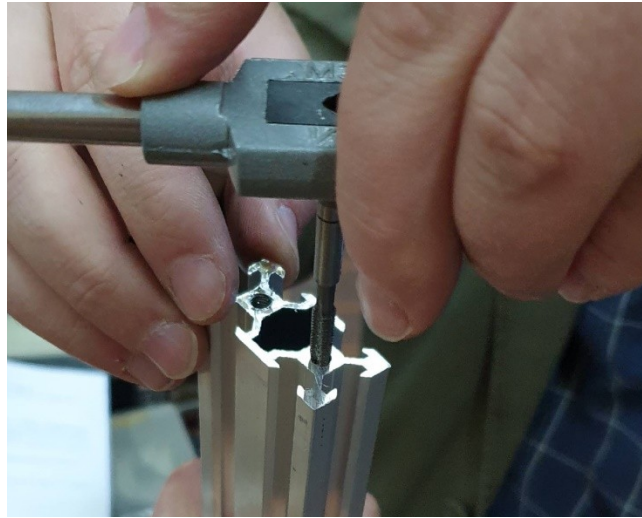


Рисунок 4.4 – Нарізання різьби в профілі

Після цього через поперечну вісь протягується чотири кабелі для керування та живлення двигуна, що знаходиться з правої сторони, і закріплюється на каретці (рисунок 4.5).

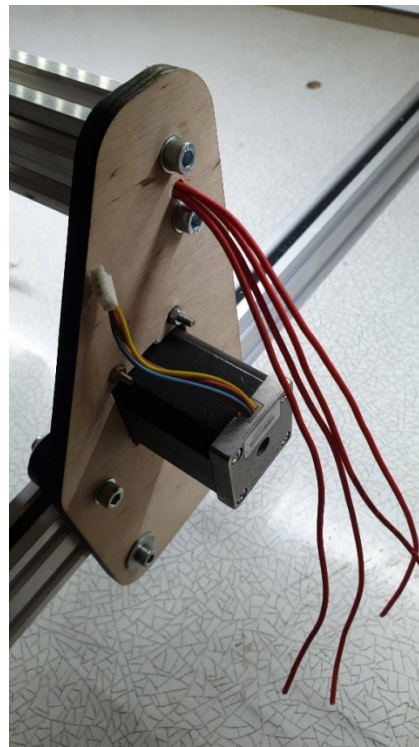


Рисунок 4.5 – Закріплена поперечна вісь

Виводи двигуна спаюються з кабелями і ізолюються (рисунок 4.6).

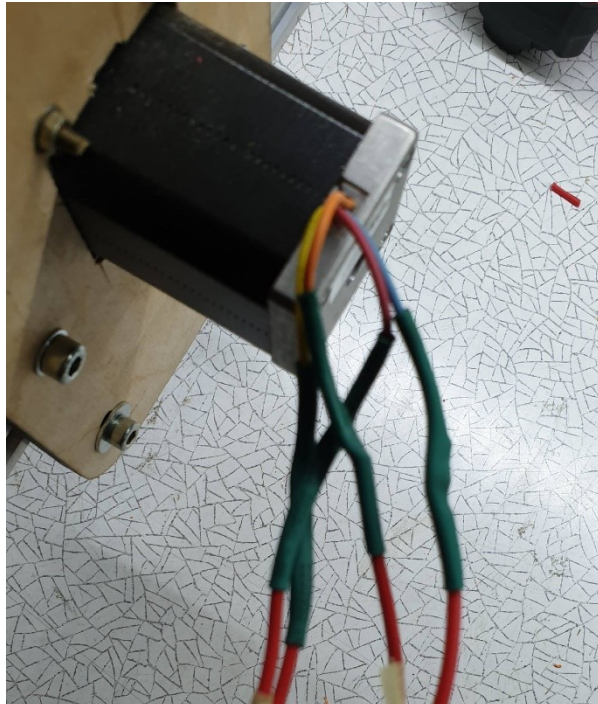


Рисунок 4.6 – Спаяні та ізольовані виводи двигуна

Потім на поперечну вісь кріпиться каретка (рисунок 4.7), що складається з першої частини на якій монтується двигун, а на другій кріплення для лазера.

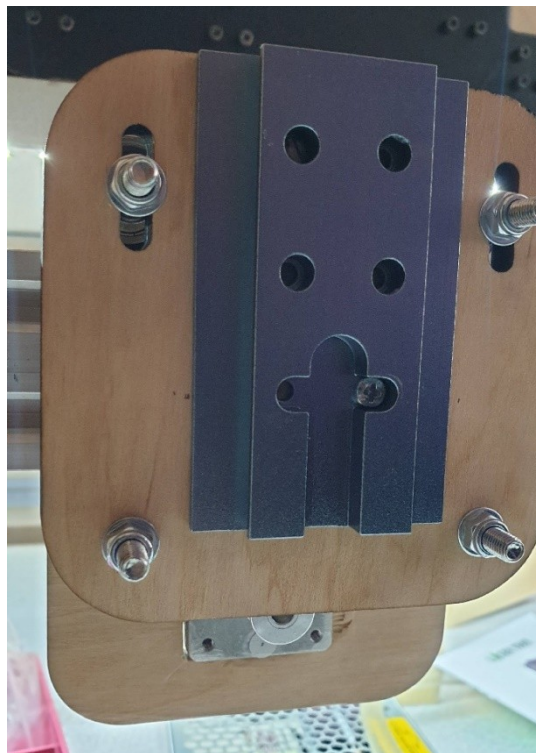


Рисунок 4.7 – Встановлена каретка на поперечній вісі

Для підтримки та захисту кабелів було використано гофру з внутрішнім діаметром 15 мм та поліефірну сітку (рисунок 4.8).

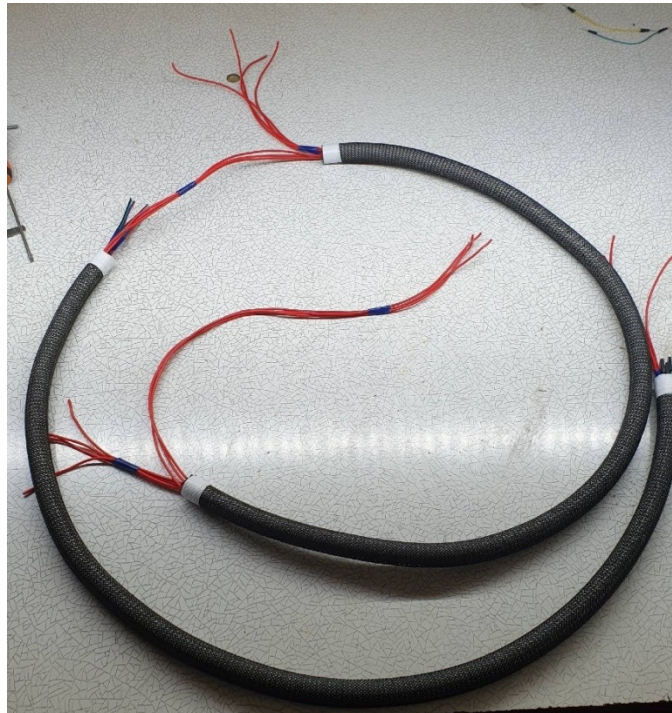


Рисунок 4.8 – Кабель в гофрі

Для нормального функціонування, підтримки та захисту кабелів, гофру було закріплено стяжками на лівій повздовжній каретці (рисунок 4.9) та каретці, що рухається на поперечній вісі (рисунок 4.10).



Рисунок 4.9 – Закріплена гофра на повздовжній каретці

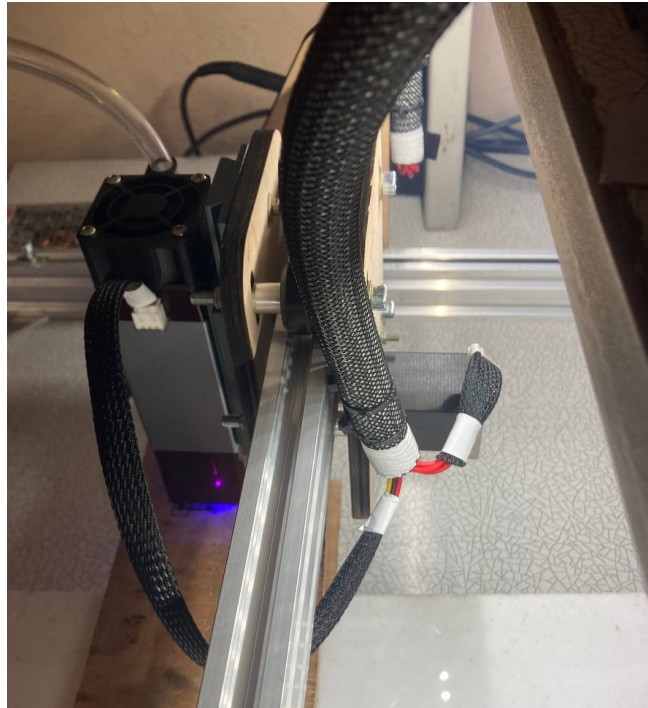


Рисунок 4.10 – Закріплена гофра на поперечній каретці

4.2 Програмування верстату та підключення

Для завантаження програмного забезпечення GRBL на плату Arduino Uno потрібно завантажити та встановити спеціальну бібліотеку GRBL v0.9j[25]. На рисунку 4.11 показано, що встановлення бібліотеки успішне

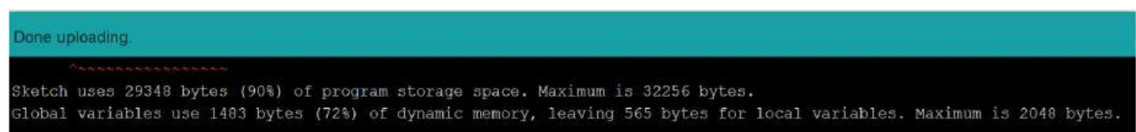
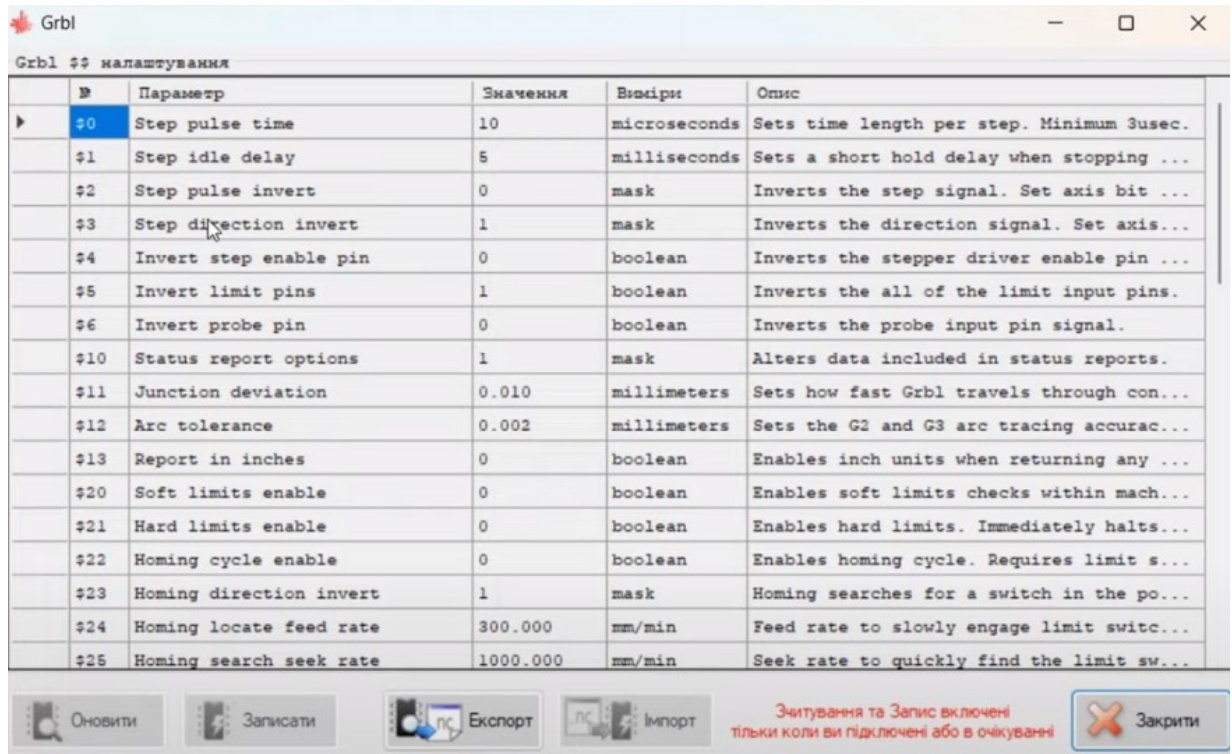


Рисунок 4.11 – Успішне встановлення бібліотеки

Після цього слід налаштувати верстат через програму LaserGRLB[26]. На рисунку 4.12 зображено тестову конфігурацію, яка в майбутньому може змінитись.



The screenshot shows the 'Grbl' configuration window with a table of parameters. The table has five columns: ID, Parameter, Value, Units, and Description. The parameters are listed as follows:

ID	Parameter	Value	Units	Description
\$0	Step pulse time	10	microseconds	Sets time length per step. Minimum 3usec.
\$1	Step idle delay	5	milliseconds	Sets a short hold delay when stopping ...
\$2	Step pulse invert	0	mask	Inverts the step signal. Set axis bit ...
\$3	Step direction invert	1	mask	Inverts the direction signal. Set axis...
\$4	Invert step enable pin	0	boolean	Inverts the stepper driver enable pin ...
\$5	Invert limit pins	1	boolean	Inverts the all of the limit input pins.
\$6	Invert probe pin	0	boolean	Inverts the probe input pin signal.
\$10	Status report options	1	mask	Alters data included in status reports.
\$11	Junction deviation	0.010	millimeters	Sets how fast Grbl travels through con...
\$12	Arc tolerance	0.002	millimeters	Sets the G2 and G3 arc tracing accurac...
\$13	Report in inches	0	boolean	Enables inch units when returning any ...
\$20	Soft limits enable	0	boolean	Enables soft limits checks within mach...
\$21	Hard limits enable	0	boolean	Enables hard limits. Immediately halts...
\$22	Homing cycle enable	0	boolean	Enables homing cycle. Requires limit s...
\$23	Homing direction invert	1	mask	Homing searches for a switch in the po...
\$24	Homing locate feed rate	300.000	mm/min	Feed rate to slowly engage limit switc...
\$25	Homing search seek rate	1000.000	mm/min	Seek rate to quickly find the limit sw...

At the bottom of the window, there are buttons for 'Оновити' (Refresh), 'Зберегти' (Save), 'Експорт' (Export), 'Імпорт' (Import), and 'Закрити' (Close). A warning message states: 'Зчитування та Запис вклучені тільки коли ви підключені або в очікуванні' (Reading and Writing are only enabled when you are connected or waiting).

Рисунок 4.12 – Конфігурація в LaserGRBL

Наступним кроком є налаштування CNC-Shield (рисунок 4.13). Для ініціалізації плати необхідно замкнути піни EN/GND, на рисунку обведено помаранчевою лінією. Ці і наступні піни замикаються джампером.

Два крокових двигуна повинні рухатись в одному напрямку, тому для цього закорочуються піни у виділені червоною лінією.

Дільник кроку становить 1/32. Щоб встановити таке налаштування необхідно закоротити піни M0, M1 та M2 під кожним драйвером.

Для під'єднання драйвера A4988 до плати доповнення необхідно узгодити виводи A1, A2, B1, B2. Роз'єми для підключення обведені сірою лінією.

Роз'єми крокового двигуна підключаються відповідно до пінів A1, A2, B1, B2 на платі розширення. Якщо підключити інакше, двигун не буде виконувати роботу правильно.

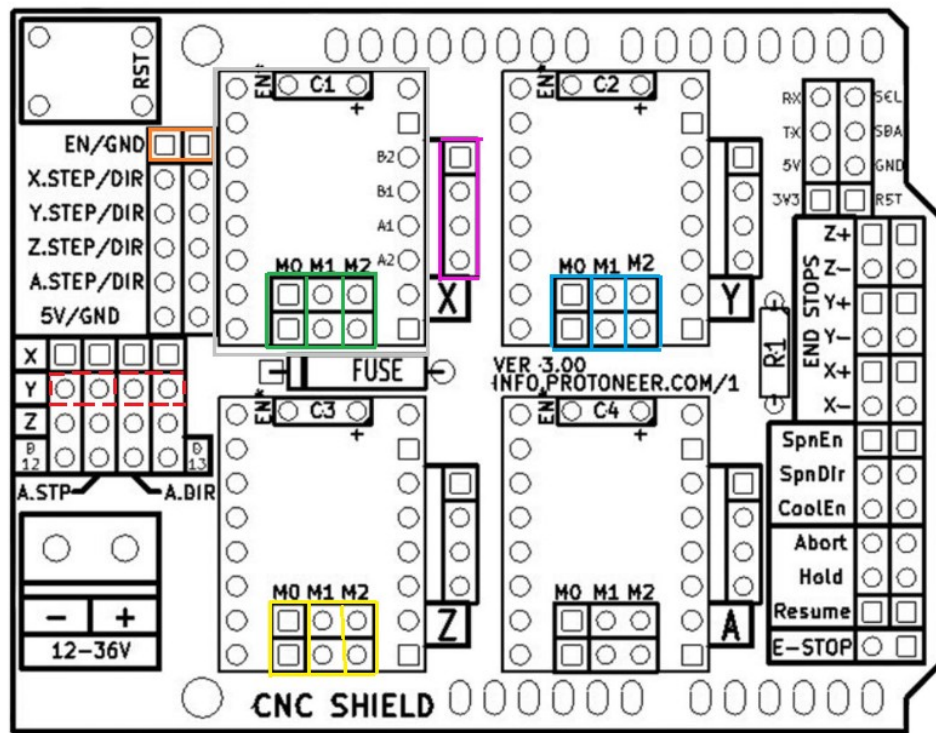


Рисунок 4.13 – Підключення на виводів на платі розширення

Після налаштування плати розширення її потрібно підключити на плату контролера Arduino Uno згідно виводів , які зображені на схемі (Рисунок 4.14)[27].

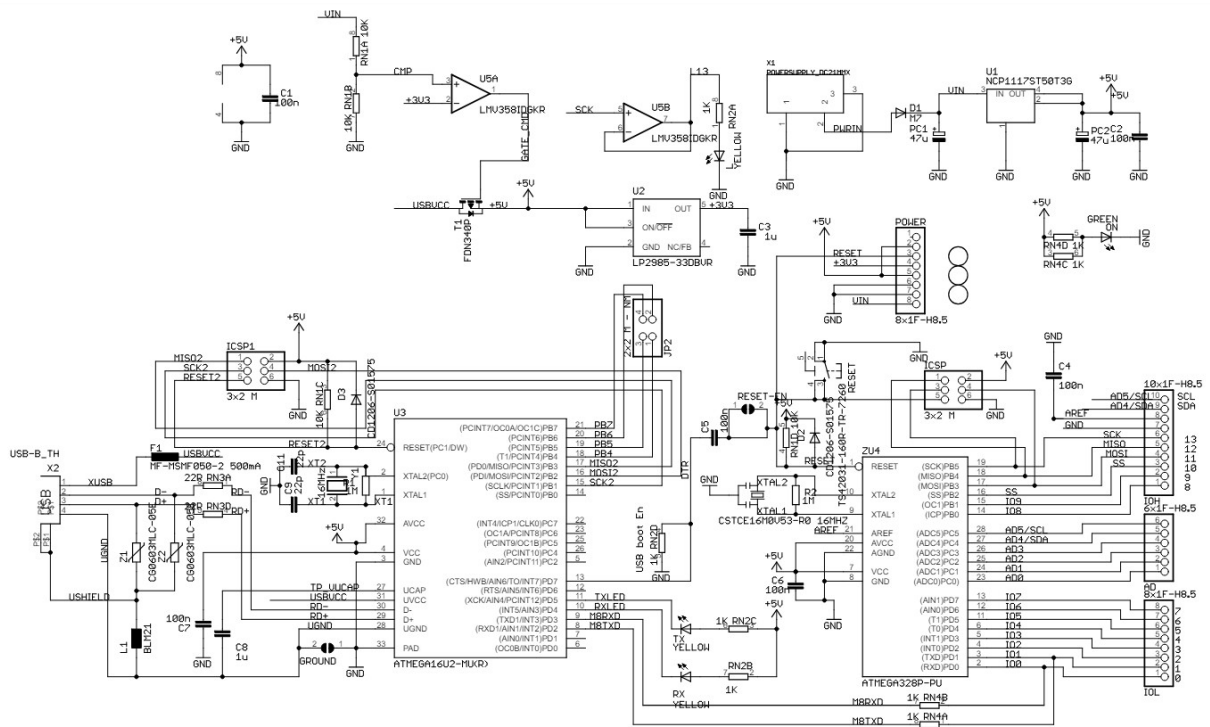


Рисунок 4.14 – Електронна схема Arduino Uno rev.3

4.3 Тестування роботи верстата

Для аналізу якості зображення було вирішено вигравіювати тестове зображення, яке є в програмному середовищі LaserGRBL. (рисунок 4.15)



Рисунок 4.15 – Тестовий рисунок

Процес гравірування (рисунок 4.16).

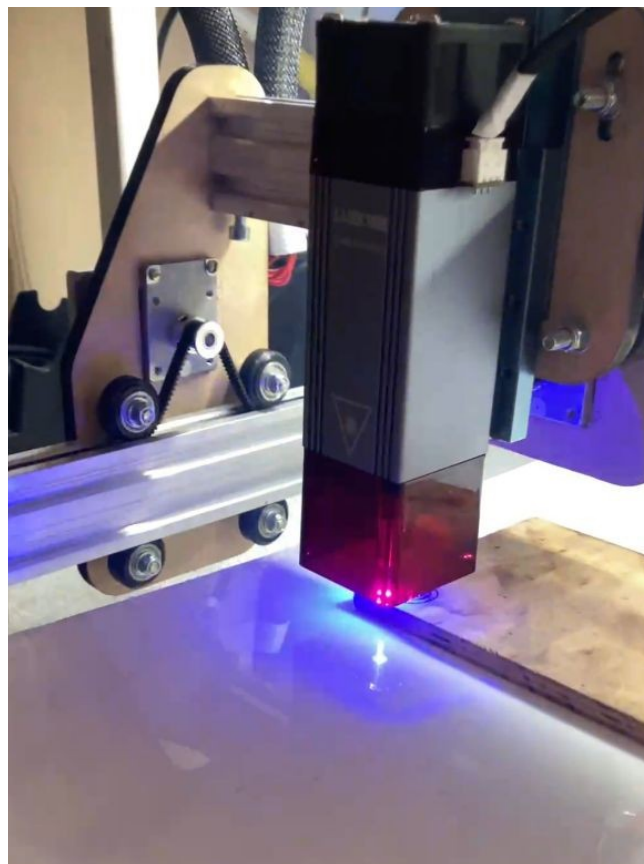


Рисунок 4.16 – Процес гравірування

На рисунку 4.17 видно результат гравірування. Допуск точності становить 0,3 мм.



Рисунок 4.17 – Результат гравірування

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розділ бакалаврської роботи присвячений дотримання вимог охорони праці під час монтажу та обслуговування електропривода гравірувального верстата з ЧПУ. Отже, на оперативно-ремонтний персонал, що здійснює монтаж та обслуговування електропривода гравірувального верстата, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [28, 29]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечної організації обслуговування улектрообладнання

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць під час виконання робіт

Живлення обладнання підприємства та систем освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В), з'єднаної з силовим

трансформатором. Категорія умов за небезпекою електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю на об'єктах, що будуються та реконструюються, струмопровідної підлоги.

Для забезпечення робіт, що їх провадять в колах вимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту, всі вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів струму і напруги слід постійно заземлювати. За необхідності розриву кола струму вимірювальних приладів і реле кола вторинної обмотки трансформатора струму попередньо закорочується на спеціально призначених для цього затискачах [31, 32].

Розривати кола, підключені до вторинної обмотки трансформатора струму, забороняється. За необхідності розриву цих кіл вони мають бути попередньо замкнуті перемичкою, встановленою до передбачуваного місця розриву (рахуючи від трансформатора струму). Під час встановлення перемички слід застосовувати інструмент з ізолювальними рукоятками.

Під час роботи на трансформаторах струму або в колах, підключених до їх вторинних обмоток, слід виконувати такі заходи безпеки: зажими вторинних обмоток до закінчення монтажу кіл, що до них підключаються, мають бути замкнені накоротко. Після приєднання змонтованих кіл до трансформатора струму закоротку слід переносити на найближчу збірку затискачів і знімати тільки після повного закінчення монтажу та перевірки правильності приєднання змонтованих кіл; під час перевірки полярності до подавання імпульсів струму в первинну обмотку прилади слід приєднувати до затискачів вторинної обмотки. Забороняється використовувати шини первинних обмоток як струмопровідні під час монтажних та зварювальних робіт.

Робота в колах пристроїв релейного захисту, електроавтоматики і телемеханіки (РЗАіТ) проводиться за виконавчими схемами. Під час робіт в пристроях РЗАіТ слід користуватися слюсарно-монтажним інструментом з ізолювальними рукоятками.

Під час перевірки кіл вимірювання, сигналізації, керування і захисту за необхідності в приміщенні електроустановок напругою понад 1000 В дозволяється залишатися одному члену бригади за умовами роботи (наприклад, регулювання вимикачів, перевірка ізоляції); працівник, який перебуває окремо від керівника робіт, повинен мати групу III. Під час робіт в колах трансформаторів напруги з подачею напруги від стороннього джерела знімаються запобіжники з боку вищої і нижчої напруги, а також відключаються автомати від вторинних обмоток.

За необхідності проведення будь-яких робіт в колах чи на апаратурі РЗАіТ за умови ввімкненого основного обладнання слід вжити додаткових заходів щодо запобігання його випадковому відключенню. Забороняється на панелях або поблизу місця розміщення релейної апаратури провадити роботи, які викликають сильний струс релейної апаратури, що може спричинити до помилкових дій реле.

Перемикання, вмикання і вимикання вимикачів, роз'єднувачів та іншої комутаційної апаратури, пускання і зупинення агрегатів, регулювання режиму їх роботи, необхідні під час налагодження або перевірки пристроїв РЗАіТ, провадять тільки оперативні працівники.

Записувати покази електrolічильників та інших вимірювальних приладів, встановлених на щитах керування і в РУ, дозволяється:

- одноособово працівникам з групою II за наявності місцевих оперативних працівників (з чергуванням двох осіб) і з групою III — без місцевих оперативних працівників;
- працівникам інших організацій з групою III у супроводі місцевого оперативного працівника.

Встановлення і зняття електrolічильників та інших вимірювальних приладів, підключених до вимірювальних трансформаторів, повинні провадити за нарядом зі зняттям напруги два працівники, один з яких повинен мати групу IV, а другий — групу III. За наявності в колах електrolічильників контактів (блоків), що дозволяють працювати без

розмикання кіл, підключених до вторинних обмоток трансформатора струму, ці роботи можна виконувати за розпорядженням, не знімаючи напруги зі схеми електролічильника. За відсутності вказаних контактів напругу і струм в колах електролічильника слід відключити.

Приєднання вимірювальних приладів, встановлення і зняття електролічильників, підключених до вимірювальних трансформаторів, за наявності випробувальних блоків або спеціальних затискачів, що дають змогу безпечно закорочувати кола струму, виконуються без зняття навантаження і напруги. Встановлення і зняття електролічильників безпосереднього ввімкнення допускається провадити за розпорядженням одному працівнику з групою III. Встановлення і зняття електролічильників, а також приєднання вимірювальних приладів виконуються зі зняттям напруги.

Роботи з електролічильниками на різних приєднаннях, розміщених в одному приміщенні, можна виконувати за одним нарядом (розпорядженням). Оформлення в наряді переходу з одного робочого місця на інше не вимагається.

5.1.2 Електробезпека

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам: для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні – написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

- при живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі. Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму КЗ.

залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

- електрозахисні засоби захисту. Електротехнічний персонал повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Забороняється користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт) [33]. Параметри мікроклімату в приміщенні наведено в таблиці 5.1.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора крану передбачається [34]:

- в холодну пору року – використання калорифера;
- в літню пору – застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву,
- провітрювання приміщень.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Теплий	Пб	15-29	70 при 25°С	0,2-0,5
Холодний	Пб	13-23	не більш 75	не більш 0,4

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК [32] наведено в таблиці 5.2.

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [33]: провітрювання приміщень; встановлення пиловловлюючих засобів.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м3		Клас небезпечності
	Максимально	Середньо добова	
Вуглецю оксид (СО)	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

5.2.3 Виробниче освітлення

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо освітлення на робочому місці працівника.

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [34] розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Норми при штучному, природньому та суміщеному освітленні наведено в таблиці 5.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення виробничих приміщень

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Роз-ряд зоро-вої робо-ти	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характе-ристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Серед-ньої точ-ності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий серед-ній вели-кий	Світ-лий Серед-ній Тем-ний	400	200	4	2,4

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

5.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [35].

Норми звукового тиску на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях наведено в таблиці 5.4.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Таблиця 5.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі (ширми, екрани тощо).

- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

5.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [36, 37]. Пожежо-вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [38], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [39].

Виробничі приміщення, де встановлено гравірувальний верстат, за вибухонебезпечною та пожежонебезпечною відноситься до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами П-ІІІ (зони в приміщеннях, де виділяється горючий пил чи волокна з нижньою концентраційною границею (НКТ) спалахування $> 65 \text{ г/м}^3$ до об'єму повітря, в яких зберігаються тверді горючі речовини – сировина, тара для її розфасовки тощо).

Будівлі ДП «Бучацький мальтозний завод», в яких розташовані ці приміщення, характеризуються ІІ-ІV ступенем вогнестійкості. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [40] наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, сходи, балки, марші сходових кліток	перекрыття між поверхами (у т.ч. горючі та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настли, прогони	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0, E 30, M1	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	
IV	REI 30 M1	REI 15 M1	E 15 M1	E1 15 M1	R 30 M1	R 15 M1	REI 15 M1	Не нормуються	

Межі вогнестійкості самонесучих стін, які враховуються в розрахунках жорсткості та стійкості будинку, приймають, як для несучих стін. Будівельні конструкції класифікують за вогнестійкістю та здатністю поширювати вогонь. Показником вогнестійкості є межа вогнестійкості конструкції, що визначається часом (у хвилинах) від початку вогневого випробування за стандартним температурним режимом до настання одного з граничних станів конструкції: втрати несучої спроможності (R); втрати цілісності (E); втрати тепло та ізолювальної спроможності (I).

Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [42] наведено в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні	Типи проти-	Мінімальна	Тип	Тип
--------------	-------------	------------	-----	-----

перешкоди	пожежних перешкод або їх елементів	межа вогнестійкості протипожежн ої перешкоди (у хвилинах)	заповнен ня прорізів, не нижче	протипо жежного тамбур- шлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	2	REI 60	2	1

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 5.7 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 5.7. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських, сільськогосподарських будинків і споруд слід приймати за таблицею 5.7 (знаменник).

Таблиця 5.7 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
II	6/9	8/9	10/12
III	8/9	8/12	10/15
IV	10/12	10/15	15/18

На території підприємства на кожному з об'єктів потрібно встановити від 2 до 5 вогнегасників ВП-5, ВВП-5 або аналогічних ємністю 6 або 9 л [43].

ВИСНОВКИ

У процесі роботи над дипломним проектом було проведено детальне дослідження історії створення та розвитку верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Верстати ЧПК з'явилися в середині 20-го століття і революціонізували виробничі процеси, дозволяючи досягти високої точності і повторюваності. З розвитком комп'ютерних технологій ці верстати стали доступними для малого та середнього бізнесу, а також для індивідуальних майстрів і освітніх закладів.

Було розглянуто основні терміни і поняття, що стосуються технології гравірування на верстатах ЧПК. Особлива увага приділялася розумінню процесів, таких як гравірування, різання, фрезерування, а також функціонуванню компонентів верстата, включаючи шпинделі, двигуни, драйвери, та системи керування. Це дозволило закласти міцну теоретичну базу для подальшої практичної роботи.

Проведений аналіз ринку настільних верстатів з ЧПК показав велику різноманітність моделей та їхніх характеристик. Було виявлено, що більшість комерційних моделей мають високу вартість, що обмежує їх доступність для освітніх цілей. На підставі цього було прийнято рішення створити власний верстат, що дозволило б знизити витрати і адаптувати конструкцію до специфічних потреб навчального процесу.

Для створення верстата було обрано контролер Arduino, драйвери крокових двигунів A4988, блок живлення Mean Well 200W LRS-200-24 та лазер LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V. Для програмного забезпечення обрали GRBL та LaserGRBL, що забезпечують ефективне керування верстатом і сумісність з обраними електронними компонентами. Ці рішення дозволили забезпечити надійну роботу системи при мінімальних витратах.

На основі вибраних компонентів було розроблено та виготовлено власний настільний верстат з ЧПК. Основна конструкція була виконана з використанням алюмінієвого профілю V-slot, що забезпечило міцність і

легкість конструкції. Під час збірки особлива увага приділялася точності монтажу і налаштуванню всіх компонентів для забезпечення стабільної роботи верстата.

Після завершення виготовлення верстата було проведено тестове гравірування. Результати тестування показали, що створений верстат відповідає всім заданим технічним вимогам. Він продемонстрував високу точність і стабільність роботи, що підтвердило правильність вибору компонентів і конструктивних рішень. Верстат успішно виконав всі заплановані завдання, що дозволяє використовувати його в навчальному процесі з високою ефективністю.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. History of CNC Machining / Bantam Tools // Published in CNC Life, 2019 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://medium.com/cnc-life/history-of-cnc-machining-part-3-from-the-factory-floor-to-the-desktop-b16cc35ef7be>
2. Навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів та машин» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В.). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 158с.
3. Числове програмне управління - основні характеристики [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://sitelab-15.dss-bi.com.ua/index.php/statti/4-chyslove-prohramne-upravlinnia-osnovni-kharakterystyky>
4. Laser Cutting Materials [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.xometry.com/resources/sheet/laser-cutting-materials/>
5. Advantages and Disadvantages of CNC Engraving [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://blog.thepipingmart.com/other/advantages-and-disadvantages-of-cnc-engraving/>
6. Гравер/лазерний різак Mesrow X5 Pro 33вт [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://sportpoint.in.ua/p-graver-lazernyj-rizak-mesrow-x5-pro-33vt.html>
7. Лазерний верстат-гравер S1 4030 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://shop-shok.com.ua/ua/p957194799-rama-lazernyj-standok.html>
8. Лазерний верстат-гравер S3 100100 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://shop-shok.com.ua/ua/p1895565897-lazernyj-standok-graver.html>
9. Профіль 20x40 V-slot 600мм 100100 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://diyshop.com.ua/ru/3d-printer/alyuminiyevyj-standoknyj-profil/>

[alyuminievyyj-stanochnyj-konstrukcionnyj-profil-20x40-2040-v-slot-bez-pokrytiya?sort=rating&order=ASC](#)

10. Пластина сполучна [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://diyshop.com.ua/ua/plastina-soedinitelnaya-90-gradusov-l-3-mm-dlya-konstrukcionnogo-profilja-serii-2020](#)

11. Зубчастий ремінь GT-2 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://diyshop.com.ua/ua/zubchatyj-remen-140-2gt-6-gt2-70-zubov-zamknutyj-kolcevoj](#)

12. Шків під ремінь GT-2 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://arduino.ua/prod2558-shkiv-20-gt2-6-pod-remen-gt2-1sht](#)

13. Ролик [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://diyshop.com.ua/rolik-koleso-napravlyayuschij-dlya-profilja-v-slot-2020-3030-rom-openbuilds-v-profile](#)

14. Контролер NodeMCU ESP8266 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://arduino.ua/prod1492-wi-fi-modul-nodemcu-esp8266](#)

15. Контролер Raspberry Pi 4 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://evo.net.ua/mikrokomputer-raspberry-pi-4-model-b-8gb/](#)

16. Контролер Arduino Uno ver.3 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://arduino.ua/prod676-arduino-uno-rev3](#)

17. Плата розширення CNC Shield V3 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://arduinokit.com.ua/ua/p1251430219-plata-rasshireniya-arduino.html](#)

18. Кроковий двигун 17HS6001 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://diyshop.com.ua/ua/shagovyj-dvigatel-nema-17-model-17hs6001](#)

19. Кроковий двигун MS14HS5P4100 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://www.moonsindustries.com/p/nema-14-standard-hybrid-stepper-motors/ms14hs5p4100-000004611110015374](#)

20. Драйвер A4988 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://www.mini-tech.com.ua/drayer-shagovogo-dvigatelya-a4988](#)

21. Лазер LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p2064891409-lazernyj-modul-laser.html>
22. Компресор АСО-001А [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zooera.com.ua/prud/prudovye-kompressory/resun-aco-001>
23. Блок живлення Mean Well 200W LRS-200-24 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://meanwell.kiev.ua/ua/p108358089-lrs-200-blok.html>
24. Material Contact Properties Table [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://atc.sjf.stuba.sk/files/mechanika_vms_ADAMS/Contact_Table.pdf
25. GRBL [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://github.com/grbl/grbl>
26. LaserGRBL [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://lasergrbl.com/>
27. Arduino Uno rev.3 datasheet [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>
28. 1. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
29. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.
30. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644.
31. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

32. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

33. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

34. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

35. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

36. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

37. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

38. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

39. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

40. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.

41. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек

[Електронний ресурс]. - Режим доступу:
https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

42. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

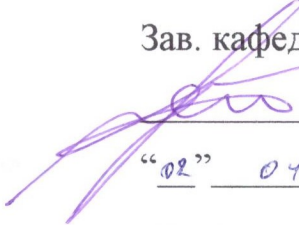
43. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників» [Електронний ресурс]. - Режим доступу:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

Додаток А

Міністерство освіти і науки України Вінницький національний технічний
університет Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КЕМСК к.т.н., доц.

 Микола МОШНОРИЗ

«02» 04 2024р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

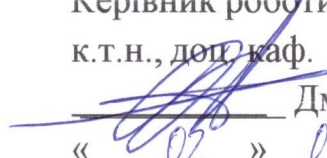
на бакалаврську дипломну роботу

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГРАВІРУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА З
ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ**

08-24.БДР.032.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доц. каф.

 Дмитро ПРОЦЕНКО

«02» 04 2024р.

Виконав: ст. гр. ЕМ-22мс

 Ярослав ЯЩУК

«02» 04 2024р.

Вінниця ВНТУ 2024

1. Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Модернізація електропривода гравірувального верстата з числовим програмним керуванням».

Скорочене найменування розробки – «Модернізація гравірувального верстата з ЧПУ».

2. Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем бакалаврських дипломних робіт.

3. Призначення розробки і галузь використання

Розробка призначена для модернізації гравірувального верстата з ЧПУ, що є актуальною задачею в галузі машинобудування та освіти, дозволяючи покращити якість та ефективність навчального процесу.

4. Вимоги до розробки

Основними вимогами для модернізації верстата є підвищення точності та надійності, забезпечення мобільності та компактності конструкції, використання сучасних електронних компонентів та програмного забезпечення для ефективного керування.

5. Комплектація розробки

Модернізований гравірувальний верстат з ЧПУ складається з контролера Arduino, драйверів A4988, крокових двигунів MS14HS5P4100, блоку живлення Mean Well 200W LRS-200-24, лазера LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V та компресора ACO-001A для обдувки лазера.

6. Технічні характеристики

Таблиця 1 – Технічні характеристики

Назва	Позн.	Од. виміру	Значення
Напруга живлення	U	В	24
Потужність лазера	P	Вт	80
Максимальний момент двигуна	M	Н·см	38
Швидкість обертів	ω	об/хв	400
Швидкість переміщення	v	мм/с	20

7. Джерела розробки

1. Грабко, В. В., Левицький, С. М. «Елементи систем автоматизації та електроприводу» : навчальний посібник / ВНТУ, 2014.
2. Вакал, А. П., Литвиненко, Ю. І. «Садівництво» : навчальний посібник / СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2023.
3. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів: методичні вказівки до виконання контрольних робіт / ВДТУ, 2001.

8. Етапи виконання

Основна частина	
Графічна частина	

9. Конструктивне виконання

Верстат виготовляється з використанням алюмінієвого профілю V-slot, який забезпечує легкість та міцність конструкції, а також полегшує монтаж і налаштування компонентів.

10. Показники технологічності

Складові модернізованого верстата виконані на сучасній елементній базі, що забезпечує високу надійність та довговічність. Монтаж та заземлення компонентів відповідають стандартам електробезпеки.

11. Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється електромонтажниками відповідної кваліфікації. Регулярний технічний огляд проводиться щомісячно, ремонт — інженерами-електромеханіками.

12. Живлення автоматизованої системи

Живлення верстата здійснюється від блоку живлення Mean Well 200W LRS-200-24, який забезпечує стабільну роботу всіх компонентів при навантаженнях.

13. Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів розробки контролюється керівником згідно з графіком роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією, затвердженою завідувачем кафедри, згідно з графіком захисту дипломних проектів.

Додаток Б
Графічна частина
МОДЕРНІЗАЦІЯ ГРАВІРУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА З ЧИСЛОВИМ
ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯ

Актуальність теми

Актуальність теми модернізації електроприводу гравірувального верстату з ЧПК обумовлена декількома ключовими факторами:

- **Розвиток навиків студентів:** Робота з програмуванням та опанування електроприводом верстатів з ЧПК дозволить студентам розширити свої технічні знання та практичні навички в області механіки та автоматизації.
- **Підвищення продуктивності:** Модернізація забезпечує оптимальні умови для гравірування, підвищуючи точність і швидкість обробки матеріалів, що важливо для освітнього процесу та розвитку практичних навичок у студентів.
- **Зниження трудомісткості:** Модернізація зменшує потребу в ручній праці, що є актуальним в умовах розвитку та розповсюдження технології ЧПК.
- **Технологічний прогрес:** Впровадження сучасних технологій у навчальний процес сприяє підготовці студентів до реальних умов праці в сучасній промисловості.

Мета та задачі дослідження, об'єкт та предмет дослідження

Метою дослідження є забезпечення надійної та ефективної роботи гравірувального верстату з ЧПК шляхом модернізації його електроприводу для використання в навчальному процесі.

У відповідності із поставленою метою необхідно вирішити наступні завдання:

- Розгляд теми створення перших верстатів з ЧПК;
- Вивчення понять та термінології гравірувальних верстатів з ЧПК;
- Аналіз наявного верстату з ЧПУ та подібних верстатів, що представлені на ринку;
- Дослідження вимог до гравірувального верстату з ЧПК у навчальних умовах, оцінка наявних ресурсів та умов експлуатації;
- Розробка модернізованої системи керування електроприводом гравірувального верстату, визначення необхідних компонентів системи (контролери, драйвери тощо).

Об'єкт дослідження: конструкційні особливості та системи керування електроприводом гравірувального верстату.

Предмет дослідження: розробка електроприводу гравірувального верстату з ЧПК для навчальних цілей.

Аналіз наявного верстату з ЧПК



Рисунок 1 - Наявний гравірувальний верстат



Рисунок 2 – Електронні компоненти

Дослідження ринку гравірувальних верстатів

Таблиця 1 – Характеристики настільних верстатів

Характеристика	S1 4030	S3 100100	Mesrow X5 Pro
Корпус	Металевий, 526 x 485 x 193 мм	Металевий, 1154 x 1270 мм	Металевий, 805 x 712 мм
Позиціонування	Трьохосьове, крокові двигуни	Трьохосьове, серводвигуни	Трьохосьове, крокові двигуни
Площа обробки	395 мм x 285 мм	1000 мм x 1000 мм	600 мм x 600 мм
Блок живлення	12 В, 5 А	12 В, 5 А	24 В, 8 А
Потужність лазера	5,5 Вт	15 Вт	33 Вт
Програмне забезпечення	Інтуїтивно зрозуміле, інтеграція з CAD/CAM	Професійне ПЗ, 3D моделювання, CAD/CAM	Професійне ПЗ, інтеграція з CAD/CAM
Конструкція	Стійка, жорстка, металевий корпус	Висока жорсткість, металева рама	Міцна, металева конструкція
Енергоефективність	Висока	Висока	Середня
Ціна	12697 грн.	14710 грн.	43000 грн.
Переваги	Висока точність, доступна ціна.	Висока точність, велика робоча зона, професійне ПЗ	Хороша точність, достатня робоча зона, інтеграція з CAD/CAM



Рисунок 3 - Лазерный верстат-гравёр S1 4030



Рисунок 4 - Лазерный гравёр Mesrow X5 Pro



Рисунок 5 - Лазерный верстат-гравёр S3 100100

Задачі проектування



Рисунок 6 - Лазер LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V



Рисунок 7 - Верстатний профіль V-slot

Розроблення загальної конструкції верстата

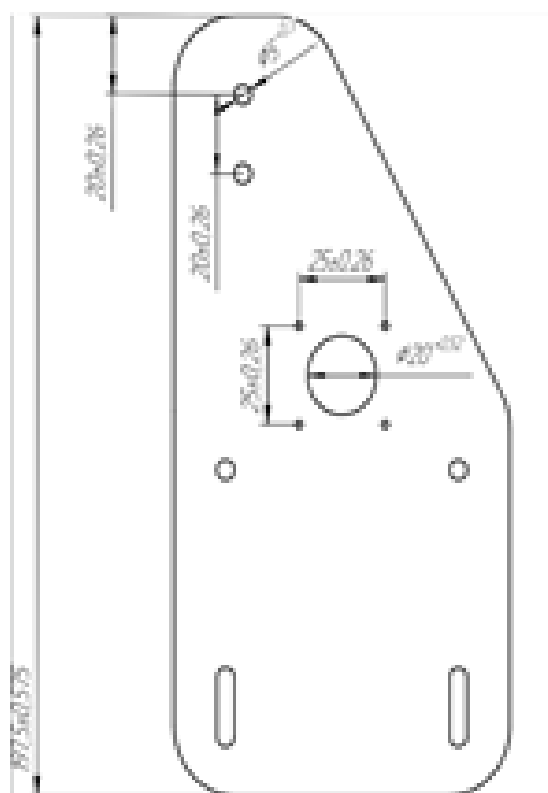


Рисунок 8 - Креслення каретки по вздовжньої вісі

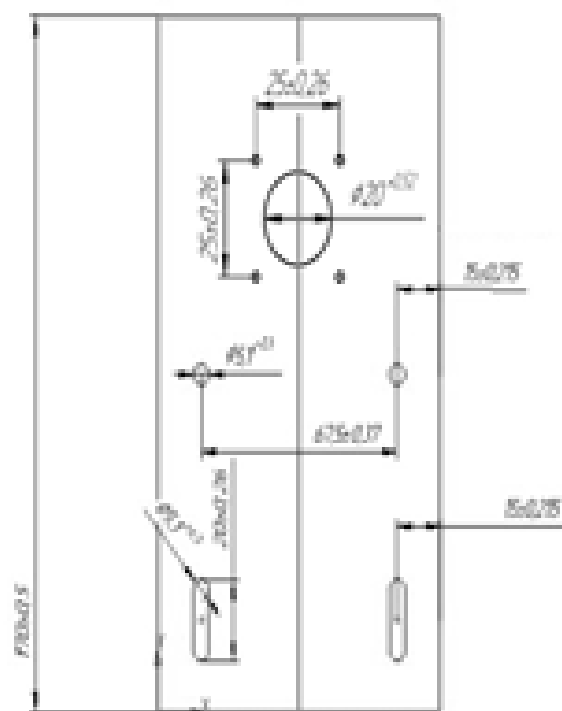


Рисунок 9 - Перша частина поперечної каретки

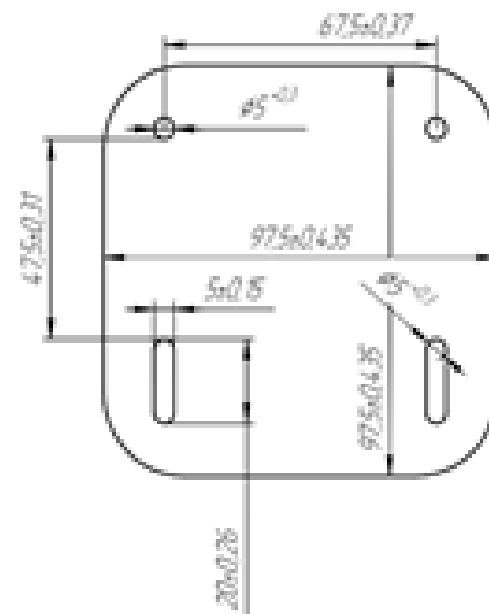


Рисунок 10 - Друга частина поперечної каретки



Рисунок 11 - Ремінь GT-2



Рисунок 12 - Шків під
ремінь GT-2



Рисунок 13 - Ролики

Вибір електронних компонентів



Рисунок 14 - NodeMCU ESP8266



Рисунок 15 - Raspberry Pi 4



Рисунок 16 - Arduino Uno ver.3

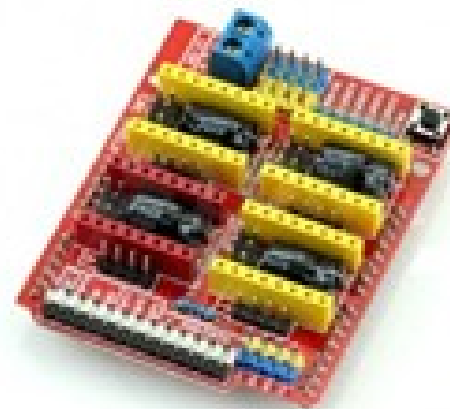


Рисунок 17 - CNC Shield V3



Рисунок 18 - Кроковий двигун
17HS6001



Рисунок 19 - Кроковий двигун
MS14HS5P4100

Характеристика	17HS6001	MS14HS5P4100
Стандарт	NEMA 17	NEMA 14
Розміри (мм)	42x42x48	35x35x34
Крутний момент (Нм)	0,5	0,4
Крок (градуси)	1,8	1,8
Напруга (В)	12-24 В	12-24 В
Струм на фазу (А)	до 1.7	до 1
Сумісні драйвери	A4988, DRV8825 та інші	A4988, DRV8825 та інші
Вага (г)	550 г.	240 г.
Основні переваги	Потужність	Компактність, легкість
Ціна	1045.50 грн.	300 грн.

Таблиця 2-Характеристика
крокових двигунів

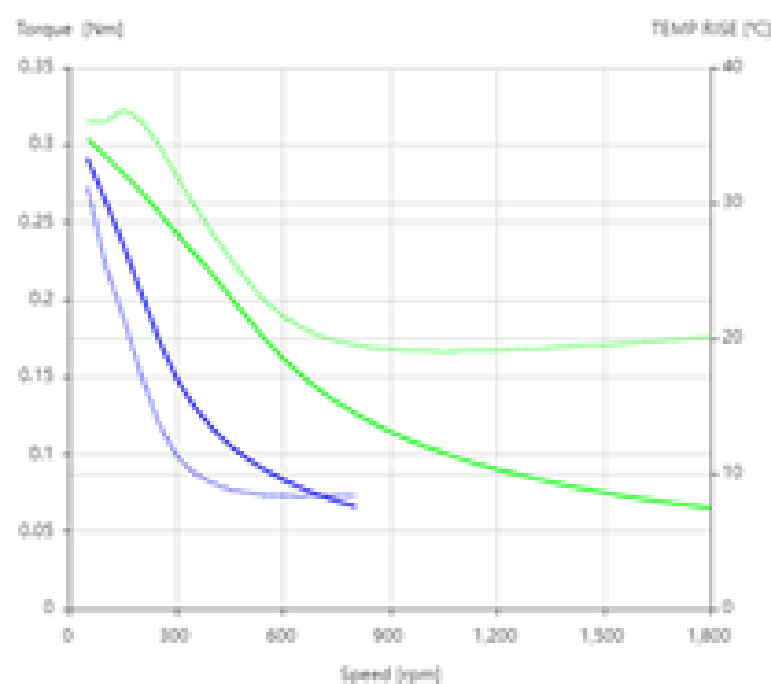


Рисунок 20 - Графік залежності
моменту від швидкості

MS14HS5P4100	Крутний момент	Підвищення температури
12 В постійного струму 1 А середньоквадратичного значення		
24 В постійного струму 1 А середньоквадратичного значення		

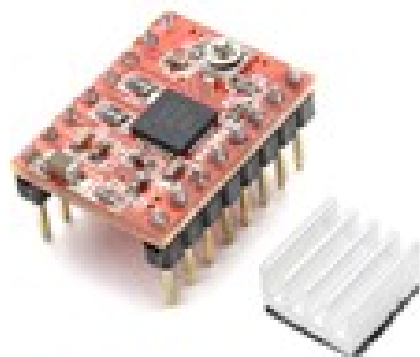


Рисунок 21 –
Драйвер A4988



Рисунок 22 - Лазер LASER
TREE LT-80W-AA-PRO 24V



Рисунок 23 - Компрессор
ACO-001A



Рисунок 24 - Блок живлення
Mean Well 200W LRS-200-24

Загальна вартість всіх компонентів

Таблиця 3 – Вартість всіх компонентів

Назва	Кількість	Ціна за шт.	Сума
Arduino Uno Rev3	1	380	380
Кроковий двигун MS14HS5P4100	3	300	900
Драйвер A4988	3	45	135
Компресор ACO-001A	1	1150	1150
Блок живлення Mean Well 200W LRS-200-24	1	1120	1120
Профіль V-slot	31	37,8	1171,8
Пластина сполучна 90 градусів	4	76,3	305,2
Зубчатий ремінь	4	34	136
Ролік	12	66	792
Зубчастий шків алюмінієвий	3	51	153
Кабелі для крокового двигуна	3	42	126
Розхідники	1	461	461
Загальна вартість			6830

Розрахунок двигунів

Розрахунок двигунів на повздовжній вісі

$$d = 1,5 \text{ см} \quad m = 1,1 \text{ кг} \quad \mu = 0,76$$

Реакція сили опори:

$$N = m \cdot g$$

де $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення земного тяжіння.

$$N = 1,1 \cdot 9,8 = 10,78 \text{ Н}$$

Сила тертя, що виникає на початку переміщення:

$$F_{\text{тер}} = \mu \cdot N$$

$$F_{\text{тер}} = 0,76 \cdot 10,78 = 8,2 \text{ Н}$$

Загальний момент сили, що припадає на валу двигунів:

$$M_{\text{заг}} = F_{\text{тер}} \cdot d$$

$$M_{\text{заг}} = 8,2 \cdot 0,015 = 0,12 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Загальний момент слід розділити на кожен двигун окремо:

$$M = \frac{M_{\text{заг}}}{2}$$

$$M = \frac{0,12}{2} = 0,06 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Розрахунок двигунів на поперечній вісі

$$m = 0,54 \text{ кг}$$

Реакція сили опори:

$$N = 0,54 \cdot 9,8 = 5,3 \text{ Н}$$

Сила тертя, що виникає на початку переміщення:

$$F_{\text{тер}} = 0,76 \cdot 5,3 = 4 \text{ Н}$$

Момент сили, що припадає на валу двигуна:

$$M = 4 \cdot 0,015 = 0,06 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

КОНСТРУЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ВЕРСТАТУ

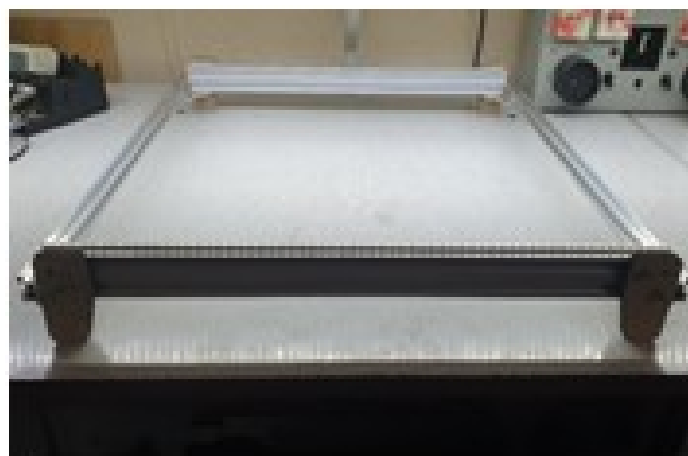


Рисунок 25 - Основа верстату



Рисунок 27 - Пружина



Рисунок 26 - Встановлення крокового двигуна в каретку



Рисунок 28 - Основа з

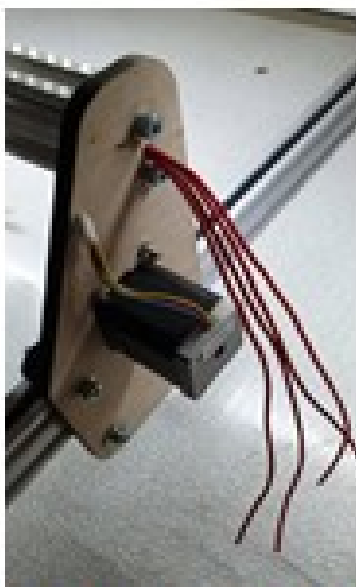


Рисунок 29 - Закріплена поперечна вісь



Рисунок 30 - Спаяні та ізольовані виводи двигуна



Рисунок 32- Кабель в гофрі



Рисунок 33 - Закріплена гофра
на повздовжній каретці



Рисунок 34 - Закріплена гофра
на поперечній каретці

Програмування верстату та підключення

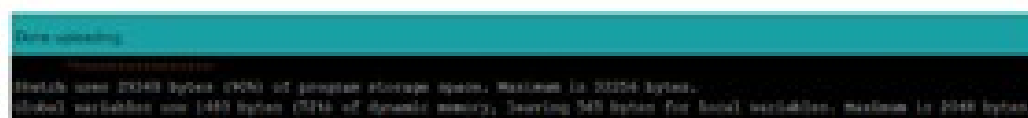


Рисунок 35 - Успішне встановлення бібліотеки

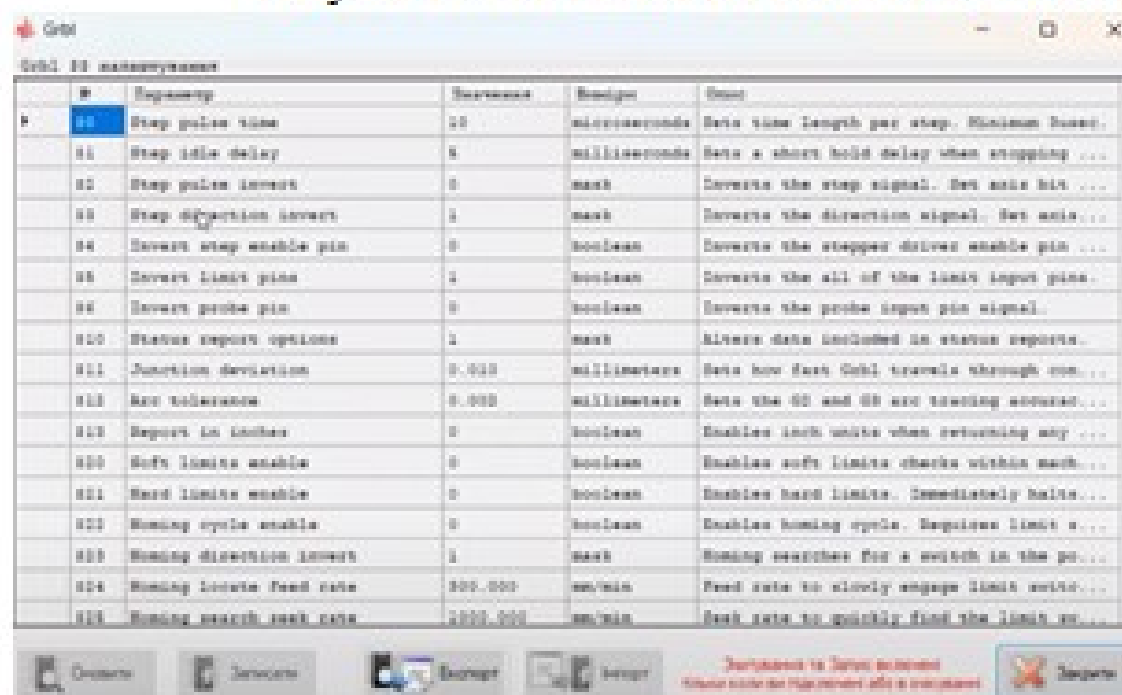


Рисунок 36 - Конфігурація в LaserGRBL



Рисунок 39 - Тестовий рисунок

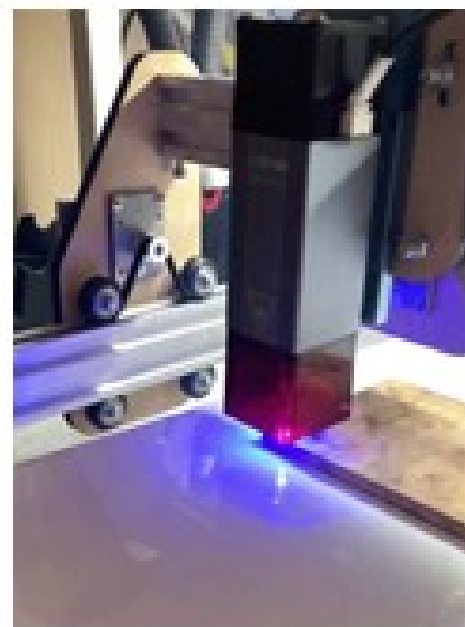


Рисунок 40 - Процес гравірування



Рисунок 41 - Результат гравірування

Висновки

Було проведено аналіз наявного гравірувального верстату. Досліджено ринок комерційних моделей настільних ЧПК верстатів. Було вирішено розробити власний верстат, що дозволить знизити витрати і адаптувати конструкцію під потреби навчального процесу, так як представлені верстати мають високу вартість, що обмежує їх доступність для освітніх цілей.

Для створення верстата були обрані контролер Arduino, драйвери крокових двигунів A4988, блок живлення Mean Well 200W LRS-200-24 та лазер LASER TREE LT-80W-AA-PRO 24V. Програмне забезпечення включає GRBL та LaserGRBL, що забезпечують ефективне керування верстатом і сумісність з обраною електронікою.

Результатом розробки став настільний ЧПК верстат з конструкцією на основі алюмінієвого профілю V-slot, що забезпечив міцність і легкість. Тестове гравірування підтвердило, що верстат відповідає всім технічним вимогам, демонструючи високу точність і надійність в роботі. Це підтверджує правильність вибору компонентів і конструктивних рішень, забезпечуючи його ефективне використання в навчальному процесі.

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Модернізація електроприводу пасажирського ліфта

Тип роботи: бакалаврська дипломна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМ-222мс

Науковий керівник: к.т.н., доц. Проценко Д. П.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність	97,1 %
Схожість	2,9 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку

підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи

підпис)

Ящук Я. В..

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

підпис)

Проценко Д. П.

(прізвище, ініціали)

					08-24.БДР.032.00.000			
м.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Модернізація електропривода гравірувального верстата з числовим програмним керуванням	Літ.	Маса	Масштаб
розробив:	Ящук Я. В.			28.05				
перевірів	Проценко Д. П.			28.05				
контр.								
рецензент	Бабенко О.В.			10.06		Аркуш	Аркушів	
норм.кон.	Жуков О.А.			28.05		ВНТУ, гр. ЕМ-22мс		
затверд.	Мошноріз М.М.			28.05				