

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ГЛУХІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ОЛЕКСАНДРА ДОВЖЕНКА

На правах рукопису

Кафедра технологічної і
професійної освіти

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ САМОРОБНИХ
ВЕРСТАТІВ З ЧПУ (CNC) НА УРОКАХ ТЕХНОЛОГІЙ
В СТАРШИХ КЛАСАХ.

Предметна спеціальність: 014.10 Середня освіта
(Трудове навчання та технології)

Виконав:

Лисий Вадим Олегович,
студент 2 курсу, 626М – Т групи
факультету технологічної і
професійної освіти

Науковий керівник:

канд. технічних наук, доцент.
Толмачов Володимир Сергійович

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. САМОРОБНІ ВЕРСТАТИ з ЧПУ (CNC) В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ	6
1.1. Особливості сучасних систем з числовим програмним керуванням	8
1.2. Технологічні підходи до створення та використання CNC-верстатів	10
1.3. Програмне забезпечення для проектування, програмування та керування CNC-верстатами	31
РОЗДІЛ 2. ВПРОВАДЖЕННЯ САМОРОБНИХ ВЕРСТАТІВ з ЧПУ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС НА УРОКАХ ТЕХНОЛОГІЙ	36
2.1. Актуальний стан зацікавленості учнів до вивчення автоматичної, робототехніки та ЧПУ-технологій	36
2.2. Покрокова інструкція зі створення верстата ЧПУ на базі Arduino: вибір матеріалів та опис конструкції	48
2.3. Опис проекту "ЧПУ-Плотер" та його впровадження на уроках технологій	56
2.4. Дидактичні умови застосування саморобних верстатів із числовим програмним управлінням на уроках технології	75
ВИСНОВКИ	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	80
ДОДАТКИ	85

ВСТУП

Сучасний світ перебуває на етапі глобальних трансформацій, де технологічний розвиток виступає ключовим фактором прогресу. Одним із важливих напрямків інновацій є автоматизація та робототехніка, які активно проникають у всі сфери діяльності, зокрема й у сферу освіти. В умовах сталого розвитку України до 2030 року, визначеного резолюцією ООН, особлива увага приділяється підвищенню якості освіти та створеним умовам для формування професійних компетентностей молодого покоління.

Сьогодні одним із компонентів освітнього процесу є впровадження STEM-освіти (Science, Technology, Engineering, Math), яка спрямована на інтеграцію знань природничих наук, технологій, інженерії та математики. Ця концепція не тільки готує учнів до викликів майбутнього, але й стимулює їх до самостійного розв'язання практичних завдань, розвиває критичне мислення та креативність. Одним із пріоритетних завдань STEM-освіти є ознайомлення учнів з автоматизацією та робототехнікою, які стають базою для високотехнологічного виробництва.

Відповідно до Державного стандарту базової середньої освіти, технологічна галузь навчання передбачає використання цифрових технологій у виробництві, зокрема в робототехніці, а також розвиток практичних умінь і компетенцій у старших класах. У навчальній програмі «Технології» (10–11 класи) передбачено окремий модуль «Основи автоматизації і робототехніки», який акцентує увагу на практичному застосуванні знань.

Важливою складовою STEM-освіти є проектна діяльність, що інтегрує міждисциплінарні знання та сприяє розвитку творчого мислення, технічних навичок і самостійності учнів у вирішенні завдань. Створення практичних проектів, зокрема саморобних верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ), дає можливість учням поєднувати знання з різних дисциплін та отримувати досвід роботи з сучасними технологіями [18-21, 42].

Наукові праці українських дослідників, серед яких В. Курок, О. Литвин, Т. Хоруженко, О. Коберник та інші, акцентують увагу на важливості

впровадження інноваційних технологій у навчальний процес. В їх роботах підкреслюється необхідність розвитку технічної творчості, практичного застосування знань і вдосконалення методики викладання інженерно-технічних дисциплін [14].

Темою даного дослідження є «Методичні аспекти використання саморобних верстатів з ЧПУ (CNC) на уроках технологій у старших класах». Її актуальність зумовлена потребою модернізації навчального процесу та інтеграції сучасних технологій у шкільну освіту. Використання саморобних верстатів з ЧПУ сприяє підвищенню рівня технічної грамотності учнів, формуванню ключових компетентностей, необхідних для майбутньої професійної діяльності, та підготовці молоді до сучасних викликів ринку праці.

Магістерська робота присвячена розробці методики використання саморобних верстатів з ЧПУ на базі платформи Arduino на уроках технологій під час вивчення обов'язково-вибіркового модуля «Основи автоматизації і робототехніки».

Метою роботи є розробка верстата з числовим програмним управлінням (ЧПУ) на базі апаратно-програмних засобів Arduino та створення методики його використання на уроках технології.

Об'єкт дослідження: процес розробки і виготовлення верстата з ЧПУ на базі платформи Arduino.

Предмет дослідження: процес створення методики використання верстатів з ЧПУ на основі Arduino на уроках технології.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

1. Дослідити особливості сучасних систем з числовим програмним управлінням на базі Arduino.
2. Проаналізувати та визначити необхідне для роботи апаратне та програмне забезпечення.

3. Розробити інструкцію з виготовлення верстату з ЧПУ на базі апаратно-програмних засобів Arduino.

4. Розробити творчий проєкт "ЧПУ-Плотер" для подальшого його впровадження на уроках технологій.

Методи дослідження: теоретичні (*аналіз навчальної, наукової, науково-методичної літератури, навчальних програм з технології для 10-11 класів різних рівнів та інтернет-ресурсів з досліджуваної проблеми*); емпіричні (*спостереження, експеримент*).

Практична значущість роботи полягає в тому, що розроблений ЧПУ-плотер на базі апаратно-програмної платформи Arduino може бути інтегрований у навчальний процес для учнів на уроках технологій. Використання плотера в навчанні дає можливість учням отримати практичні навички роботи із сучасним обладнанням, що сприяє кращому розумінню принципів автоматизації, програмування та технічних процесів. Крім того, робота з ЧПУ-плотером розвиває у школярів навички точності, важливості та системного підходу до вирішення практичних завдань. Такий інструмент може бути використаний для виконання різноманітних проєктів, включаючи створення малюнків, схем та моделей, що робить навчання більш цікавим і прикладним.

Результати апробації. Основні положення магістерського дослідження було обговорено на науково-методичних конференціях і семінарах.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, двох розділів, висновку, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1. САМОРОБНІ ВЕРСТАТИ З ЧПУ (CNC) В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

Верстати із ЧПУ – це моделі верстатів, із вбудованим програмним управлінням, яке спрямоване на проведення розрахунків і автоматизації різних технічних операцій. Система автоматично приводить у рух встановлені інструменти в повній згоді з програмною установкою. Скорочення ЧПУ або ЧПК відповідає англійським аббревіатурам CNC і NC.

Спочатку була створена система NC (Numerical Control), яка базувалася на жорстких схемах керування. Управління здійснювалося за допомогою перемикачів і штекерів, а програми зберігалися на зовнішніх носіях, таких як перфокарти або магнітні стрічки.

Сучасна система CNC (Computer Numerical Control), оснащена власною операційною системою. Керування процесами здійснюється мікропроцесором з вбудованою оперативною пам'яттю. Програмування системи можливе як через зовнішні носії, наприклад, завантажуючи програми з флеш-накопичувачів, так і через підключення до комп'ютерних мереж підприємства для дистанційного управління [16, 22, 31].

Для програмування системи CNC використовується спеціальна мова, регламентована стандартом ISO 6983. Однак є винятки, як у випадку з гравірувальними верстатами, де мова програмування може відрізнитися. Для простих налаштувань використовуються текстові файли форматів DXF або HP-GL.

До CNC можна віднести будь-які верстати та машини, які керуються комп'ютерною програмою та мають автоматизоване управління. Прикладами обладнання з CNC є:

1. Фрезерні верстати – використовуються для обробки різних матеріалів шляхом різання.
2. Токарні верстати – для обробки деталей циліндричної форми.
3. Лазерні різачки – застосовуються для точного різання металів, дерева, пластику тощо.

4. Гравірувальні машини – для нанесення малюнків або тексту на різні матеріали.
5. Плазмові різачки – використовуються для різання електропровідних матеріалів за допомогою плазми.
6. 3D-принтери – керовані CNC технології для додавання шарів матеріалу, створюючи об'ємні об'єкти.
7. Шліфувальні верстати – для обробки поверхонь шляхом шліфування.
8. Деревообробні верстати – для різання, фрезерування, свердління та інших видів обробки деревини.

Ці машини керуються за допомогою комп'ютерної програми, яка визначає траєкторію, швидкість і послідовність операцій [12].

Одним із пріоритетних завдань уроків технологій у старшій школі є формування в учнів навичок роботи з високотехнологічним обладнанням. CNC-верстати є одним із найефективніших інструментів, що можуть використовуватися для вивчення основ інженерної справи як на теоретичному, так і на практичному рівнях. Інженерна справа та проектування не можуть бути засвоєні лише на теоретичних заняттях.

Практичні заняття зі спеціальним обладнанням, зокрема з використанням CNC-верстатів, дають змогу учням швидко та ефективно оволодіти основами дисципліни, забезпечуючи наочність та застосування знань на практиці [5, 9, 10].

CNC-верстати можуть використовуватися як на уроках технологій, так і в позакласній роботі – у гуртках чи секціях [24, 25, 43]. Використання такого обладнання сприяє розвитку технічної творчості, профорієнтації, та формує в учнів уявлення про принципи роботи сучасних виробничих процесів. Школярі отримують практичний досвід проектування, моделювання, виробництва заготовок, програмування та управління верстатами, що допомагає їм краще орієнтуватися у виборі майбутньої професії.

1.1. Особливості сучасних систем з числовим програмним керуванням.

Сучасні системи числового програмного керування (CNC) побудовані на основі мікропроцесорів з оперативною пам'яттю та власними операційними системами. Програми для таких верстатів можуть завантажуватися як із зовнішніх носіїв, включно зі звичайними та спеціалізованими флеш-накопичувачами, так і через комп'ютерні мережі підприємств, що дозволяє передавати програми по промисловим мережам.

Основною мовою програмування для CNC є **G-код**, стандартизований документом **ISO 6983**. Ця мова є найбільш поширеною для металообробного обладнання та використовується для програмування верстатів у G- та M-кодах. Вона ґрунтується на стандартах Міжнародної організації зі стандартизації (ISO) та Асоціації електронної промисловості (EIA). Стандарт називають також "ISO 7-біт", і він є офіційним для американських та європейських виробників CNC-верстатів.

Однак різні виробники CNC-верстатів можуть дозволяти деякі відхилення від цього стандарту для реалізації власних унікальних функцій. Наприклад, японська система **Fanuc** стала однією з перших, що адаптувала ISO G- та M-коди, і сьогодні є однією з найпоширеніших. Інші відомі системи, такі як **Heidenhain** та **Sinumerik (Siemens)**, також працюють із G- та M-кодами, хоча деякі команди можуть відрізнятися.

Операторам верстатів не обов'язково знати всі коди кожної CNC – достатньо володіти базовим набором G- та M-кодів, а для специфічних функцій можна звертатися до документації конкретної системи.

Деякі виробники також пропонують діалогові мови програмування, що спрощують взаємодію з системою за допомогою англomовних фраз, скорочень, запитань та графічних елементів, які оператор вводить в інтерактивному режимі. Це полегшує процес програмування та робить його більш інтуїтивним.

Конструктивні особливості CNC (систем числового програмного керування) забезпечують високу точність, автоматизацію процесів і можливість інтеграції з іншими виробничими системами. До основних конструктивних елементів CNC-систем відносяться:

- **Мікропроцесорний контролер** який є серцем системи, що виконує обробку команд і керує всім обладнанням. Він має оперативну та постійну пам'ять для зберігання програм і даних.

- **Приводи і двигуни**, які відповідають за переміщення робочих органів верстата (*інструментів або заготовок*) по осях. Найчастіше використовуються крокові або сервоприводи, що забезпечують високу точність і контроль руху.

- **Система управління осями**, базується на кількох осях (*зазвичай 3-5, але можуть бути і більше*), по яких переміщується інструмент або заготовка. Точність роботи визначається якістю передачі руху по кожній осі.

- **Операційна система** це програмне забезпечення, що відповідає за роботу верстата. Операційна система виконує програмування команд, їх обробку і контроль виконання. Найчастіше використовуються стандарти програмування на основі **G-кодів** та **M-кодів**.

- **Система датчиків і сенсорів**. До системи відносяться датчики які забезпечують контроль положення, швидкість, температуру та інші параметри, що важливі для точності обробки. Вони зворотно пов'язуються із системою управління, коригуючи роботу в реальному часі.

- **Система подачі інструменту**. У багатьох CNC-верстатах є автоматична зміна інструменту, що дозволяє здійснювати багатофункціональну обробку без зупинки роботи для ручної заміни.

- **Система охолодження та змащування**. Для забезпечення ефективності обробки і продовження терміну служби інструментів, верстати обладнані системами охолодження ріжучих елементів і змащування деталей, які знаходяться під великим навантаженням.

- **Інтерфейс користувача (НМІ).** Панель управління або дисплей, де оператор може вводити програми, контролювати процес обробки та налаштовувати параметри верстата. У деяких системах також використовуються діалогові системи для спрощення програмування.

Ці особливості забезпечують надійну, точну і продуктивну роботу CNC-верстатів, що дозволяє їх застосовувати в широкому спектрі виробничих завдань.

1.2. Технологічні підходи до створення та використання CNC верстатів.

DIY CNC-верстати або саморобні верстати з числовим програмним керуванням – це універсальні інструменти, які дозволяють автоматизувати різноманітні завдання обробки з певною точністю. Ці верстати поєднують у собі апаратне та програмне забезпечення, дозволяючи створювати складні конструкції, різати матеріали з високою точністю, малювати на різних поверхнях та виготовляти об'ємні моделі тим самим втілюючи власні творчі ідеї у життя.

Верстати з ЧПУ працюють на основі принципів числового програмного управління, що дозволяє здійснювати точне автоматизоване управління процесами обробки. Ці верстати перетворили галузі, забезпечивши виробництво складних, високоточних компонентів та виробів. Розуміння основних принципів ЧПУ має вирішальне значення для тих, хто власноруч проектує або збирає DIY-верстати з ЧПУ.

На просторах Інтернету є багато різних конструкцій DIY CNC-верстатів, але згрупувавши ці розробки їх можна поділити на:

1. **ЧПУ-плотер** це верстат із числовим програмним керуванням (CNC), який можна зібрати в домашніх умовах або майстерні з використанням доступних компонентів. Використовується такий ЧПУ-плотер для малювання зображень, схем або креслень на папері або інших поверхнях. В якості робочого інструменту використовується маркер, фломастер, олівець або

звичайна ручка. В мережі інтернет існує багато різних конструкцій ЧПУ-плотерів. Деякі з них показані на Рис.1.1 та Рис.1.2.

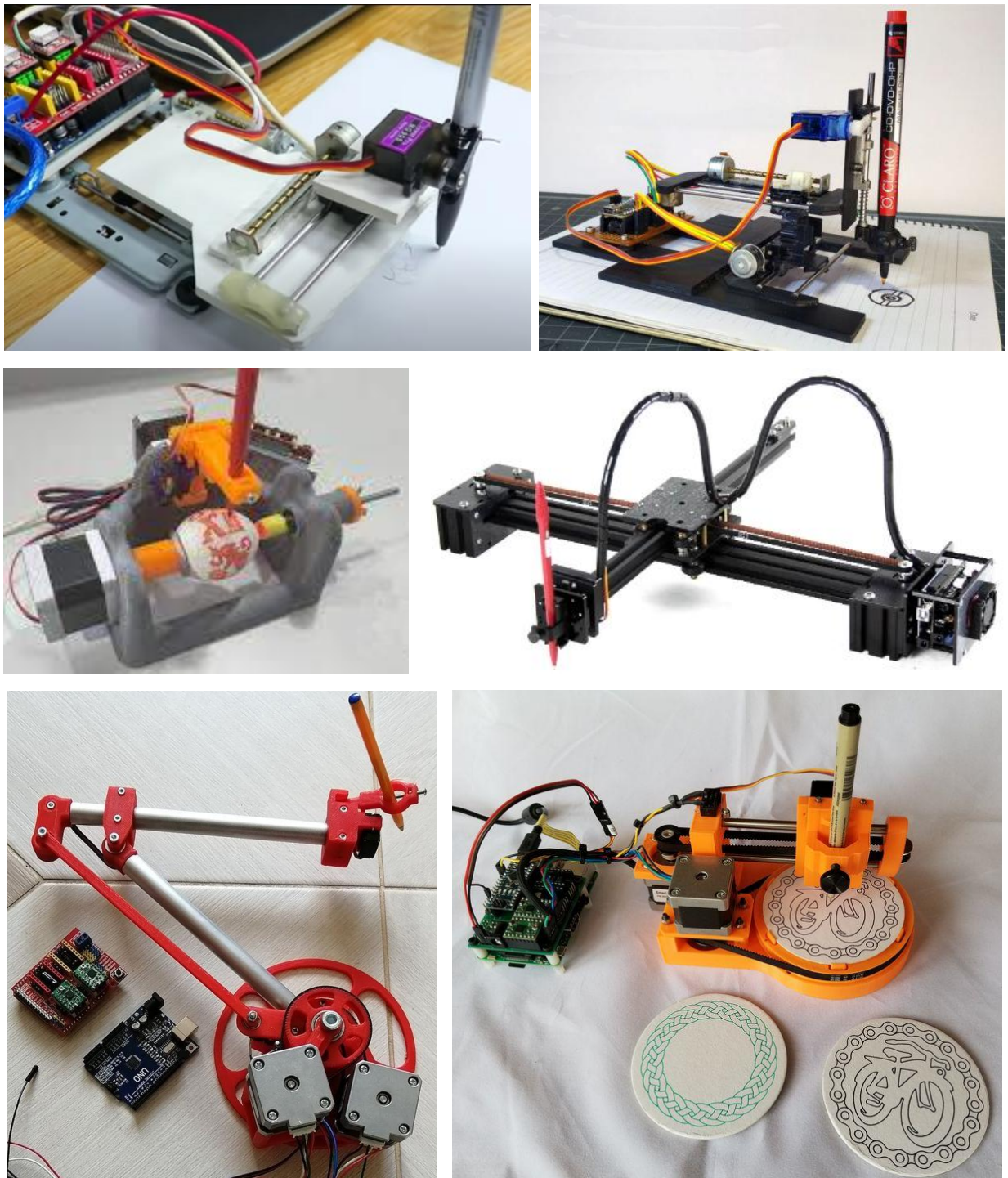


Рис. 1.1. Зовнішній вигляд ЧПУ-плотерів різних конструкцій.

Також існують конструкції ЧПУ-плотерів які малюють зображення на вертикальній основі, тобто на поверхні стіни, або на холсті, який розташовано вертикально.

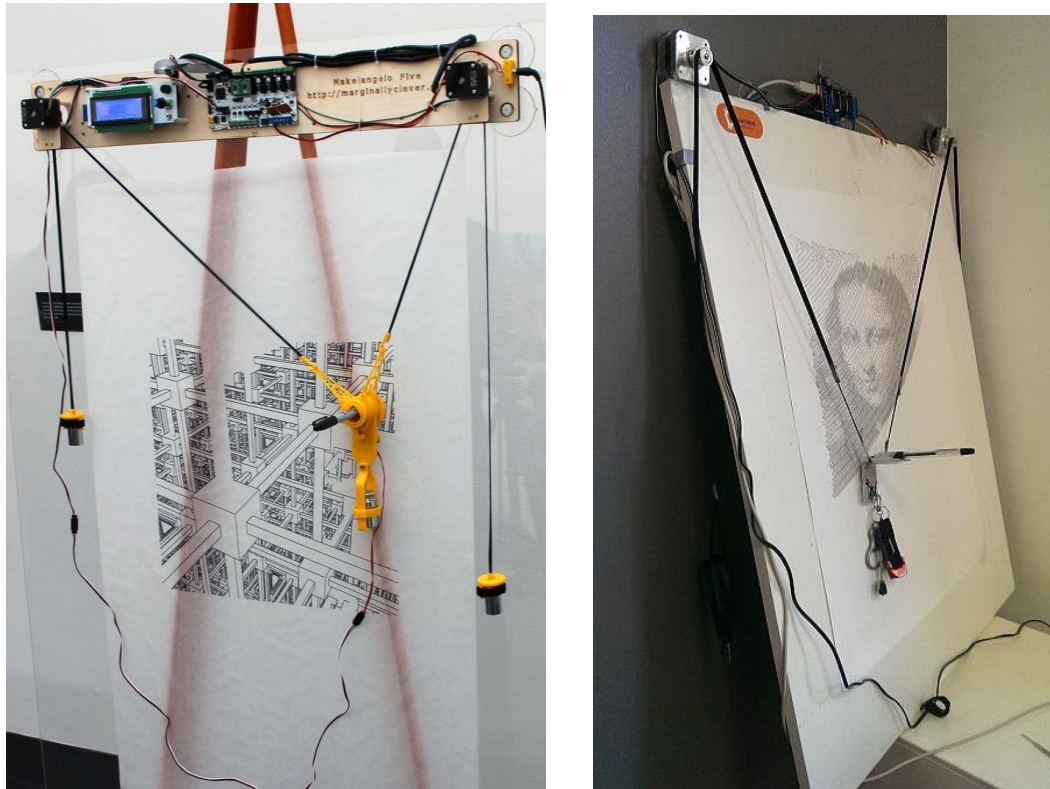


Рис. 1.2. Зовнішній вигляд ЧПУ-плотерів Makelangelo.

Існують ЧПУ плотери, які використовуює дельта-кінематику для руху робочого інструмента (Рис. 1.3.). Таке рішення є цікавим для тих, хто шукає високу швидкість та точність роботи з різними матеріалами. Завдяки своїй унікальній конструкції подібні Delta ЧПУ плотери знаходять застосування в різних галузях – від виробництва до хобі-проектів.

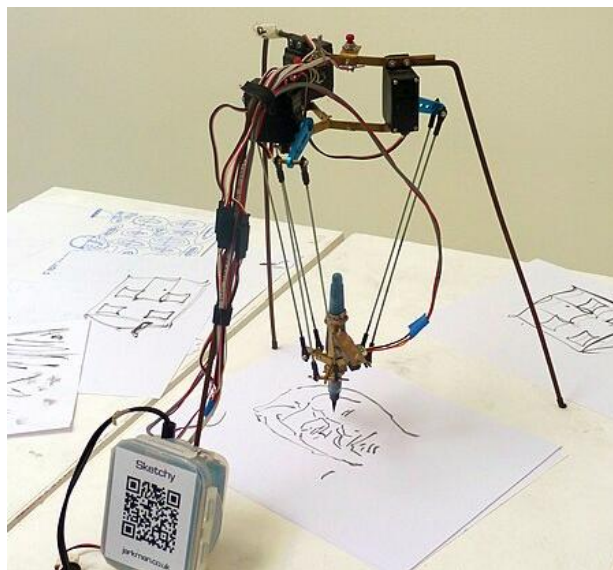


Рис. 1.3. Зовнішній вигляд Delta ЧПУ-плотера.

Існують конструкції ЧПУ-плотерів в яких замість маркера встановлено спеціальне поворотне лезо, то такий плотер буде виконувати роль різача (Рис. 1.4.).

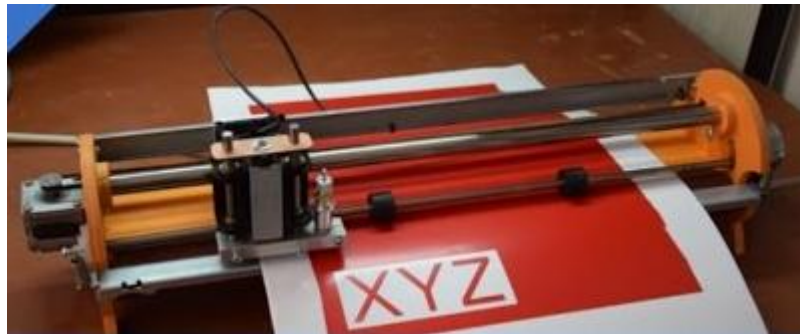


Рис. 1.4. Зовнішній вигляд ріжучого ЧПУ-плотера.

Такі ріжучі плотери використовують під час виготовлення рекламної продукції, витинанок, вирізання трафаретів та інше.

2. **Піропринтер** або **випалювач** – це пристрій, який використовує термічний (тепловий) процес для друку зображень, текстів або графіків. Цей тип друку не потребує чорнила, тонера чи інших витратних матеріалів, оскільки зображення формується внаслідок нагрівання. В якості нагрівача можуть використовуватися ніхромова проволочка (Рис. 1.5.) або лазер (Рис. 1.6.).



Рис. 1.5. Зовнішній вигляд піропринтера (ЧПУ-випалювача) з ніхромовою проволочкою.

Використання ЧПУ-випалювача з лазером потребує захисту очей користувача і для цього використовують зовнішній екран для всього пристрою або спеціальні окуляри.

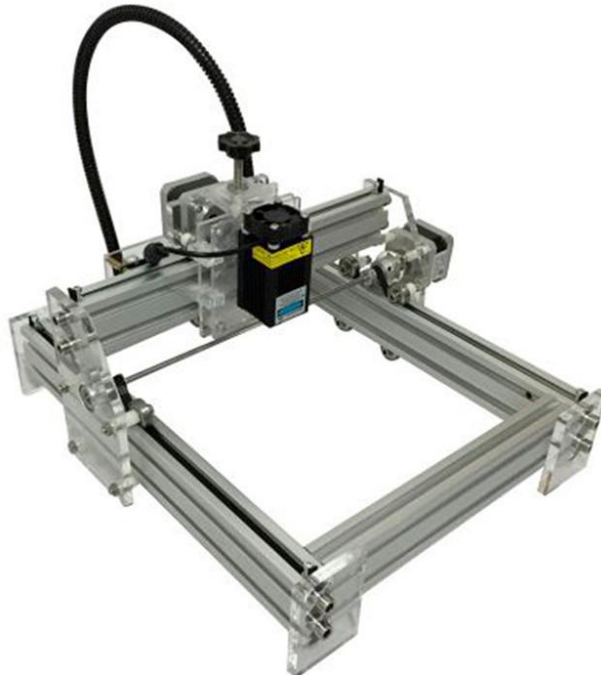


Рис. 1.6. Зовнішній вигляд піропринтера з лазером.

3. **3D принтер** – це пристрій, який створює тривимірні об'єкти шляхом пошарового додавання матеріалу за заданою цифровою моделлю. Ця технологія використовується в різних сферах, таких як промисловість, медицина, архітектура, освіта, дизайн та багато інших. Основна перевага 3D-друку полягає в тому, що він дозволяє швидко та відносно недорого виготовляти прототипи, деталі або навіть готові вироби без необхідності створення інструментів або форм.

На сьогодні для 3D-друку використовують наступні технології:

FDM (*Fused Deposition Modeling*): найпоширеніша технологія, де використовується філамент із пластику, що плавиться і шар за шаром наноситься на платформу.

SLA (*Stereolithography*): використовує фотополімери, що твердіють під дією ультрафіолетового випромінювання. Принтер заливає шар рідкого фотополімеру, який потім вибірково засвічується лазером.

DLP (*Digital Light Processing*): працює аналогічно до SLA, але використовує цифровий проектор для засвічування рідкого фотополімеру.

SLM (*Selective Laser Melting*) та **DMLS** (*Direct Metal Laser Sintering*): ці технології використовуються для 3D-друку металами. Металевий порошок плавиться лазером, утворюючи шари виробу.

В інтернет-магазинах можна купити різні заводські моделі 3D принтерів які використовують найпоширенішу FDM технологію (на *Рис.1.7.* показані деякі з них): Ender-3, 3D-Принтер Voron, Aquila X2, Bambulab A1 Mini, Sapphire Pro та інші [16].

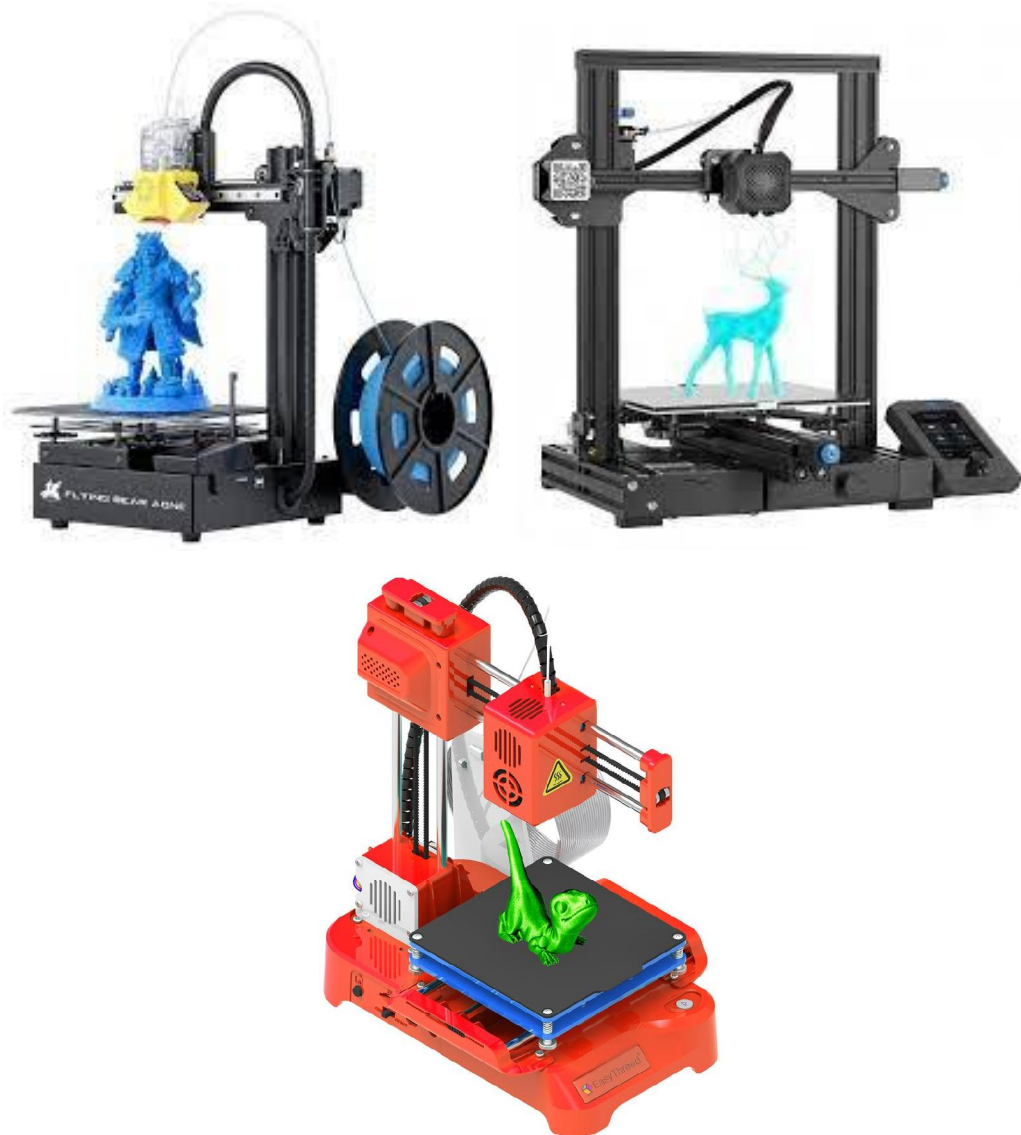


Рис. 1.7. Зовнішній вигляд 3D-принтера (заводські моделі).

Серед саморобних 3D-принтерів з FDM технологію друку (Рис.1.8.) зустрічаються: Prusa i2, Prusa i2, Prusa NextGen 2, ToyRep та інші.

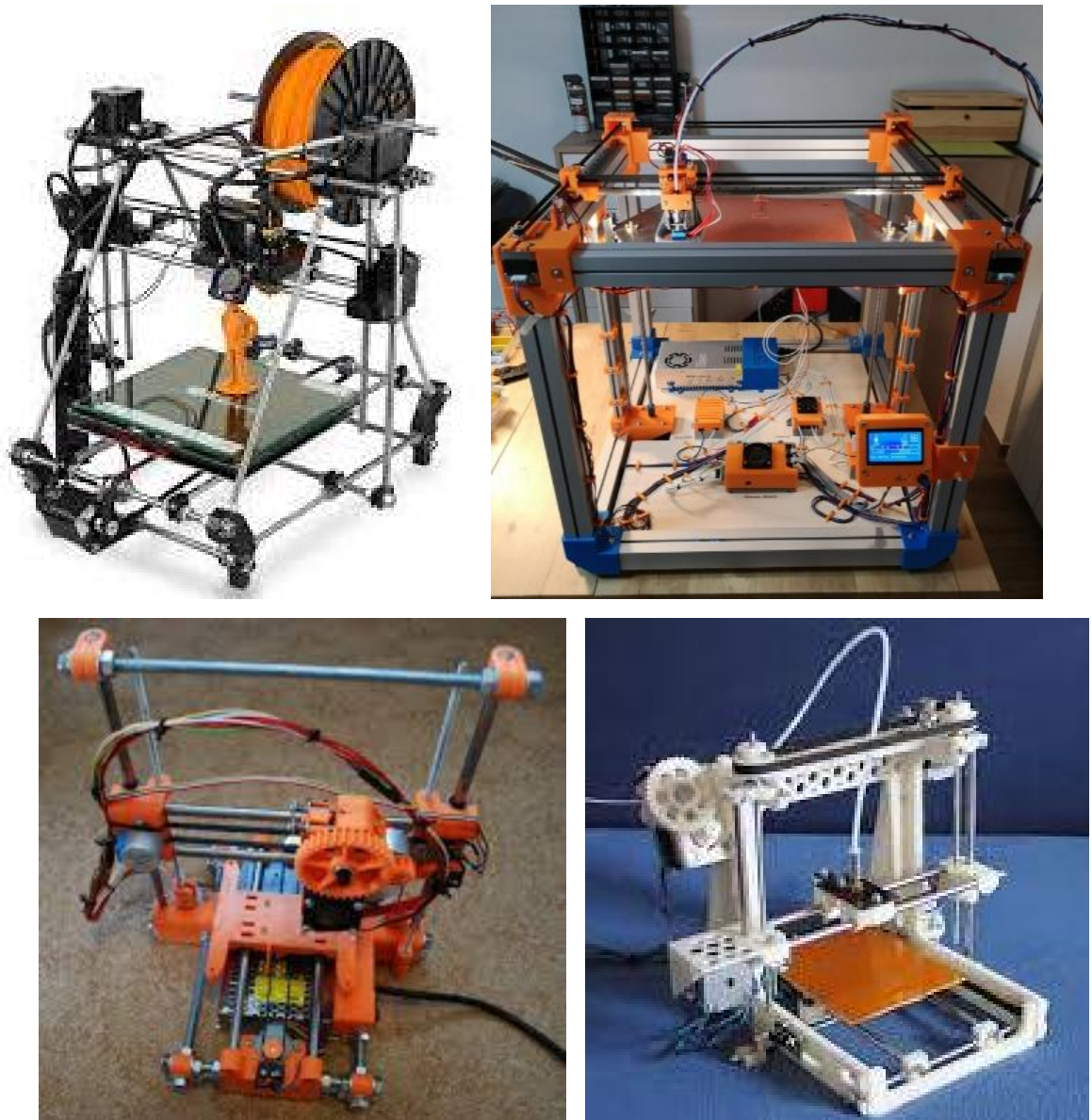


Рис. 1.8. Зовнішній вигляд 3D-принтера (саморобні моделі).

4. **ЧПУ-фрезер (CNC-фрезер)** – це верстат із числовим програмним управлінням, призначений для обробки різних матеріалів шляхом різання, фрезерування, свердління та інших технологічних операцій. Він використовується у виробництві для високоточної обробки матеріалів, таких як дерево, метал, текстоліт пластик та інші.

ЧПУ-фрезери можуть працювати з точністю до мікронів, що дозволяє створювати деталі високої якості, а також забезпечують автоматичне

виконання програми обробки, що знижує людський фактор і підвищує продуктивність.

На просторах інтернету (Рис. 1.9) є багато різних конструкцій ЧПУ-фрезерів створених інженерами і любителями. Такі конструкції відрізняються розмірами і матеріалами з яких створено ЧПУ-фрезер.

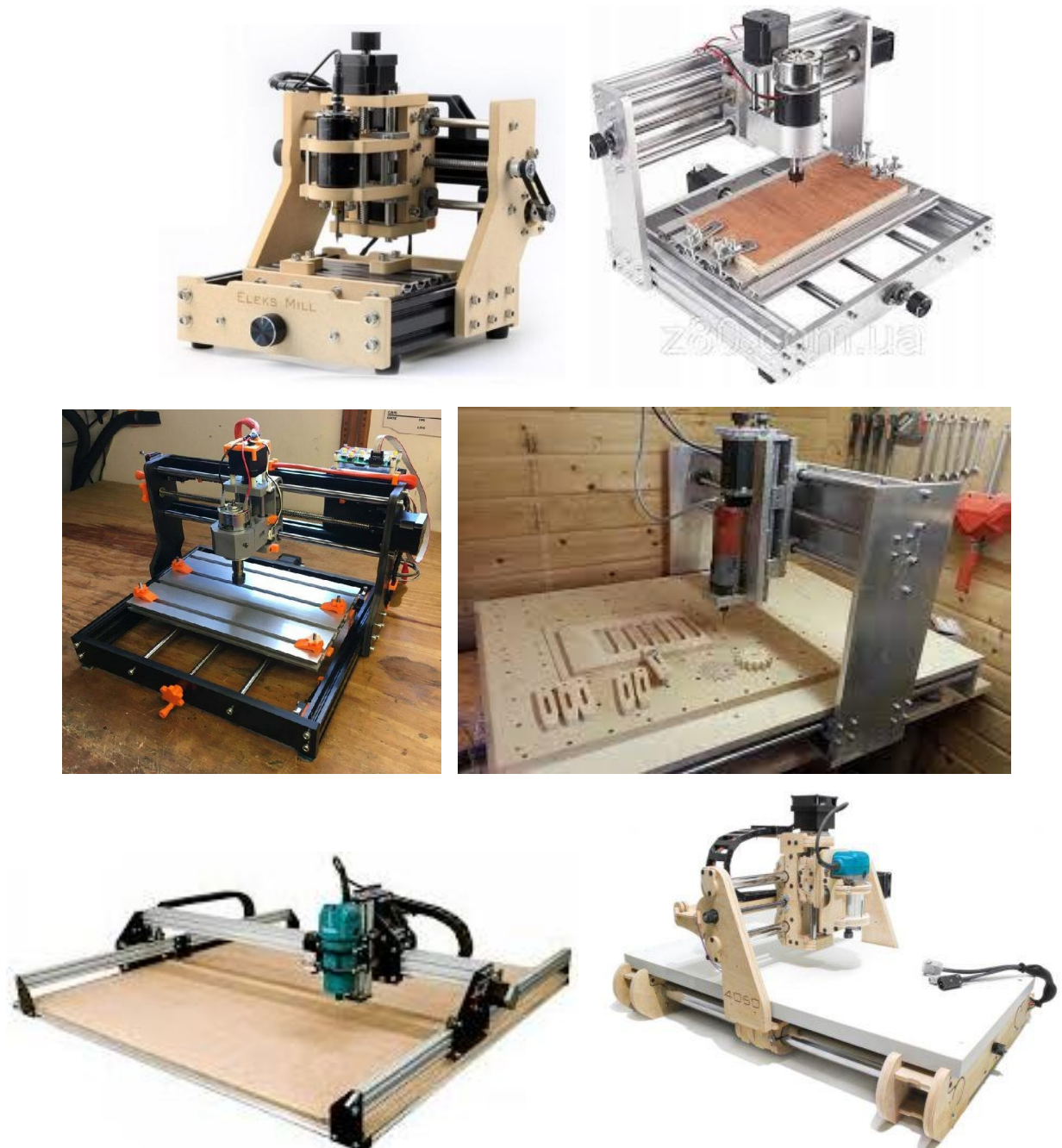


Рис. 1.9. Зовнішній вигляд конструкцій ЧПУ-фрезерів.

З вдалих конструкцій ЧПУ-фрезерів для дому, школи або майстерні можна виділити компактну конструкцію CNC 3018 та CNC 3018 Pro. CNC 3018

призначений для різання, гравірування та фрезерування на різних матеріалах. Ця модель отримала свою назву від розмірів робочої зони – 30 см по осі X та 18 см по осі Y [17, 39, 40]. Вона зазвичай використовується для DIY-проектів, невеликих виробництв та навчання, оскільки є доступною, компактною та відносно простою у використанні (Рис.1.10.).



Рис. 1.10. Зовнішній вигляд CNC 3018.

CNC 3018 може обробляти такі матеріали як пластик, дерево (*м'яке та середньо тверде*), акрил, алюмінієві пластини (*для легкого різання*) та PCB (*друковані плати*). Більшість моделей CNC 3018 оснащені міцною алюмінієвою або композитною рамою, яка забезпечує достатню стабільність для виконання робіт з високою точністю. Існує покращена версія CNC 3018 PRO, яка має міцнішу конструкцію і оновлену електроніку. Вона також підтримує лазерний модуль який дозволяє використовувати CNC для гравіювання на таких матеріалах, як дерево, пластик, шкіра або фанера.

Як правило будь-які CNC-верстати складаються з кількох основних компонентів, які забезпечують їхню функціональність, точність і продуктивність. До них можна віднести: рама (корпус) верстата, стіл, лінійні напрямні, приводи, контролер або мікропроцесорний блок керування.

1. Рама (корпус) верстата. Основна структура, на яку монтуються всі інші компоненти. Рама забезпечує стабільність та жорсткість верстата, що критично важливо для точності обробки. Для саморобного ЧПУ раму часто

виготовляють з алюмінієвих профілів, сталевих труб або фанери – ці матеріали забезпечують оптимальний баланс між вартістю, міцністю та простотою.

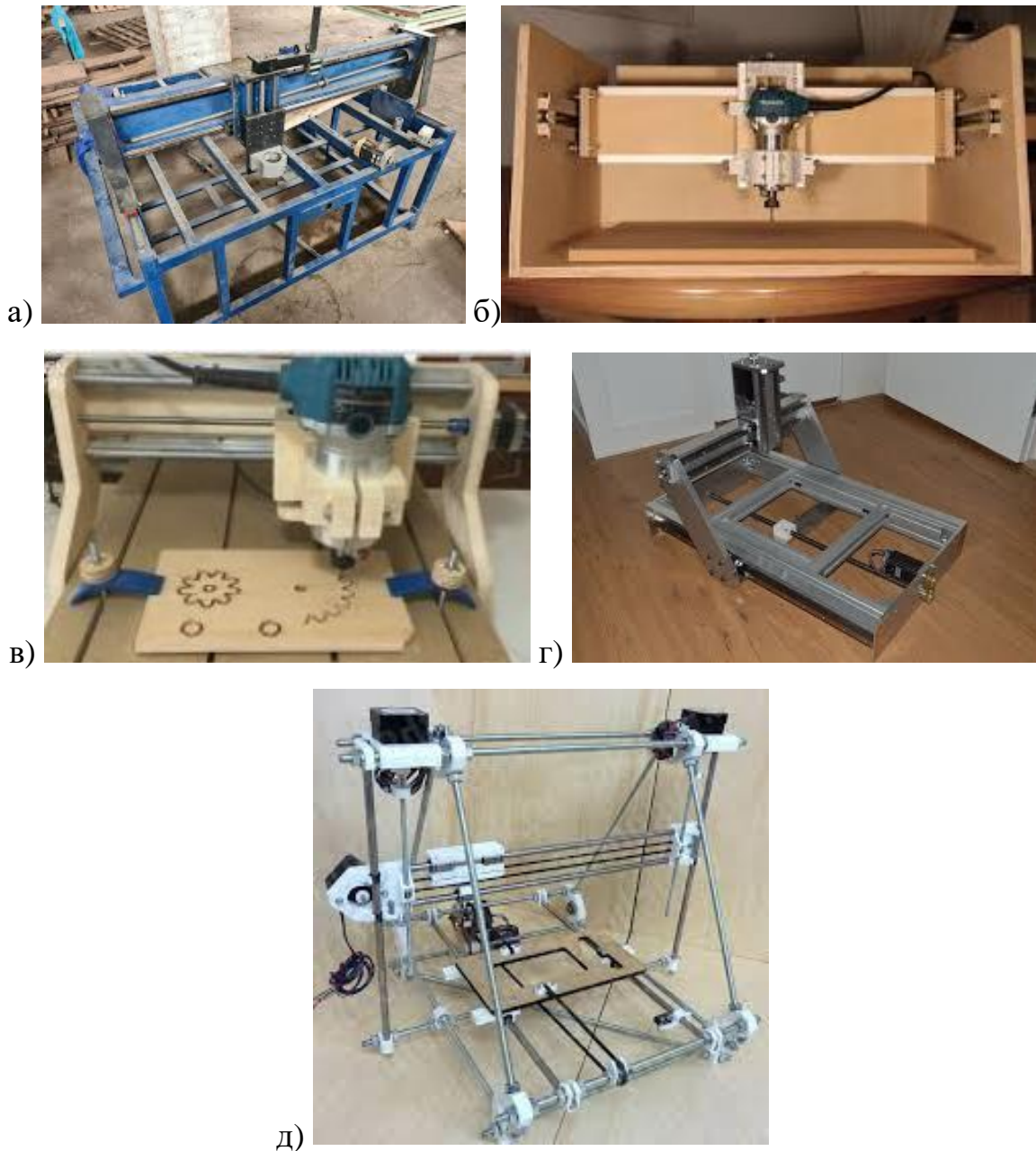


Рис. 1.11. Використання різних матеріалів для створення рами
(а. металева профільна труба, б. ДСП або МДФ, в. фанера, г. алюмінієвий профіль, д. різьбові шпильки).

В саморобних конструкціях, як правило, використовують алюмінієві профілі, сталеві профільні труби, деревину або фанеру, композитні матеріали (наприклад, ДСП або МДФ), пластикові профілі, сталеві різьбові шпильки.

Вибір матеріалу для виготовлення рами залежить від таких факторів, як жорсткість конструкції, бюджет та вимоги до точності верстата.

В саморобних верстатах частіше за все використовується верстатний профіль. Верстатний профіль, або алюмінієвий профіль для ЧПУ, – це спеціальний конструкційний матеріал, який широко використовується для створення рами і несучих елементів у саморобних та промислових ЧПУ верстатах. Це один із найзручніших матеріалів для складання верстатів, оскільки він легкий, міцний, доступний і забезпечує високу жорсткість конструкції. Найпопулярніші типи профілів – Т-подібні та V-подібні профілі з різними розмірами, які дозволяють легко з'єднувати елементи та встановлювати лінійні напрямні, двигуни, закріплювати електроніку та інші компоненти. Основні типи верстатних профілів для ЧПУ – Т-подібний профіль (T-slot) і V-подібний профіль (V-slot) (Рис.1.12.).

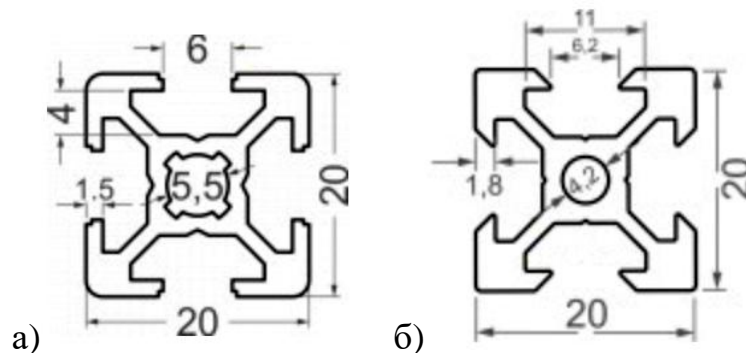


Рис. 1.12. Типи верстатного профілю

(а. профіль T-slot 20x20 мм; б. профіль v-slot 20x20 мм)

Т-подібний алюмінієвий профіль (T-slot) має Т-подібні пази по всій довжині профілю, що дозволяють легко прикріплювати додаткові деталі за допомогою болтів, гайок або спеціальних кріплень, що в свою чергу дозволяє робити легкий монтаж і демонтаж компонентів. Такий профіль є універсальним і підходить для вирішення різних задач, а також підходить для збирання будь-яких конструкцій без потреби в додатковому свердлінні.

Популярні розміри: 20x20, 30x30, 40x40, 45x45 мм і більше, залежно від бюджету і потреб у жорсткості.

V-подібний алюмінієвий профіль (V-slot) має V-подібні пази, що дозволяють використовувати спеціальні колеса (V-wheel) (Рис. 1.13.), які забезпечують плавний рух по напрямних. Такий профіль підходить для створення лінійних напрямних без додаткових рейок, забезпечує плавність і зменшує шум під час роботи, широко використовується в конструкціях ЧПУ, де важлива компактність і плавність руху.

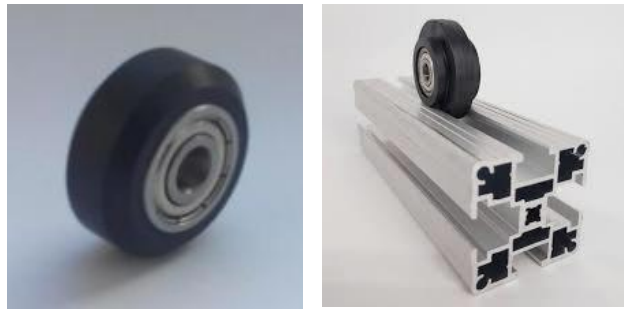


Рис. 1.13. V-колесо з підшипником (V-wheel).

Під час роботи з алюмінієвим профілем використовуються різні елементи кріплення (Рис. 1.14.), які дозволяють скріплювати профілі між собою і прикріплювати додаткові елементи (Рис.1.15):



Рис. 1.14. Різні варіанти кріплення для алюмінієвого профілю: T-подібні болти і гайки (T-bolts та T-nuts) (а. закладна T-гайка; б. поворотна T-гайка; в. T-болт; г, T-гайка з упором; д. пружинна T-гайка)

Для з'єднання різних елементів алюмінієвого профілю в ЧПУ-верстатах використовують кілька типів кріплень, кожен з яких має свої особливості.

1. Кутові кронштейни (кутники) Зазвичай виготовляються з алюмінію або сталі для забезпечення жорсткості. Часто використовуються у поєднанні з болтами і гайками для посилення фіксації. Використовуються для з'єднання профілів під кутом 90 градусів

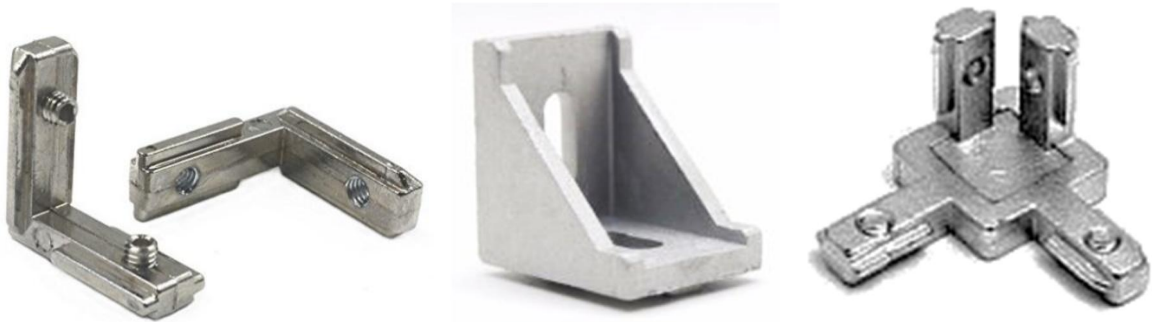


Рис. 1.15. Елемент кутового з'єднання алюмінієвого профілю

2. З'єднувальні пластини Плaskі металеві пластини з отворами, які використовуються для з'єднання двох профілів в одній площині, : забезпечують хорошу жорсткість, особливо у випадках, коли потрібно об'єднати кілька профілів разом.



Рис. 1.16. Зовнішній вигляд пластини для з'єднання металевих профілів.

3. Внутрішні з'єднувачі (скриті або приховані кріплення) Використовуються для створення естетичних з'єднань без зовнішніх кріплень. Встановлюються всередині профілю, забезпечуючи міцне кріплення з мінімальною помітністю

4. Кріплення типу "швидке з'єднання" використовуються для зручного з'єднання профілів без додаткових інструментів. швидкість і простота монтажу; часто використовуються для тимчасових конструкцій

6. Кріплення "уголок" із кріпильними болтами. Пластикові або металеві уголки, які дозволяють легко з'єднувати профілі під кутом забезпечують надійне з'єднання під різними кутами (зазвичай 45° або 90°).

7. Стикові з'єднувачі для продовження профілю. Це спеціальні з'єднувачі для зрощування профілів в одну лінію

8. Винтові і штифтові кріплення. Такий вид кріплення використовуються для з'єднання профілів за допомогою гвинтів або штифтів, що встановлюються в просвердлені отвори.

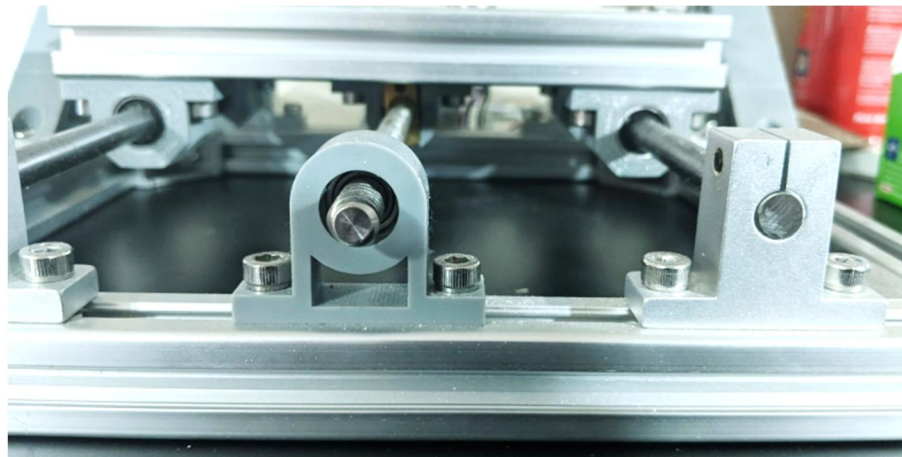


Рис. 1.17. Приклад кріплення елементів механіки на профіль.

2. Стіл. Робоча платформа, на якій розміщується заготовка або друкується 3Д модель. Стіл може бути фіксованим або рухомим, на ньому може бути розташований підігрівач (для 3Д принтерів), а також може мати спеціальні кріплення (затискачі) для фіксації матеріалу або заготовки під час її обробки. В якості поверхні стола використовують фанеру, органічне скло, ДСП або МДФ, алюмінієвий профіль. Як правило, для стільниць у ЧПУ-верстатах використовують алюмінієвий Т-подібний профіль, оскільки він

дозволяє легко кріпити фіксатори, лещата та інші кріпильні елементи для заготовок (Рис. 1.18).

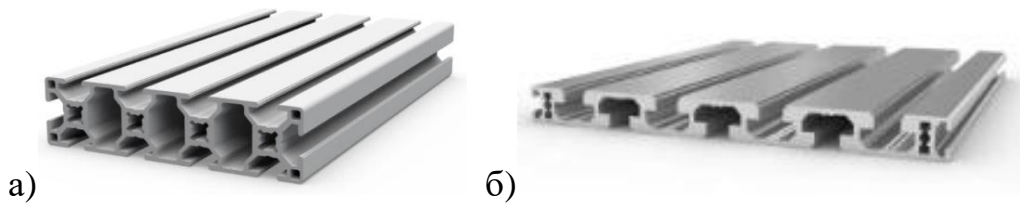


Рис. 1.18. Алюмінієвий профіль для платформи
(*а. профіль (T-slot); б. профільна пластина*).

Популярні розміри: 20x100 мм, 30x100 мм, 40x80 мм, де ширші профілі забезпечують більшу площу підтримки та жорсткість стільниці.

3. Лінійні напрямні. Направляючі елементи для переміщення інструменту або стола верстата. Вони забезпечують плавний рух без вібрацій і мають високу точність. В якості лінійних напрямних використовують круглий вал без опори діаметром від 3 мм і більше, вали на опорі різного діаметру, монорейка типу MGN різного розміру.

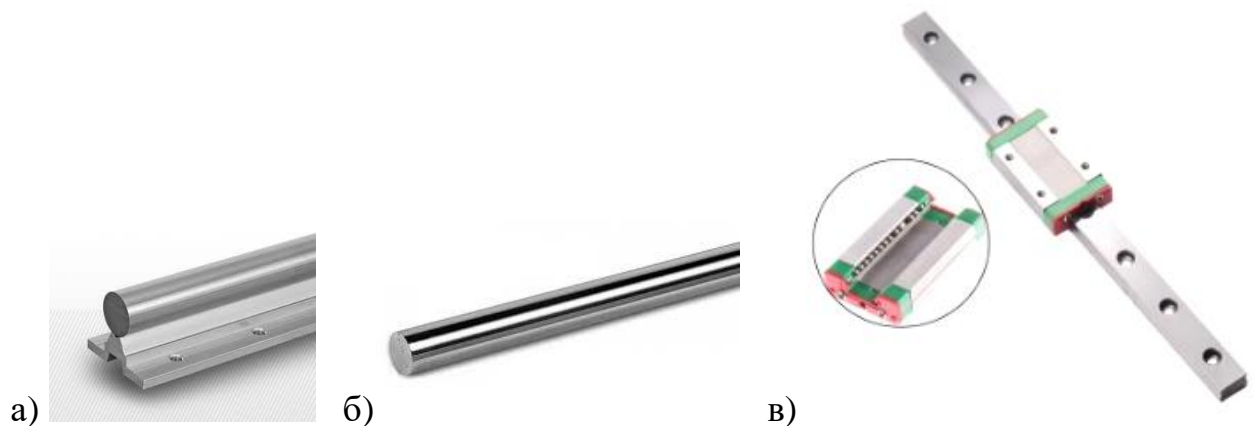


Рис. 1.19. Види лінійних напрямних (*а. вали на опорі; б. вал калібрований; в. монорейка типу MGN*).

Розмір лінійних напрямних стандартизований і вибирається користувачем у відповідності до особливостей конструкції ЧПУ-верстата.

В залежності від вибраних лінійних напрямних підбираються лінійні підшипники та кріплення для валів:



Рис. 1.20. Види лінійних підшипників для круглого валу (а. відкритий лінійний корпусний підшипник; б. відкритий безкорпусний лінійний підшипник; в. закритий корпусний лінійний підшипник; г. закритий безкорпусний лінійний підшипник; д. закритий подовжений лінійний підшипник; е. закритий лінійний підшипник з фланцем)



Рис. 1.21. Види кінцевих опор для круглого валу

4. Приводи. Використовуються для руху робочого інструмента або заготовки по осях верстата. Можуть бути кроковими (Рис. 1.22) або сервоприводами, які забезпечують точний контроль руху. Приводи забезпечують переміщення інструмента по осях X, Y, Z, а також, за потреби, по додаткових осях.

Крокові двигуни обирають у відповідності до характеристик ЧПУ-верстата або 3Д принтера. Вони відрізняються за розмірами, крутним моментом, напругою живлення та кроком. Усі крокові двигуни поділяються на біполярні та уніполярні, а вже від цього залежить спосіб їх підключення до основної плати та вибір драйвера. Візуально біполярні двигуни від уніполярних не відрізняються, різницю видно по кількості дротів підключення і типу драйвера.



Рис. 1.22. Види крокових двигунів

Драйвер крокового двигуна – це електронний пристрій, який контролює роботу крокового двигуна, перетворюючи команди керування в імпульси для обертання валу двигуна з точною кутовою позицією. Для ЧПУ-верстатів драйвери є критичними компонентами, оскільки забезпечують плавний, точний і стабільний рух, необхідний для обробки матеріалів.

Основні функції драйвера крокового двигуна: регулювання струму, контроль швидкості і позиціонування, підтримка мікрокрокового режиму, керування напрямком обертання, захист від перенапруги і перегріву.

Універсальні драйвери (наприклад, A4988, DRV8825) це: найпопулярніші драйвери для невеликих крокових двигунів з низьким і середнім струмом. A4988 підтримує до 1/16 кроку, а DRV8825 до 1/32, вони мають доступну ціну, простоту у використанні але обмежений струм (до 2А), що підходить тільки для малих двигунів (Рис. 1.23.).

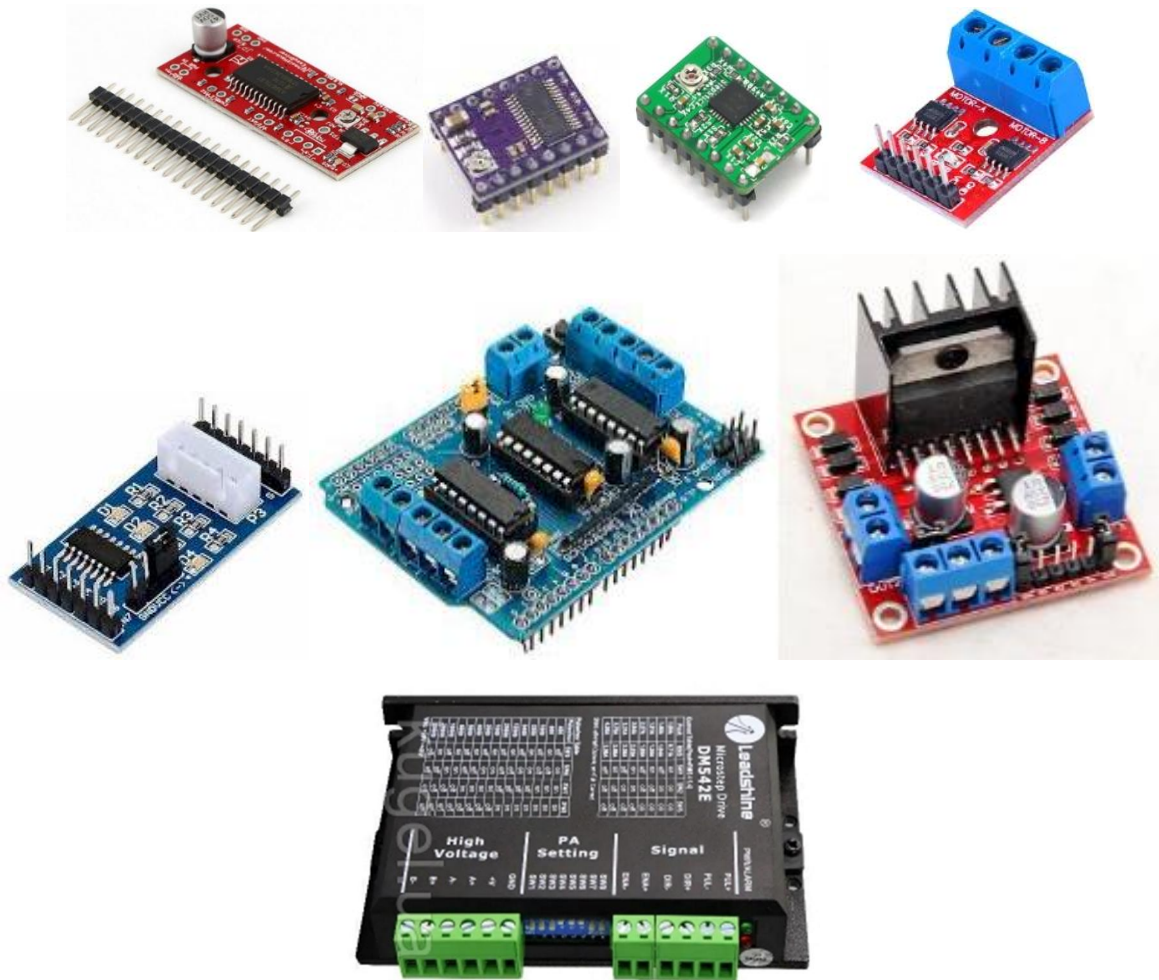


Рис. 1.23. Види драйверів для підключення і керування крокових двигунів.

Надійне з'єднання між приводами та рухомими частинами в системах ЧПУ є критично важливим для забезпечення точності, довговічності та стабільності роботи обладнання.

Надійне з'єднання між приводами та рухомими частинами забезпечує точність і стабільність роботи CNC-верстата. Для цього використовують різні типи механічних елементів: гвинтові передачі (*шарико-гвинтові пари*),

зубчасті ремені, шестерні та рейкові передачі, муфти, пряме з'єднання (фланцеві кріплення).

Гвинтові передачі (шарико-гвинтові пари) – забезпечують високу точність і плавність руху. Використовуються для перетворення обертального руху в лінійний.

У гвинтовій передачі використовується трапецієподібний ходовий гвинт та відповідна гайка (Рис. 1.24):



Рис. 1.24. Трапецієподібний ходовий гвинт з гайкою

В конструкціях ЧПУ-верстатів використовуються трапецієподібні ходові гвинти з 1-західною, 2-західною, 4-західною різьбою.

Таблиця 1.1.

Порівняння Трапецієподібного ходових гвинтів за параметрами

Кількість заходів	Точність позиціювання	Швидкість подачі	Схильність до самоблокування	Ефективність передачі
1	Висока	Низька	Висока	Середня
2	Середня	Середня	Середня	Вища
4	Низька	Висока	Низька	Висока

Зубчасті ремені – забезпечують гнучкість і плавність роботи. Підходять для середніх і малих навантажень.

Шестерні та рейкові передачі – надійні при високих навантаженнях. Використовуються у випадку, коли потрібна велика швидкість і жорсткість з'єднання.

Муфти – компенсують незначні осьові або кутові зміщення між приводом і рухомою частиною.



Рис.1.25.. Види муфт.

Гнучкі муфти забезпечують плавність руху та зменшують вібрації.

Пряме з'єднання (*фланцеві кріплення*) – використовується для максимальної жорсткості. Забезпечує мінімальні втрати енергії.



Рис. 1.26. Фланці для прямого з'єднання.

Лінійні підшипники та напрямні – зменшують тертя та забезпечують точність переміщення. Використовуються у поєднанні з гвинтовими передачами або рейками.

При виборі способу з'єднання важливо знати тип навантаження, швидкість руху, точність роботи та матеріали конструкції.

5. Контролер або мікропроцесорний блок керування. Це "мозок" верстата, який керує всіма операціями на основі завантаженої програми. Контролер отримує вхідні дані від оператора або програмного забезпечення та виконує команди, керуючи відповідними компонентами верстата. Він також відповідає за обробку G-кодів та M-кодів [29, 30, 33-35]. Контролер або мікропроцесорний блок керування є ключовими компонентами ЧПУ-системи,

оскільки вони забезпечують обробку команд, генерування траєкторій руху та управління приводами. Вибір між контролером і мікропроцесорним блоком залежить від складності завдань, вимог до продуктивності та бюджету проекту [1-4, 15, 23].

Контролер ЧПУ зазвичай є готовим пристроєм із вбудованим програмним забезпеченням, оптимізованим для керування верстатами, прикладами таких контролерів є: Mach3/Mach4, GRBL (*прошивка для Arduino*), LinuxCNC, DSP-контролери (*наприклад, RichAuto A11 для професійних ЧПУ*).

Мікропроцесорний блок керування – це рішення базується на використанні мікроконтролерів або одноплатних комп'ютерів (*наприклад, Arduino, Raspberry Pi, тощо*). Зазвичай базується на мікроконтролерах (*Atmega328, STM32*) або процесорах (*ARM Cortex*). Використовує програмне забезпечення для інтерпретації G-кодів і управління приводами.

Контролери добре підходять для промислових задач, де важлива стабільність, продуктивність і простота інтеграції. Їхній недолік – відносно висока ціна і менша гнучкість.

Мікропроцесорні блоки (*Arduino, STM32, Raspberry Pi*) популярні серед ентузіастів і в навчальних цілях завдяки низькій вартості та гнучкості. Однак вони вимагають більше зусиль для налаштування і можуть мати обмеження щодо продуктивності (Табл. 1.2).

Табл. 1.2.

Порівняння параметрів контролера і мікропроцесорного блоку.

Параметр	Контролер	Мікропроцесорний блок
Вартість	Висока	Низька
Продуктивність	Висока	Середня/низька
Гнучкість	Обмежена	Висока
Простота налаштування	Легка	Складніша
Сумісність	Широка	Залежить від прошивки

У навчальних або шкільних умовах доцільно використовувати Arduino з прошивкою GRBL завдяки його простоті та низькій вартості. Для промислових систем або складних завдань краще вибирати професійні контролери.

1.3. Програмне забезпечення для проектування, програмування та керування CNC-верстатами.

Для роботи з ЧПУ-плотером необхідне програмне забезпечення, яке виконує управління, підготовку завдань для виконання та взаємодії з апаратною частиною. Таке програмне забезпечення поділяється на категорії:

1. Системи проектування (CAD)

Програмне забезпечення для створення або редагування креслень і графічних макетів, які будуть оброблені на плотері:

- Inkscape (з підтримкою плагіна для ЧПУ)
- LibreCAD
- AutoCAD
- Fusion 360 (включає САМ-функціонал)

2. Системи підготовки керуючих програм (CAM)

Програми для конвертації креслень або зображення в G-код, які можуть виконуватися ЧПУ-плотером:

- Плагіни контролера GRBL (*наприклад, для Inkscape*)
- Easel (*онлайн-рішення для створення та генерації G-кодів*)
- FlatCAM (*для PCB і подібних завдань*)
- LaserGRBL (*для лазерного гравіювання, але також можна працювати з плотерами*)

3. Програмне забезпечення керування ЧПУ-верстатами. Це ПЗ дозволяє передавати G-коди на пристрій і контролювати його роботу.

- Контролер GRBL (*наприклад, UGS – Universal Gcode Sender*)
- bCNC
- Pronterface (*популярний для плотерів і 3D-принтерів*)

4. Середовище програмування для налаштування мікроконтролера

Для завантаження прошивки GRBL або налаштування Arduino використовують:

- Arduino IDE
- PlatformIO

5. Інше програмне забезпечення для спеціальних завдань

- T2Laser (для лазерних і гравірувальних ЧПУ)
- GIMP (для підготовки растрових зображень)

Вибір програмного забезпечення залежить від типу завдань, які виконуються ЧПУ-плотером, і рівня підготовки користувачів.

Grbl Controller призначений для передачі G-Code (Додаток А) у CNC-машин, такі як фрезерні верстати, лазерні гравірувальники, плотери.

Grbl Controller написана з використанням кросплатформної бібліотеки QT та бібліотеки QextSerialPort для спрощення процедури вибору правильного порта для роботи через послідовний USB-порт.

LaserGRBL – це безкоштовне та просте програмне забезпечення, призначене для невеликих підприємств та аматорів. LaserGRBL має відкритий вихідний код, працює з верстатами у яких прошивка GRBL v0.9 та GRBL v1.1. Програма дозволяє гравірувати як растрові зображення у півтонах, так і векторні. Програма має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, забезпечуючи зручність керування широким спектром інструментів. Завдяки сумісності з різними прошивками та підтримкою різних плат контролерів LaserGRBL дозволяє адаптувати програму під свої потреби.

LaserGRBL вважається одним із найкращих вільно розповсюджуваних продуктів, що працює з ОС Windows. Може готувати програми управління для пристроїв типу Arduino. Цей програмний продукт спеціально розроблений для управління роботою лазерного різачка, гравера або плотера. Має простий і зрозумілий користувацький інтерфейс (Рис. 1.27).

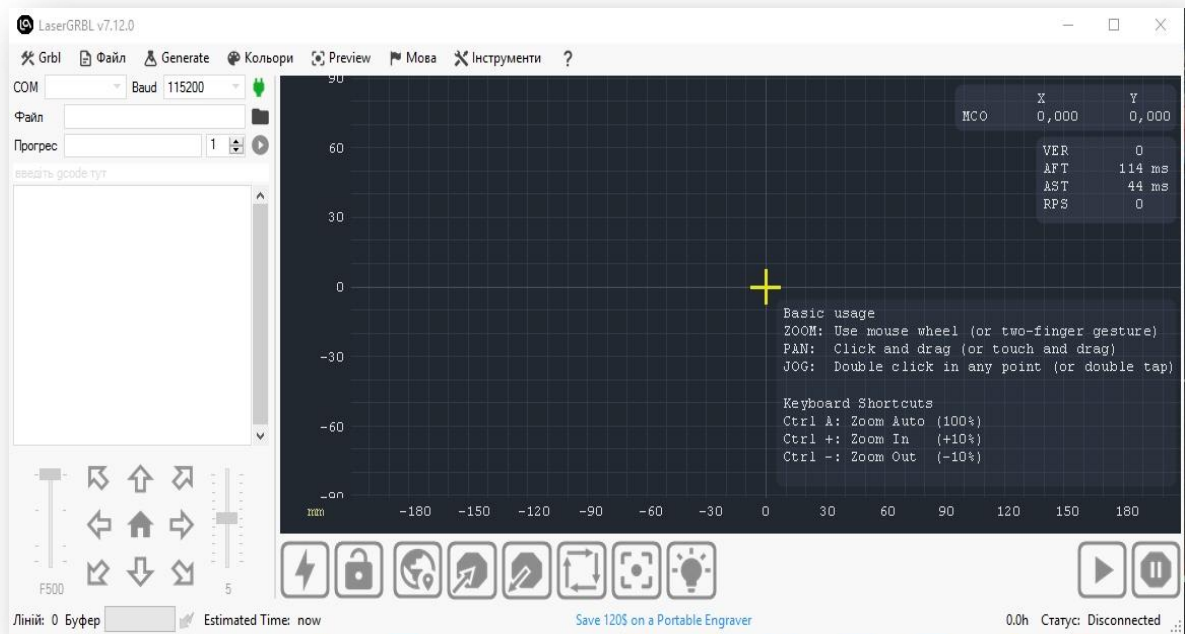


Рис. 1.27. Інтерфейс програми LaserGRBL.

До основних можливостей інструментів, які розташовані у вікні інтерфейсу програми LaserGRBL можна віднести:

1. Контроль підключення з вибором послідовного порту й швидкості передачі даних відповідно до конфігурації мікропрограми grbl (Додаток Б).
2. Керування виконання програми управління, що дозволяє бачити ім'я завантаженого файлу та хід процесу малювання або гравіювання.
3. Управління вручну через уведення покроково кадрів програми управління.
4. Журнал команд, що дозволяє відслідковувати послідовність виконання 50 команд і виявляти помилки.
5. Керування бігом, що вможливлює позиціонування інструменту вручну. Лівий вертикальний повзунок контролює швидкість руху, правий повзунок регулює розмір кроку.
6. Попередній перегляд роботи: у цій області відображається остаточний попередній перегляд виконаної роботи. Під час малювання або гравіювання

маленький хрестик відобразатиме поточне положення інструменту під час роботи.

7. Grbl скидання / самонаведення / розблокування: ці кнопки подають відповідні команди задля керування ходом налаштування програми управління.

8. Утримання та відновлення подачі: за допомогою цих кнопок можна призупинити та відновити виконання програми, надсилаючи команду «Утримання подачі» або «Відновити» на контролер grbl.

9. Відображення інформації про кількість рядків та приблизний час виконання завдання.

Для роботи з ЧПУ-плотером необхідно виконати з'єднання, для цього у програмі вибираємо порт і вибираємо швидкість обміну даними. Потім завантажуюємо зображення:

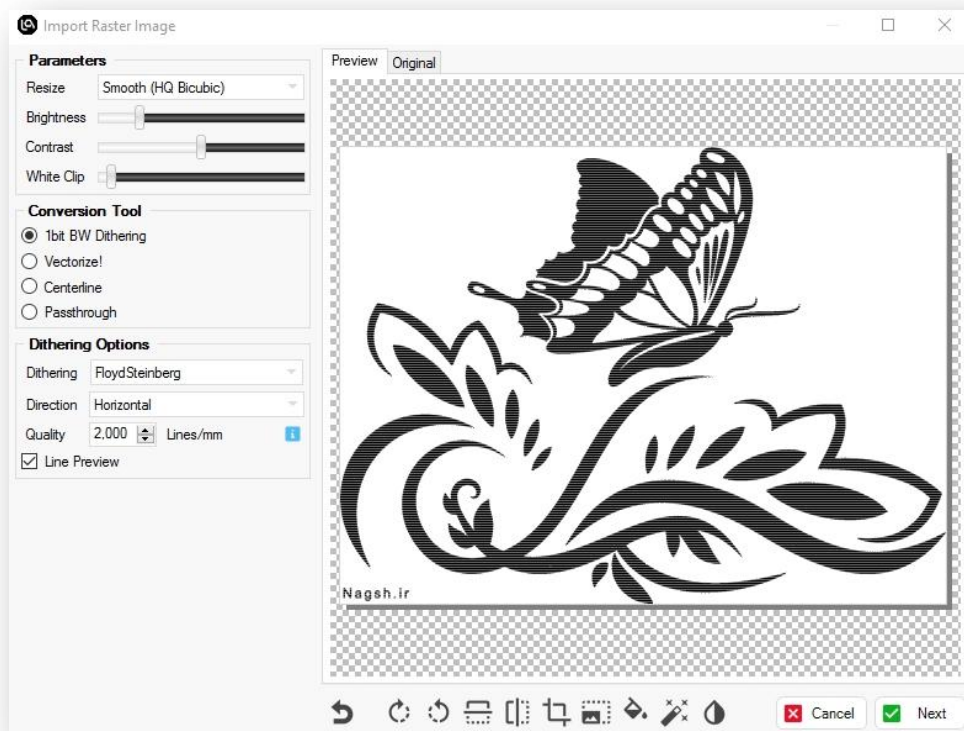


Рис. 1.28. Вікно програми LaserGRBL під час роботи із зображенням.

Далі треба вибрати вибрати режим відтворення зображення, це може бути відтворення по рядках, або зображення перетворюється у векторне і ЧПУ-плотер будує зображення по контурах.

Після вибору необхідних параметрів і встановлення режиму, можна приступати до відправки зображення на ЧПУ-плотер:

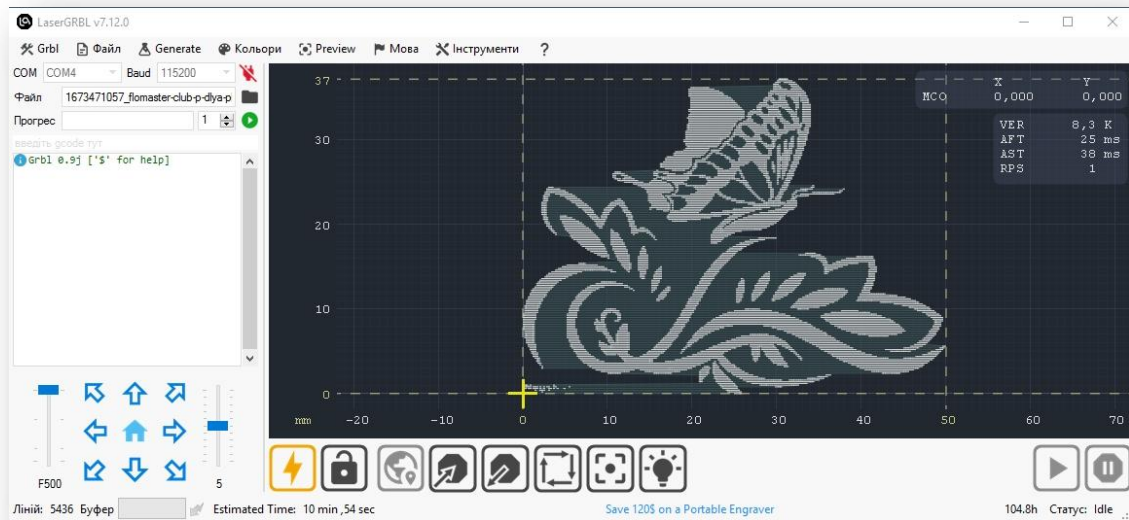


Рис. 1.29. Вікно програми LaserGRBL з підготовленим зображенням.

Після натискання на кнопку «Запустити завдання» можна спостерігати за ЧПУ-плотером, або слідкувати за спеціальним курсором на екрані який показує переміщення, а відповідно і поточне положення робочого інструменту в процесі малювання, гравіювання або випалювання.

Після закінчення встановленого завдання, робочий інструмент переміщається на домашні координати, тобто $X=0$ та $Y=0$.

РОЗДІЛ 2. ВПРОВАДЖЕННЯ САМОРОБНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС НА УРОКАХ ТЕХНОЛОГІЙ

2.1. Актуальний стан зацікавленості учнів до вивчення автоматичної, робототехніки та ЧПУ-технологій.

Аналіз програми з технологій для 10-11 класів показав, що в її основі лежить проектно-технологічна діяльність, опанування якої дає можливість учням проводити дослідницьку роботу. Обов'язково-вибірковий модуль «Основи автоматичної і робототехніки» пропонує вчителю технологій набір орієнтованих проектів, але водночас відкриває великий простір для реалізації власних ідей у створених проектах [26-28, 32].

Для нашого дослідження важливо з'ясувати рівень цікавості учнів до обов'язково-вибіркового модуля «Основи автоматичної і робототехніки», а також готовність учнів до роботи з ЧПУ-обладнанням та автоматикою.

Анкета складається з дванадцяти запитань, на які відповідали учні:

Анкета з навчання робототехніки та автоматизації для старшокласників

Ми проводимо дослідження для вибору об'єкта проектування та з'ясування аспектів які слід врахувати під час його створення в майбутньому. За результатами цього опитування буде розроблено навчально-методичне забезпечення для проведення уроків технологій для учнів 10-11 класів. Просимо Вас уважно прочитати запитання й обрати ті відповіді, які вважаєте правильними.

Ім'я та прізвище (не обов'язково): _____

Клас: _____

1. Чи цікавилися ви автоматикою, робототехнікою та ЧПУ-обладнанням раніше?

- а) Так
- б) Ні

- 2. Що вас найбільше цікавить у цій сфері?**
 - а) Роботи та маніпулятори
 - б) Автоматизація виробництва, ЧПУ-верстати
 - в) Смарт-пристрої та розумні гаджети
- 3. Чи знайомі ви з принципами роботи ЧПУ-обладнання?**
 - а) Так, маю певне уявлення
 - б) Ні, але хотів(-ла) б знати більше
- 4. Що вам найбільше цікаво в роботі з ЧПУ-обладнанням?**
 - а) Можливість створення складних і точних деталей
 - б) Автоматизація трудомістких процесів
 - в) ЧПУ для творчих проєктів
- 5. Які конкретні навички ви хочете отримати під час вивчення модуля «Основи автоматичної та робототехніки»?**
 - а) Програмування
 - б) Механіка
 - в) Електроніка
 - г) Робота з ЧПУ-верстатами
- 6. Яким способом ви хочете навчатися основам автоматичної, робототехніки та роботи з ЧПУ?**
 - а) На уроках технологій
 - б) У гуртках, на курсах або в позашкільній освіті
 - в) Самостійно через інтернет
- 7. Чи знайомі ви з робототехнічними або автоматизованими платформами?**
 - а) Arduino
 - б) Raspberry Pi
 - в) Wemos
 - г) Ні, не знайомий(-а)
- 8. З якою мовою програмування ви знайомі?**
 - а) C++
 - б) Python
 - в) Java
 - г) Pascal

г) Жодної

9. Який із наступних проєктів для роботи з ЧПУ-обладнанням вас цікавить найбільше?

- а) виготовлення дерев'яної ключниці
- б) Гравіювання логотипів або малюнків
- в) Вирізання шаблонів для творчих проєктів
- г) Інше (вказіть)

10. Наскільки впевнено ви відчуваєтесь у програмуванні для автоматизованих систем?

- а) Відмінно
- б) Добре
- в) Задовільно
- г) Потрібно більше знань

11. Чи є у вас плани щодо професійного розвитку у сфері ЧПУ або автоматизації?

- а) Так, розглядаю це як майбутню професію
- б) Так, для власного використання
- в) Поки не маю конкретних планів

12. Що для вас має найбільше значення у роботі з ЧПУ?

- а) Можливість створювати нові речі самостійно
- б) Опанування нових технологій і методів
- в) Практичне застосування знань у реальних проєктах

В проходженні анкетування взяло участь 23 респондента. Анкетування проводилось серед учнів 10-11 класів закладів середньої освіти Сумської області. З результатів аналізу відповідей анкет, ми отримали такі дані.

Аналіз анкетування

В проходженні анкетування взяло участь 23 респондентів. Анкетування проводилось серед учнів 10-11 класів закладів середньої освіти Сумської області. З результатів аналізу відповідей анкет, ми отримали такі дані.

На запитання «Чи цікавилися ви автоматикою, робототехнікою та ЧПУ-обладнанням раніше?» 83% відповіло – Так, а 17% – Ні (Рис. 2.1). Це дає розуміння того, що учні мають більший інтерес до цих технологій і вже знайомі з основами або аспектами їх застосування. Такий високий рівень зацікавленості говорить про потенціал поглибленого навчання автоматизації та робототехніки, а також про доцільність впровадження практичних занять із використанням ЧПУ-обладнання, яке дозволяє їм розвинути навички та закріпити отримані знання на практиці.

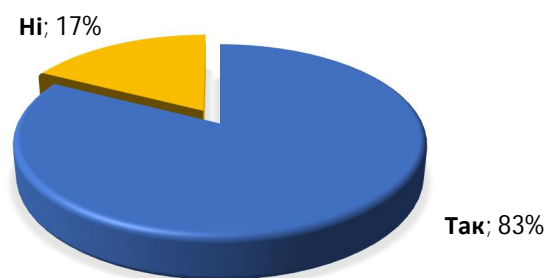


Рис. 2.1. Рівень зацікавленості учнів до автоматики та робототехніки

На наступне запитання «Що вас найбільше цікавить у цій сфері?» відповіли так: Роботи та маніпулятори – 9%, Автоматизація виробництва, ЧПУ-верстати – 43%, Смарт-пристрої та розумні гаджети – 48% (Рис.2.2).



Рис. 2.2. Рівень зацікавленості учнів до різних напрямків автоматики та робототехніки.

Ці відповіді свідчать про широкий спектр інтересів серед учнів, з акцентом на сучасні технології в автоматизації та смарт-технологіях. Більшу

частину респондентів цікавить ЧПУ-обладнання та автоматизація виробництва, що вказує на практичний інтерес до створення реальних пристроїв та оптимізації процесів. Водночас значний інтерес до смарт-гаджетів свідчить про актуальність впровадження навчальних проектів, орієнтованих на побутові пристрої та пристрої для особистого користування, що також формує інтерес до інтеграції смарт-технологій у життя.

На запитання «Чи знайомі ви з принципами роботи ЧПУ-обладнання?» відповіли так: 13% респондентів вказали, що мають певне уявлення про нього, а 87% висловили бажання більше ознайомитися з цим напрямком у сфері автоматики та робототехніки. Це свідчить про великий інтерес до теми та готовність учнів розширювати свої знання в цій галузі. Такий високий відсоток охочих вивчити ЧПУ-технології показує актуальність впровадження навчальних модулів або доступ із практичним використанням ЧПУ-обладнання, що може допомогти учням набути базові технічні навички та краще створити можливості автоматизованого виробництва.

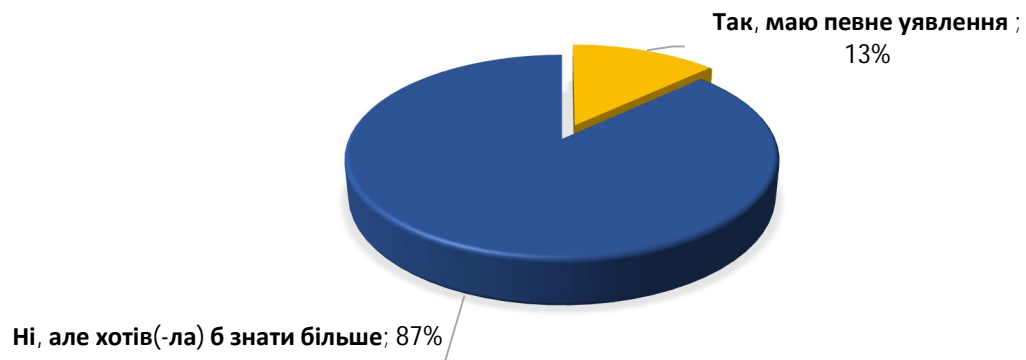


Рис. 2.3. Рівень зацікавленості учнів розширювати свої знання в галузі ЧПУ-технологій.

На запитання «Що вам найбільше цікаво в роботі з ЧПУ-обладнанням?» відповідні розподілені так: 26% обрали можливість створення складних і точних деталей, 4% зацікавлені в автоматизації трудомістких процесів, а 70% віддали перевагу використанню ЧПУ для творчих проектів. Це показує, що більшість учнів бачать у ЧПУ-обладнанні інструмент для творчості та

втілення власних ідей, а не лише для технічних завдань. Такий розподіл відповідей вказує на важливість інтеграції ЧПУ у творчі проекти, що може мотивувати учнів, дозволяючи їм експериментувати та реалізовувати креативні ідеї за допомогою сучасних технологій.



Рис. 2.4. Напрямки використання ЧПУ-технологій.

На питання «Які конкретні навички ви хочете отримати під час вивчення модуля «Основи автоматизації та робототехніки?», учні відповіли так: 26% обрали програмування, 22% – механіку, 17% зацікавлені в електроніці, а найбільше, 35%, хочуть навчитися працювати з ЧПУ-верстатами (Рис. 2.5).

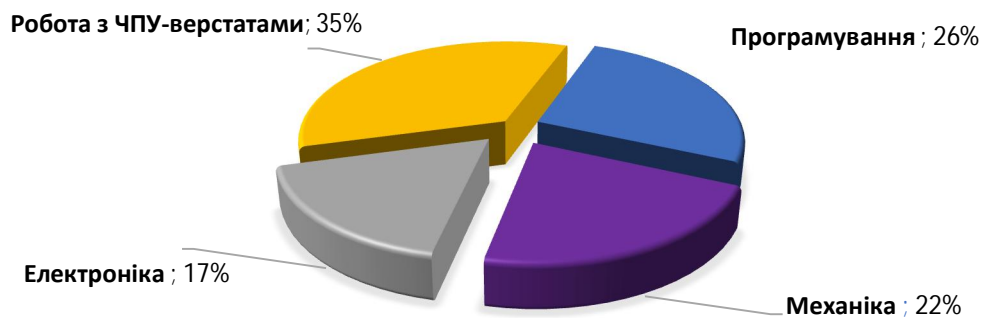


Рис. 2.5. Розподіл інтересів учнів у вивченні навичок з модуля «Основи автоматизації та робототехніки».

Такий розподіл показує сильний інтерес саме до практичних навичок роботи з ЧПУ-обладнанням, що підкреслює важливість вибору цього модуля. Водночас значний інтерес до програмування, механіки та електроніки свідчить про комплексний підхід до вивчення автоматизації та робототехніки, де учні

хочуть отримати навички, які доповнюють одна одну та сприяють глибшому розумінню сучасних технологій.

На запитання «Яким способом ви хочете навчатися основам автоматички, робототехніки та роботи з ЧПУ?» учні відповіли наступним чином: 70% обрали навчання на уроках технологій, 22% віддали перевагу гурткам, курсам або позашкільній освіті, а 9% бажають навчатися самостійно через інтернет (Рис. 2.6).

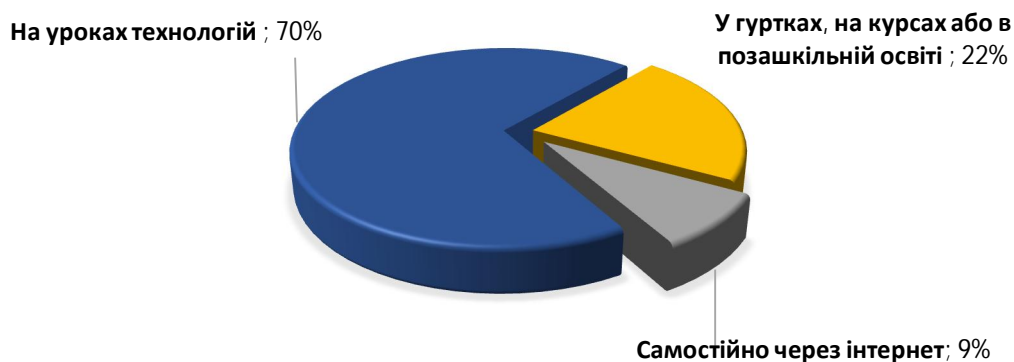


Рис. 2.6. Вибір учнів щодо методів навчання технічним навичкам.

Ці дані свідчать про те, що більшість учнів надають перевагу структурованому навчанню в межах шкільної програми, тоді як деяка частина передбачає отримання знань у спеціалізованих позашкільних закладах або в індивідуальному форматі через онлайн-ресурси.

На наступне питання «Чи знайомі ви з робототехнічними або автоматизованими платформами?» відповіді учнів розподілилися так: 22% знайомі з платформою Arduino, 4% – з Raspberry Pi, а 74% відповіли, що не знайомі з жодною платформою.

Такий результат означає, що існує значна потреба в ознайомленні учнів з робототехнічними платформами, основами електроніки та автоматички.

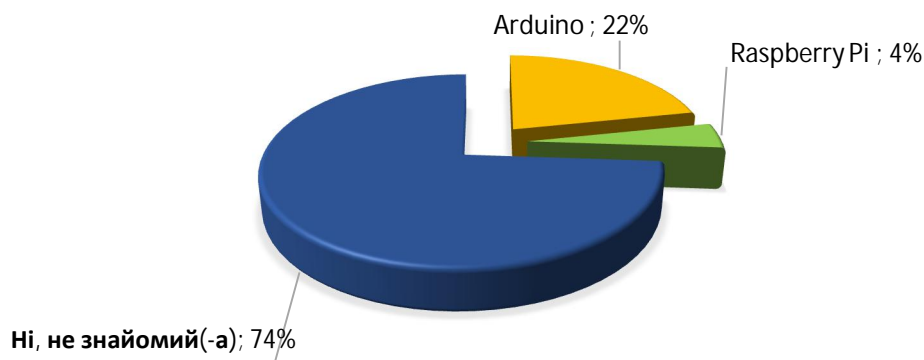


Рис. 2.7. Знайомство учнів з робототехнічними платформами.

На питання «З якою мовою програмування ви знайомі?» учні відповіли так: 78% знайомі з Python, 13% – з Pascal, 4% – з C++ і 4% – з Java.

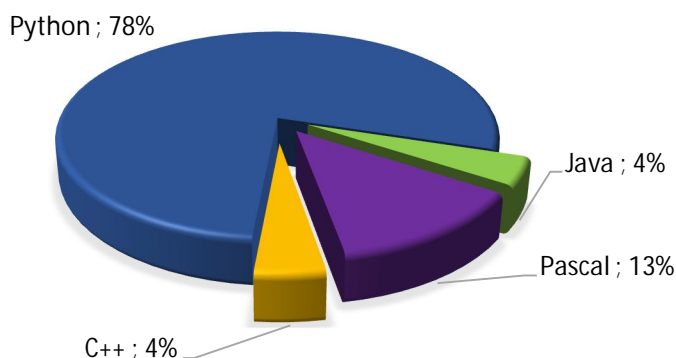


Рис. 2.8. Популярність мови програмування серед учнів.

Жоден учень не вказав, що не знайомий із жодною мовою програмування, тому що мови програмування вивчаються в межах предмета інформатики.

Ці результати показують на високу зацікавленість та певний рівень підготовки учнів у сфері програмування, причому Python виявився найпоширенішою мовою.

Наступне питання «Який із наступних проєктів для роботи з ЧПУ-обладнанням вас цікавить найбільше?»

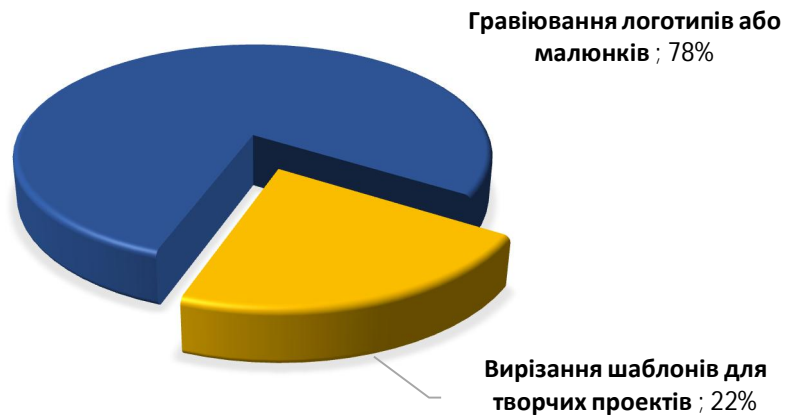


Рис. 2.9. Інтерес учнів до проектів для роботи з ЧПУ-обладнанням

Результати опитування показують, що найбільше учнів цікавить проект гравіювання логотипів або малюнків, який отримав 78% відповідей. Це свідчить про високий інтерес до використання ЧПУ-обладнання для створення графічних зображень і персоналізованих елементів, що дозволяє учням реалізувати творчі ідеї. Проект вирізання шаблонів для творчих проектів цікавить 22% учнів, що також показує на інтерес у практичному використанні ЧПУ для виготовлення деталей, інших для інших творчих завдань. Цікаво, що виготовлення дерев'яної ключниці та інша категорія не отримали жодного голосу, що можна свідчити про демонстрацію зацікавленості учнів у менш творчих або індивідуалізованих проектах із використанням ЧПУ-обладнання. Ці результати вказують на потребу у зосередженні навчання на графічних і творчих аспектах роботи з ЧПУ, щоб максимально зацікавити учнів.

Відповіді на запитання «Наскільки впевнено ви відчуваєтесь у програмуванні для автоматизованих систем?» розподілилися наступним чином: Відмінно – 0%; Добре – 9%; Задовільно – 13%; Потрібно більше знань – 78%

Аналіз результатів показує, що більшість учнів (78%) вважають, що їм потрібно більше знань у програмуванні для автоматизованих систем. Це свідчить про значний запит на глибше вивчення та практику в цій галузі, а також про недостатню впевненість учнів у своїх поточних навичках. Лише 13% оцінили свої знання як задовільні, а 9% вважають їх добрими, що також вказує на початковий рівень підготовки.

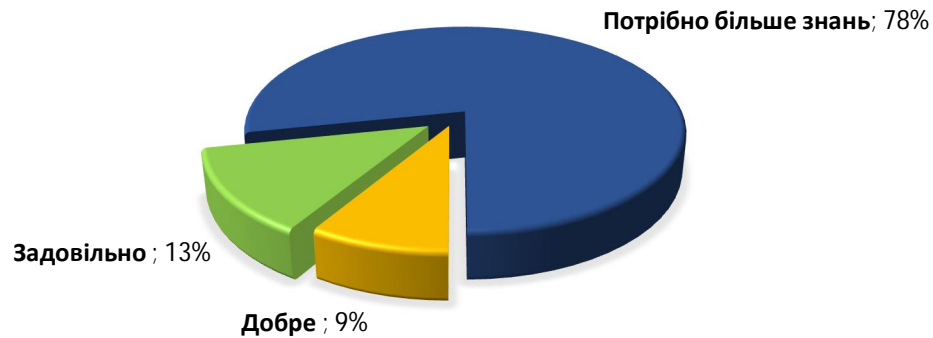


Рис. 2.10. Рівень впевненості учнів у програмуванні для автоматизованих систем

Відсутність відповідей у категорії відмінно демонструє потребу в удосконаленні освітнього підходу до програмування для автоматизованих систем. Ці результати можуть слугувати підґрунтям для розробки навчальних програм, спрямованих на посилення знань і впевненості учнів у роботі з програмуванням, а також надання додаткових ресурсів і практичних завдань для підвищення їхньої компетентності в цій важливій сфері.

Відповіді на запитання «Чи є у вас плани щодо професійного розвитку у сфері ЧПУ або автоматизації?» розподілилися так: Так, розглядаю це як майбутню професію вибрали 35% учнів; Так, для власного використання 43% і 22% відповіли що поки не мають конкретних планів.

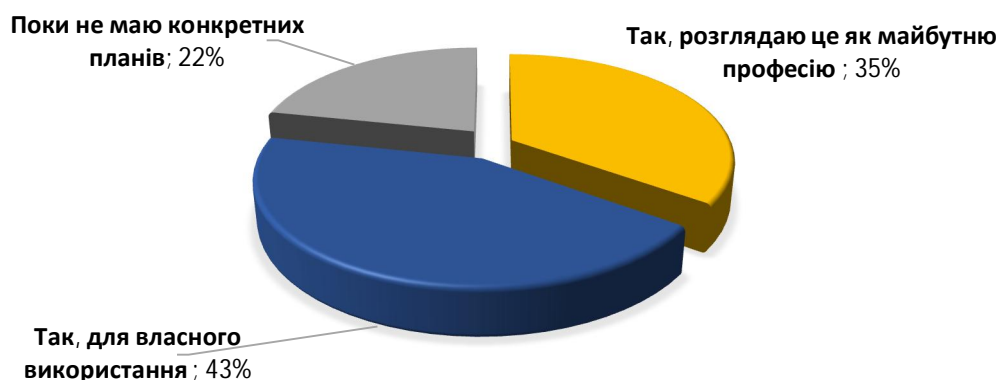


Рис. 2.11. Плани щодо професійного розвитку учнів у сфері ЧПУ та автоматизації

Аналіз результатів показує, що більшість учнів (78%) будуть цікаві використанням знань у сфері ЧПУ або автоматизації в майбутньому. Таким чином, 35% респондентів бачать цю сферу як представлену професією, що передбачає про зацікавленість у подальшому професійному розвитку та навчанні в даному напрямку. Ще 43% планують практично застосувати знання та навички в цій галузі для власних потреб. Лише 22% наразі не мають конкретних планів, які можна вказати на потребу в додатковій мотивації чи інформації для визначення подальших напрямків розвитку в галузі ЧПУ та автоматизації.

На останнє запитання «Що для вас має найбільше значення у роботі з ЧПУ?» отримали відповіді: 26% – Можливість створювати нові речі самостійно; 39% – Опанування нових технологій і методів; Практичне застосування знань у реальних проектах – 35%.

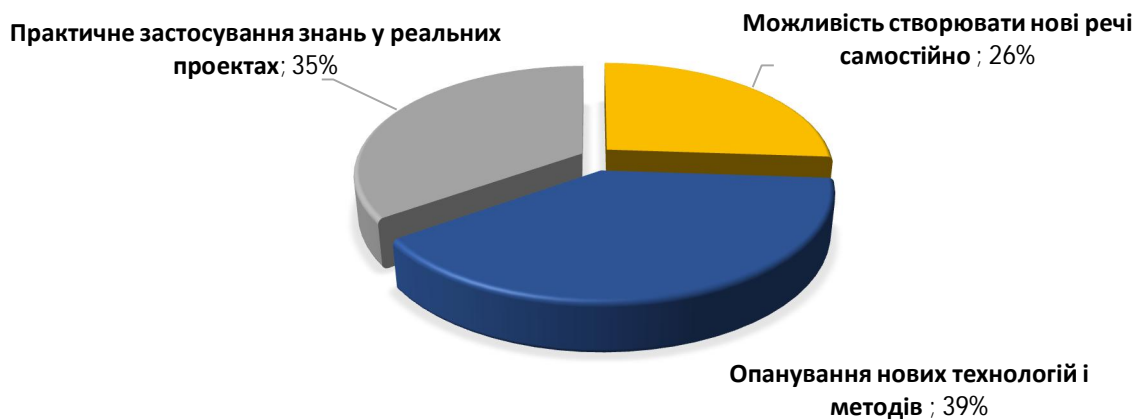


Рис. 2.12. Пріоритети учнів у роботі з ЧПУ-обладнанням

Аналіз результатів показує, що учні мають різні, але збалансовані інтереси роботи з ЧПУ, які зосереджуються на практичних, технологічних і творчих аспектах. Найбільше отримали відповідей отримав варіант "Опанування нових технологій і методів" (39%), що свідчить про високий інтерес до вивчення сучасних технологій і розширення технічної обізнаності.

Варіант «Практичне застосування знань у реальних проектах» обрали 35% учасників, що підкреслює значення для застосування учнями отриманих знань на практиці. Це демонструє прагнення реалізовувати свої навички у виготовленні корисних та функціональних об'єктів.

26% опитаних обрали варіант «Можливість створювати нові речі самостійно», що розвиває інтерес учнів у творчій роботі з ЧПУ-обладнанням та розвиток навичок самостійного конструювання. Це підтверджує, що для багатьох учнів є аспект творчого самовираження в межах інженерних проектів.

Загальний аналіз анкетування учнів показав значну зацікавленість у сфері автоматизації, робототехніки та ЧПУ-обладнання. Результати виявили наступні ключові моменти:

1. **Інтерес до автоматизації та робототехніки:** Більшість учнів вже цікавляться цими напрямками, що мають потенціал для подальшого поглибленого навчання. Ви побачите 83% інтересу до автоматизованих технологій, зокрема до смарт-пристроїв та гаджетів, що відкриває можливість для підключення сучасних технологій до навчальної програми.
2. **Попит на знання з ЧПУ-технологій:** 87% учнів висловили бажання більше знати про принципи роботи ЧПУ-обладнання, що підтверджує надання їм основних знань та практичних навичок у цій галузі.
3. **Переваги у форматах навчання:** Значна частина учнів (70%) вважає за краще отримувати знання з основ автоматизації та робототехніки під час шкільних уроків технологій. Це ознака про важливість включення цих тем до основної навчальної програми для максимального охоплення інтересу учнів.
4. **Популярність платформи для програмування:** Найбільші вчені знайомі з Python, які можуть слугувати відправною точкою для розвитку подальших програмних навичок, більшість для роботи з ЧПУ та автоматизованими системами.
5. **Інтерес до проектів з ЧПУ:** Найпопулярнішим серед проектів з ЧПУ є гравіювання логотипів і малюнків (78%) та вирізання шаблонів для творчих проектів (22%). Ці відомості про націленість учнів на творчі аспекти та можливість самостійного виготовлення унікальних виробів.
6. **Рівень впевненості у програмуванні:** 78% учнів вважають, що потребують більше знань з програмування, що вказує на наявність підтримки

та додаткового навчання з базових навичок для комфортної роботи з автоматизованими системами.

7. Мотивація до професійного розвитку: Учні виявляють різний рівень інтересу до подальшого професійного розвитку в цій сфері: 35% розглядають її як можливу професію, 43% – для власного користування, і лише 22% не мають конкретних планів.

Загалом, результати анкетування вказують на значні інтереси учнів до практичних навичок у галузі автоматизації та робототехніки.

2.2. Покрокова інструкція зі створення верстата ЧПУ на базі Arduino: вибір матеріалів та опис конструкції

У якості простого ЧПУ було вибрано простий і невеличкий ЧПУ-плотер, якій дозволяє встановлювати будь-який маркер у якості робочого інструменту або лазер для випалювання. Для виготовлення даного CNC-плотера було проаналізовано та обрано необхідні компоненти, які забезпечують його ефективну роботу та доступність у навчальному процесі. Основними елементами, що використовуються в конструкції, є: основна рама, лінійні направляючі та підшипники, крокові двигуни, контролер (Arduino), драйвери крокових двигунів.

Основна рама, як правило, виконує роль каркасу та забезпечує стабільність усієї конструкції. Вона може бути виготовлена з алюмінієвих профілів або інших легких, але міцних матеріалів. В даній конструкції нами було вибрано дерев'яну основу (*фанера, ДСП або МДФ*) на якому кріпляться пластикові елементи CNC-плотера, направляючі, підшипники, двигуни та інше.

Пластикові елементи CNC-плотера були створені в онлайн редакторі TinkrCad та надруковані на 3D принтері PLA пластиком. Після друку на 3D принтері, кожна деталь оглядається і при необхідності оброблюється спеціальним інструментом або наждачним папером.

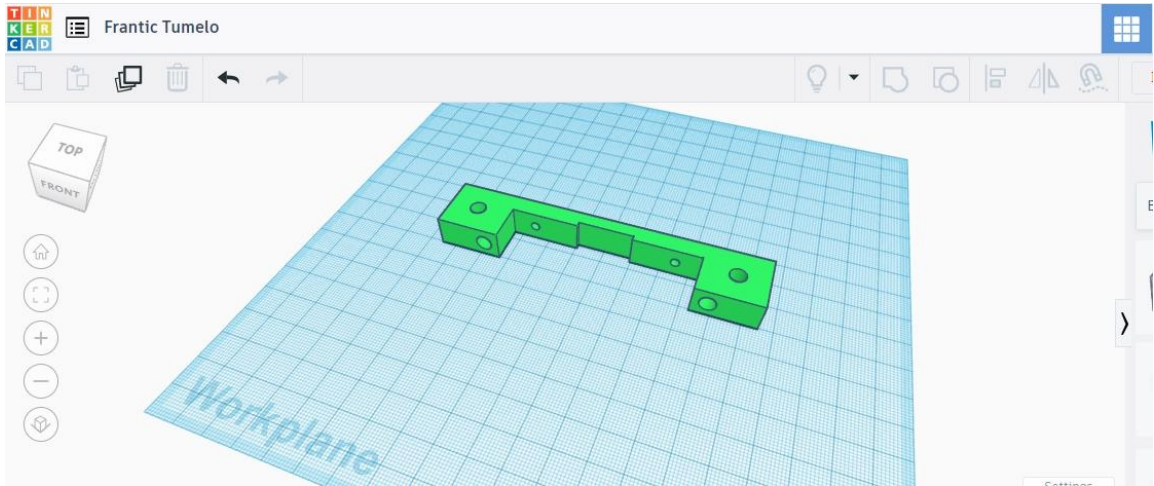


Рис. 11. Зовнішній вигляд деталі Y1_CNC.

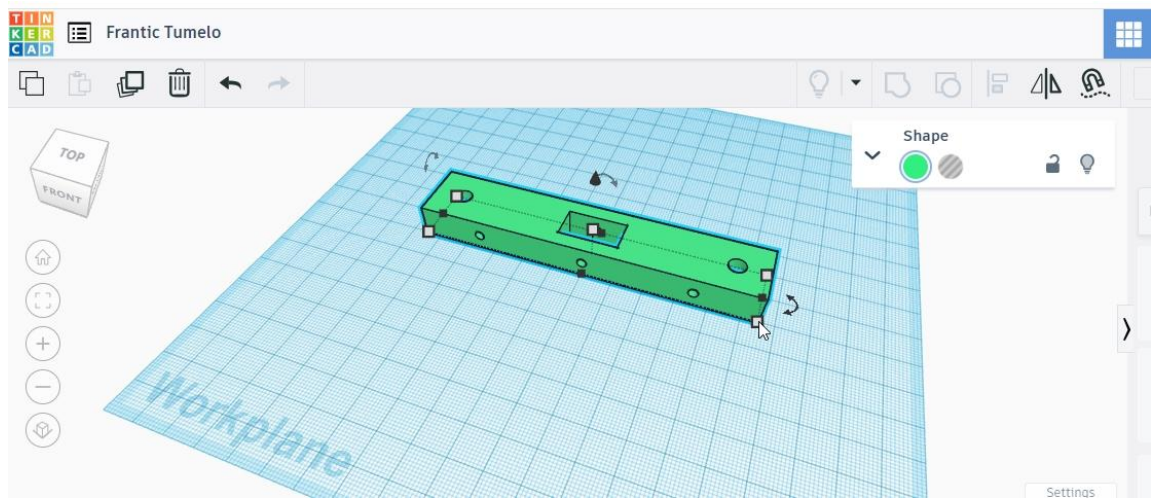


Рис. 12. Зовнішній вигляд деталі Y2_CNC.

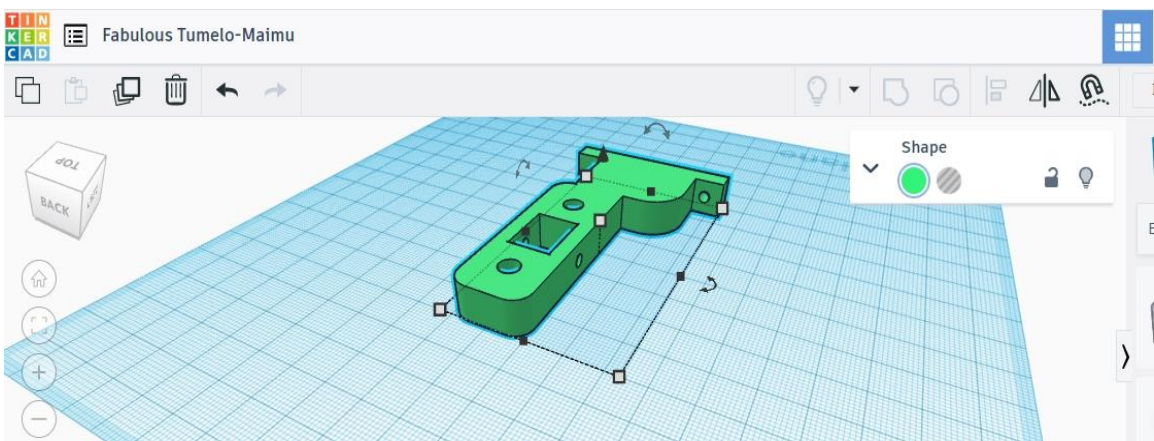


Рис. 2.13. Стійка кріплення направляючих осі X.

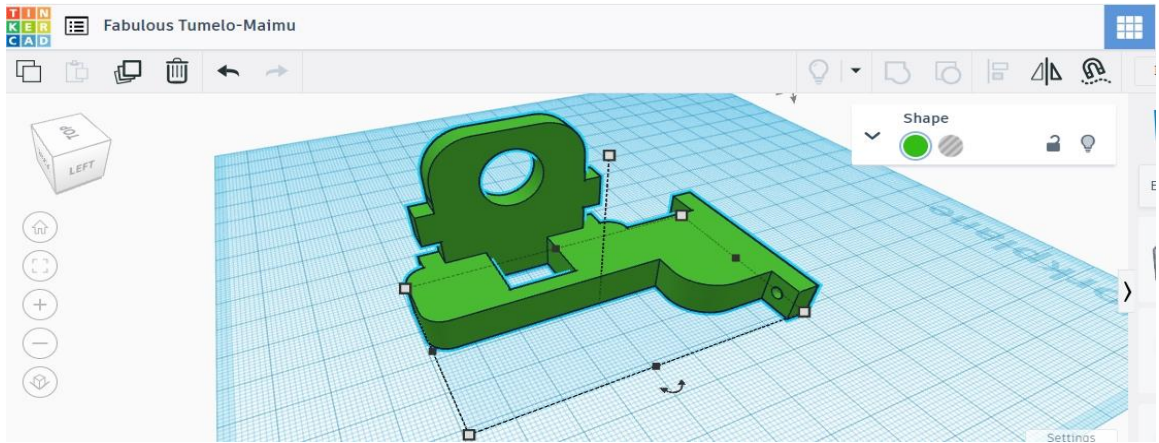


Рис. 2.14. Стійка кріплення направляючих і крокового двигуна осі X.

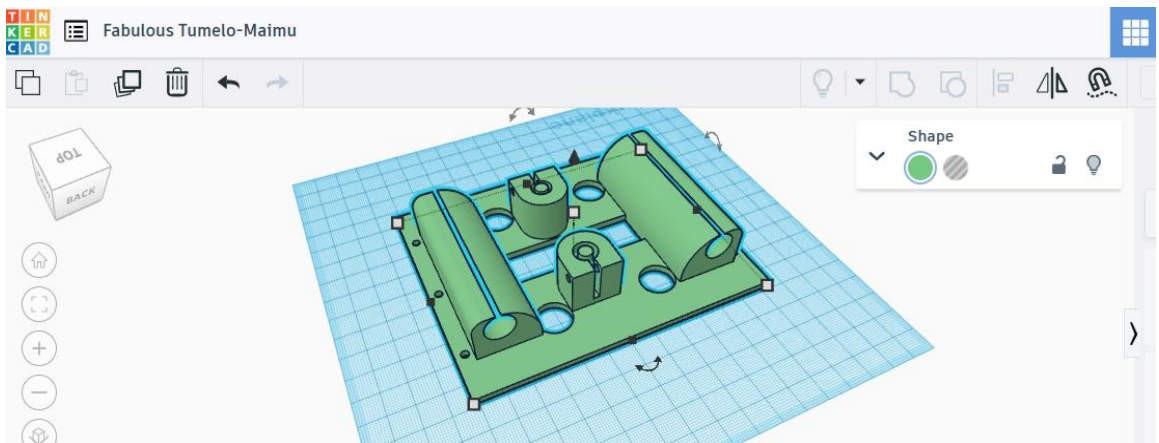


Рис. 2.15. Платформа кріплення столу.

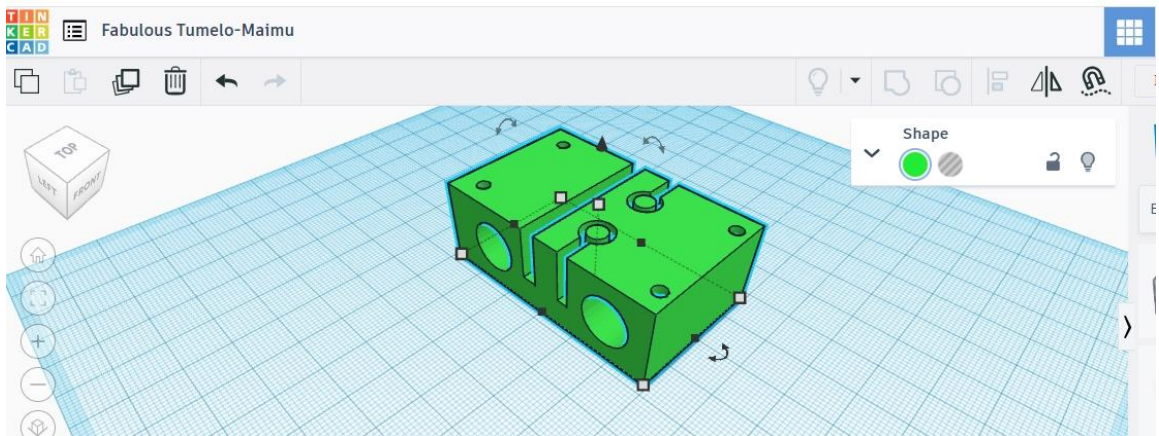


Рис. 2.16. Блок кріплення робочого інструменту.

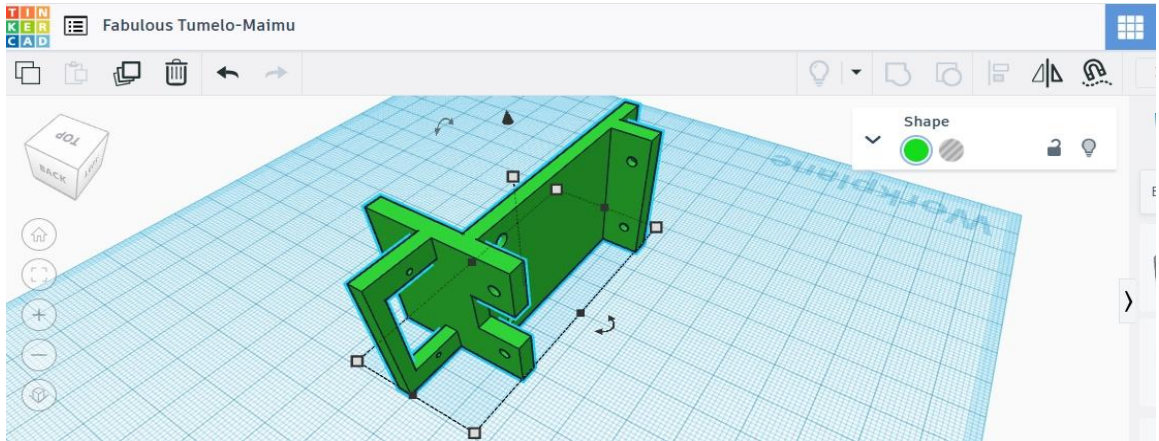


Рис. 2.17. Платформа кріплення серводвигуна і тримача маркера.

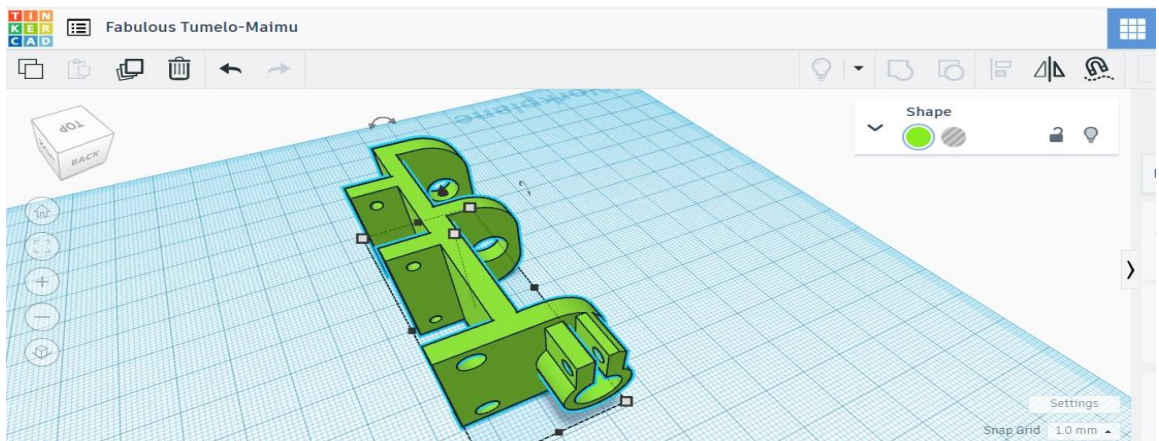


Рис. 2.18. Тримач маркера.

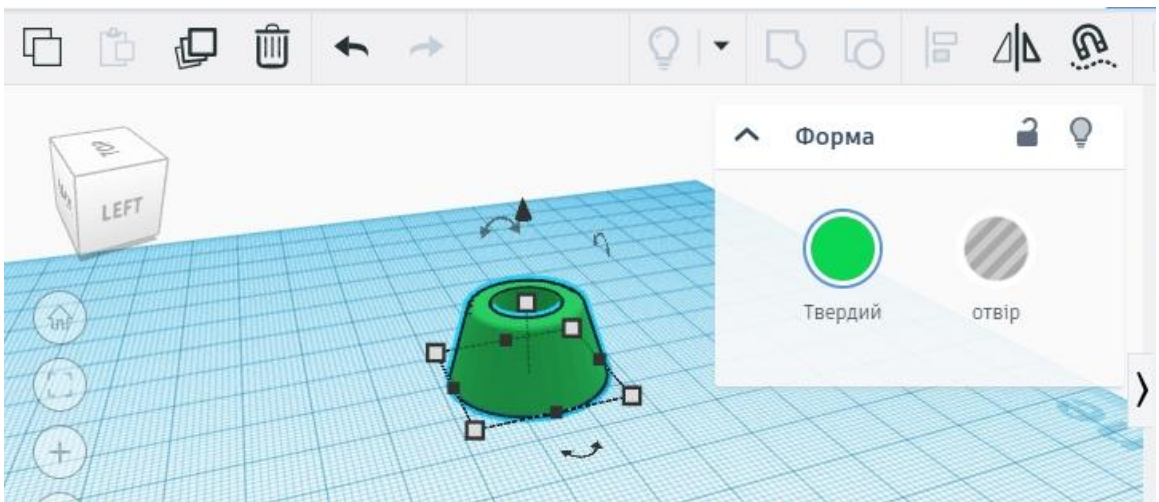


Рис. 2.19. Ніжка для плотера..

Окрім стійкості, рама повинна мати можливість кріплення для лінійних направляючих та інших важливих частин.

Лінійні направляючі та підшипники:

Конструкція даного CNC-плотера передбачає використання каліброваних направляючих діаметром 6 мм для осі X та осі Y, які забезпечують точний рух робочої каретки по відповідним осям X, Y. Якість лінійних напрямних прямо впливає на точність і плавність роботи плотера. Деталі плотера, які рухаються по осях, для плавності руху і точності використовуються лінійні подовжені підшипники типу ML6LUU (Рис. 2.20).



Рис. 2.20. Лінійний подовжений підшипник типу ML6LUU.

Для конструкції даного CNC-плотера було обрано крокові двигуни, які забезпечують оптимальну точність переміщення робочого інструменту, мали відносно невелику вартість і були доступними. В якості такого двигуна було обрано уніполярний кроковий двигун 28BYJ-48 (Рис. 2.21) розрахований на напругу живлення 5 вольт.

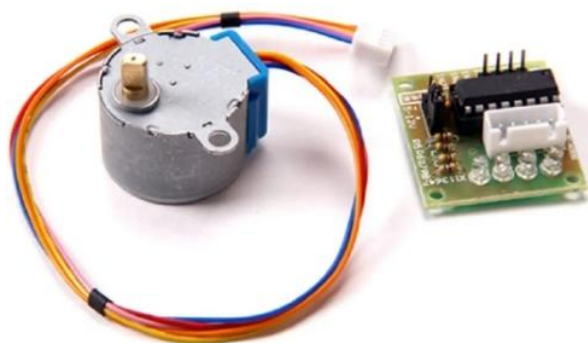


Рис. 21. Кроковий двигун 28BYJ-48 з драйвером ULN2003.

Драйвер крокового двигуна ULN2003 відповідає за подачу сигналів на кроковий двигун, контролює напрям і кількість кроків, забезпечує їх точний

Для управління CNC-плотером було використано програмне забезпечення сумісне з Arduino, наприклад GRBL, яке є зручним для програмування траєкторій і керування двигунами і робочим інструментом.

Збирання CNC-плотера – це захопливий процес, який вимагає певного терпіння та точності, буде цікавим як учителю так і учням. Збирання плотера починається з підготовки основних компонентів, необхідних для його побудови. Основні етапи цього процесу включають: друк на 3D принтері елементів механіки, кріплення їх на основу, потім встановлення крокових двигунів які забезпечують рух по осях (X, Y), встановлення сервоприводу який забезпечує рух по осі (Z) робочого інструменту, встановлення і закріплення зубчастого пасу GT2 (Рис. 2.24).



Рис. 2.24. Зубчастий пасу GT2.

Попередньо на вал крокових двигунів треба встановити зубчатий шків під пас GT2:



Рис. 2.25. Шків під пас GT2.

Після зборки механічної (Рис. 2.26.) частини плотера треба підготувати електронні компоненти і модулі для підключення. Елементи які треба з'єднати

між собою: плата Arduino Nano два драйвери ULN2003, два крокових двигуна 28BYJ-48, один серводвигун mg90S. Схема вказана на Рис.2.23.

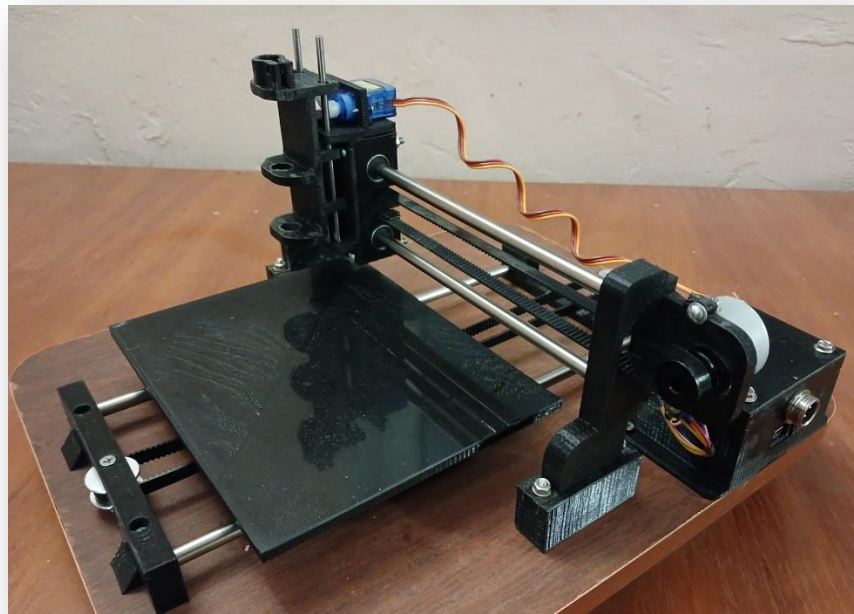


Рис. 2.26. Зовнішній вигляд CNC-плотера.

Після зборки необхідно запрограмувати контролер на платі Arduino Nano. Для цього використовується спеціальне програмне забезпечення: середовище розробки Arduino IDE, яке можна скачати на офіційному сайті www.arduino.cc, і саму прошивку *GRBL-28byj-48-Servo-master.zip* з сайту <https://github.com/robottini/grbl-servo>. Після з'єднання всіх компонентів потрібно правильно під'єднати блок живлення та всі необхідні кабелі для електронних компонентів.

Останнім кроком варто провести тестування та калібрування для забезпечення точності рухів і правильного виконання завдань.

2.3. Опис проєкту "ЧПУ-Плотер" та його впровадження на уроках технологій.

Аналіз програми з технологій для учнів 10–11-х класів, показав, що в її основу покладено проєктну діяльність, яка створює простір для проведення дослідницької роботи не лише під час вивчення теоретичних відомостей, але й у процесі залучення учнів до практичної діяльності [6-8, 11,13].

Аналізуючи програму, стало відомо, що запропоновані варіанти проєктів мають дуже різний рівень складності та різний рівень їх реалізації [36-38, 41, 42].

Крім цього, елементи створення автоматизованих або роботизованих пристроїв є не лише в обов'язково-вибірковому модулі «Основи автоматики і робототехніки», а ще й в модулях «Дизайн предметів інтер'єру» (розробка дизайну корпусу пристрою, підбір матеріалів), «Комп'ютерне проєктування» (*створення 3D-моделей корпусних елементів та інше*).

Учні запропонували виготовити ЧПУ-плотер під час вивчення модуля «Основи автоматики і робототехніки» на уроках технологій, який дозволяє використовувати на практиці знання, отримані в ході навчання. Створення ЧПУ-плотера забезпечує роботу з апаратно-програмними засобами, 3D-моделюванням, електронікою та основами програмування, що відповідає цілям модуля. Такий проєкт також розрахований на принципи роботи автоматизованих пристроїв та їх управління, що є основними компетенціями в сучасній технічній освіті. Без цього, учні вбачають у виготовлених ЧПУ-плотера можливість створити власний інструмент для малювання та прототипування, який можна використовувати для інших проєктів на уроках технологій.

Таким чином, застосування ЧПУ верстатів на уроках технології сприяє розвитку як технічних, так і особистісних якостей учнів, що робить цей інструмент важливим компонентом сучасної освіти.

Як зазначалося раніше, основа модуля робототехніки і автоматизації, як й будь-якого іншого модулю є проєктно-технологічна система навчання. Ми розробили творчий проєкт "ЧПУ-Плотер" за для відтворення його на уроках технологій.

Організаційно-підготовчий етап

Визначення проблеми, що спонукає до виконання проєкту.

У сучасному світі, з розвитком технологій автоматизації, зростає попит на пристрої, які підвищують ефективність виробничих процесів та знижують витрати часу і ресурсів. Одним із таких пристроїв є ЧПУ-плотер, який набуває все більшої популярності в різних сферах діяльності, включаючи освіту, дизайн та виробництво. Проєкт "ЧПУ-Плотер" є відповіддю на цей ринковий попит.

Проблема, яка спонукає до виконання проєкту "ЧПУ-Плотер", виникає в наступному:

1. **Точність і ефективність виробництва.** Традиційні методи різання та гравірування матеріалів вручну є трудомісткими та неточними. Використання ЧПУ-плотера дозволяє значно підвищити точність виготовлення деталей, а також зменшити витрати часу на виконання складних робіт.

2. **Автоматизація та зниження людського фактору.** Багато процесів у виробництві вимагають ручної праці, що призводить до помилок і збільшення витрат. ЧПУ-плотер автоматизує ці процеси, знижуючи ймовірність помилок та підвищуючи продуктивність.

3. **Можливість роботи з іншими матеріалами.** Традиційні методи обробки часто обмежені вибором матеріалів. ЧПУ-плотери, завдяки своїй універсальності, не можуть працювати з іншими матеріалами, такими як дерево, пластик, метал та інші, що розширює можливості для творчих та інженерних рішень.

4. **Навчання та розвиток навичок.** ЧПУ-плотер є ідеальним інструментом для навчальних закладів, що дозволяє студентам володіти сучасними технологіями виготовлення виробів, розвивати інженерні та технічні навички, а також готуватися до роботи в умовах сучасного виробництва.

Отже, проект «ЧПУ-Плотер» має на меті розв'язати ці проблеми шляхом розробки та впровадження інноваційного обладнання, яке підвищить ефективність виробничих процесів, автоматизує обробку матеріалів та сприяє розвитку нових технічних навичок у студентів і професіоналів.

Постановка мети і завдань творчого проєкту.

Мета проєкту: сконструювати та виготовити ЧПУ-плотер, використовуючи набуті вміння та навички під час освоєння модуля основ автоматичної і робототехніки.

Для досягнення поставленої мети визначимо наступні завдання:

1. **Визначення вимог та підготовка історико-технологічної довідки:**
 - Вивчити різноманітні інформаційні джерела (книги, журнали, інтернет) для визначення основних вимог до створення ЧПУ-плотера.
 - Підготувати історико-технологічну довідку про об'єкт проєктування, що охоплює етапи розвитку технології ЧПУ, від перших моделей до сучасних рішень.
2. **Аналіз моделей-аналогів:**
 - Зібрати кілька моделей ЧПУ-плотерів або подібних виробів, які вже на ринку.
 - Провести порівняння цих моделей за встановленими критеріями: точність, функціональні можливості, енергоефективність, вартість та зручність використання.
3. **Розробка конструкторсько-технологічної документації:**
 - Створити детальну конструкторсько-технологічну документацію для виготовлення ЧПУ-плотера.

- Дібрати матеріали для конструкції, інструменти для вирішення проблем та обладнання для виготовлення та збірки.
4. **Визначення технологічної композиції виготовлення:**
- Розробити покрокову технологію після послідовності виготовлення ЧПУ-плотера, враховуючи всі етапи, від підготовки компонентів до монтажу та тестування пристрою.
5. **Економічні розрахунки та екологічна оцінка:**
- Провести економічні розрахунки для визначення витрат на матеріали, виготовлення та експлуатацію ЧПУ-плотера.
 - Оцінити екологічний вплив виробу на навколишнє середовище, зокрема використання екологічно чистих матеріалів та енергоефективність.
6. **Реклама та підсумки роботи над об'єктом:**
- Створити рекламний матеріал для виготовленого виробу, що включає презентацію функціональних і технічних переваг ЧПУ-плотера.
 - Підвести підсумки роботи над проектом, досягши досягнення та труднощі, які виникли під час реалізації.

Об'єкт проектування буде розроблятися з урахуванням наступних вимог:

Функціональні вимоги:

1. Раціональність розмірів – плотер має бути компактним та зручним для використання в навчальних та виробничих умовах.
2. Забезпечення гігієнічних вимог – конструкція та матеріали повинні відповідати стандартам безпеки та гігієни, особливо при роботі з деякими матеріалами.
3. Можливість використання в різних сферах – ЧПУ-плотер повинен бути універсальним для роботи з матеріалів, таких як дерево, пластик, метал.

Конструктивні вимоги:

1. Простота і компактність конструкції – конструкція повинна бути такою, щоб забезпечити зручність виготовлення та використання, без зайвих складних елементів.

2. Надійність конструкції – конструкція має бути стійкою до механічних навантажень і мати довговічність при інтенсивному використанні.

Технологічні вимоги:

1. Простота і зручність виготовлення – проектування та виготовлення повинні бути здійснені з урахуванням наявних ресурсів та можливостей майстерності.
2. Наявність обладнання в майстерні – на всіх етапах виготовлення необхідно використовувати наявне обладнання для обробки матеріалів і зборів.

Економічні вимоги:

1. Мінімальна самовартість виготовлення – вибрані для виготовлення матеріали та процеси є економічно ефективними.
2. Мінімальні експлуатаційні витрати – ЧПУ-плотер повинен бути енергоефективним і потребувати мінімальні витрати на обслуговування та експлуатацію.

Естетичні вимоги:

1. Привабливий зовнішній вигляд виробу – дизайн ЧПУ-плотера має бути сучасним, зручним і естетично приємним для користувача.
2. Виразність форми і оздоблення – конструкція повинна бути ергономічною, з чіткими формами та приємними для ока деталями.

Міні-маркетингові дослідження

Міні-маркетингові дослідження щодо вибору об'єкта проектування ЧПУ-плотера та доцільності його виготовлення

Міні-маркетингові дослідження були спрямовані на оцінку доцільності виготовлення ЧПУ-плотера, зокрема для використання в навчальних та маловиробничих цілях. Метою дослідження було торгівлю, чи є економічно вигідним виготовлення цього пристрою самостійно, чи придбати готовий продукт на кращий ринок. Для цього було проведено аналіз попиту на подібні вироби, їх цінову категорію та переваги самостійного виготовлення.

Основні критерії, які були взяті до уваги під час дослідження:

1. **Вартість виготовлення:** обчислення витрат на матеріали, комплектуючі та обладнання для виготовлення ЧПУ-плотера.
2. **Ціна на готові вироби:** порівняння вартості готових ЧПУ-плотерів, доступних на ринку, з витратами на виготовлення власноруч.
3. **Функціональність та специфікація:** порівняння функціональних можливостей самостійно зібраного плотера і готових моделей.
4. **Потенційні переваги самостійного виготовлення:** включаючи можливість налаштування характеру

Результати дослідження представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Дослідження вартості ЧПУ-плотера

Критерії	Самостійне виготовлення	Підготовка готового пристрою
Вартість матеріалів та комплектуючих	1000-5000 грн	7000-10000 грн
Ціна на готові ЧПУ-плотери	—	5000-15000 грн
Налаштування під спеціальні потреби	Легко набувається	Обмежене
Можливість модифікації та оновлення	Висока	Обмежена
Економічна доцільність	Вигідно п	Вигідно при масовому виробництві
Навчальний аспект	Високий	Низький
Гарантія та сервісне обслуговування	Відсутнє	Є гарантія та сервісне обслуговування

З аналізу результатів дослідження видно, що виготовлення ЧПУ-плотера самостійно є економічно вигідним при малому виробництві, особливо якщо врахувати навчальні переваги та можливість налаштування під конкретні потреби.

Така інформація дозволяє зробити висновок, що виготовлення ЧПУ-плотера самостійно може бути доцільним для навчальних та дослідницьких цілей, а також у разі потреби в унікальних умовах.

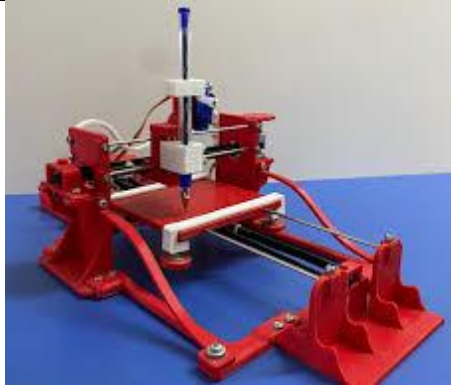
Дослідження показало, що ціни на готові ЧПУ-плотери варіюються в межах від 5000 до 15000 грн в залежності від функціональних можливостей і характеристик пристрою. Враховуючи витрати на матеріали та комплектуючі для самостійного виготовлення, які становлять від 1000 до 5000 грн, ми дійшли переконливого висновку, що виготовлення ЧПУ-плотера самостійно є економічно вигідним варіантом, особливо для малих проектів.

Користуючись мережею інтернет ми підібрали моделі-аналоги для подальшого опрацювання ідей для вибору найбільш досконалої конструкції які подані у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Моделі-аналоги ЧПУ-плотера

№ з/п	Моделі-аналоги	Опис моделі
1.		ЧПУ-плотер, основа якого виготовлена з листової фанери.
2.		Простий невеликий ЧПУ-плотер для малювання друкованих плат, малюнків, написання тексту.
3.		ЧПУ-плотер для написання тексту, малювання векторних зображень.

4.		Настільна лампа зі надрукованим корпусом на 3D принтері.
----	---	--

Опрацювання ідей для виробу найбільш досконалої конструкції виробу. Оцінимо розглянуті моделі-аналоги смарт-лампи за критеріям, зазначеними вище. Результат оцінювання подано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

**Опрацювання ідей для виробу найбільш досконалої
конструкції виробу**

№ з/п	Вимоги до виробу	Ідея варіанта виробу			
		I	II	III	IV
1	Раціональність розмірів	+	+	+	+
2	Мобільність	+	+	+	+
3	Простота і компактність конструкції	-	+	+	+
4	Надійність конструкції	+	+	-	+
5	Наявність обладнання в майстерні	+	+	+	+
6	Мінімальна собівартість виготовлення	-	+	+	-
7	Простота і зручність виготовлення	-	+	+	+
8	Мінімальні експлуатаційні витрати	-	+	+	+
9	Привабливий зовнішній вигляд виробу	+	+	+	+
10	Виразність форми та оздоблення	-	+	+	+
11	Зручність використання	+	+	+	+
12	Легка вага виробу	+	+	+	+
Усього вимог, що задовольняють ідею		7	12	11	11

Вибір оптимального варіанта розв'язання проблеми, його обґрунтування та вдосконалення. Проаналізувавши літературні джерела, інформацію з мережі інтернет, урахувавши наявне обладнання, інструменти, можливості майстерні школи, свої знання, уміння й навички, ми з'ясували, що такі види виробів ціняться за декоративність та функціональність.

На основі аналізу кожної ідеї варіантів конструкції виробу (таблиця 2.2) можна зробити висновок, що поставленим вимогам максимально відповідає варіант №2, тому його ми обираємо базовим, вдосконалимо його на основі варіантів №1, №3, №4.

Удосконалення базової конструкції об'єкта проєктування. Основу ми вирізаємо з ДСП або МДФ, на 3D принтері друкуємо елементи ЧПУ-плотера, використовуємо крокові уніполярні двигуни як у варіанті №4, а функціональність візьмемо з варіанту №1.

Отже, на наш задум ЧПУ-плотер повинен за допомогою маркера будувати зображення на робочій поверхні.

Конструкторський етап

За допомогою сервісу Tinkercad ми розробили 3D-модель механічних елементів ЧПУ-плотера, яку можна роздрукувати на 3D принтері (Рис. 2.27).

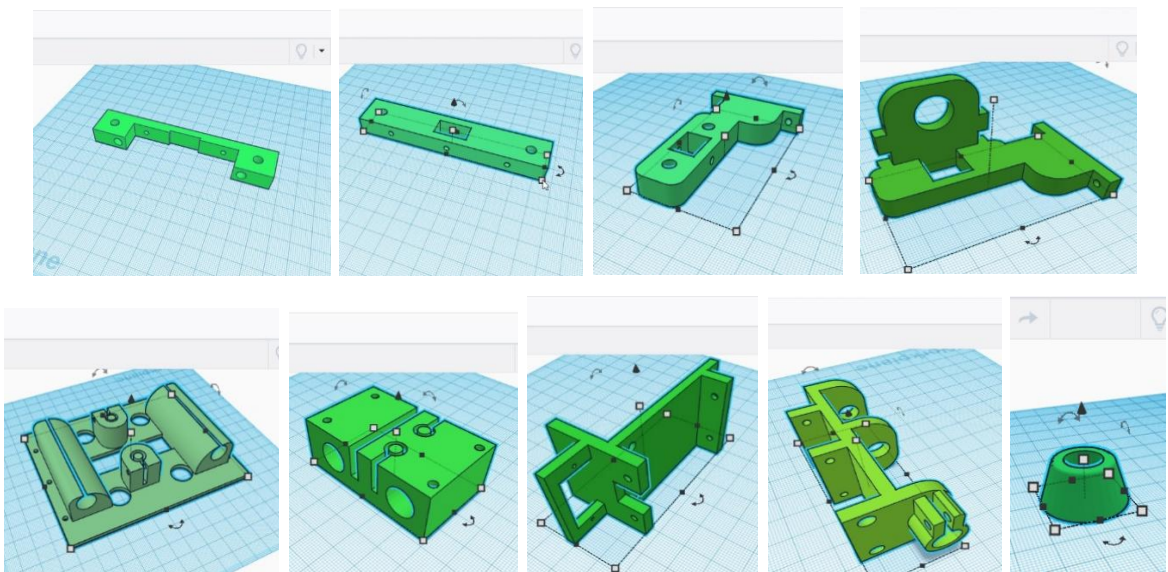


Рис. 2,27. 3D-моделі елементів ЧПУ-плотера.

Основу ЧПУ-плотера вирізаємо з ДСП або МДФ. Роздруковуємо на 3D-принтері всі елементи. Встановлюємо лінійні підшипники, закріплюємо лінійні напрямні, встановлюємо крокові двигуни і сервопривод. Прокладаємо і закріплюємо зубчатий пас GT2. Прикручуємо зібрану конструкцію до основи. На нижній частині прикручуємо ніжки.

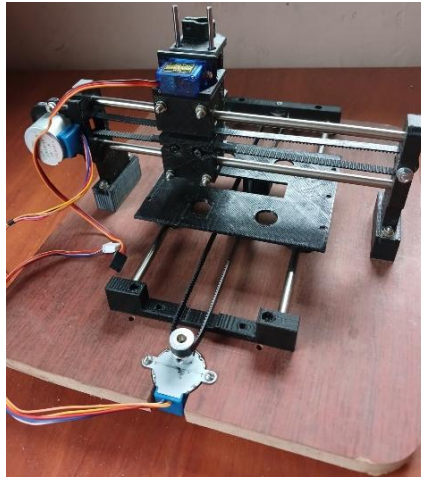


Рис.2.28. Зовнішній вигляд ЧПУ-плотера.

Опис зовнішнього вигляду й конструкції проєктної моделі.

Проектний ЧПУ-плотер має компактну, відносно стійку конструкцію, що забезпечує зручність у використанні. На основі корпусу закріплені напрямні, по яких переміщується рухомий портал.

На порталі розташовані:

- **Рухома платформа з робочим інструментом**, яка може бути оснащена маркером або лазером.
- **Крокові двигуни**, які керують переміщенням платформи по осях X, Y, забезпечуючи точність позиціонування.
- **Сервопривод** – забезпечує підйом і опускання маркера під час побудови зображення.
- **Лінійні напрямні** – для плавного руху робочої головки по площині.

В цілому модель ЧПУ-плотера виглядає сучасно та ергономічно, а її функціональна конструкція дозволяє легко використовувати пристрій як в умовах майстерні, так і вдома.

Добір конструкційних матеріалів. 3D-моделі плотера можна роздрукувати з будь-якого пластику, ми обрали пластик PLA чорного кольору.

Перелік необхідних, матеріалів розглянемо у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Матеріали для виготовлення виробу

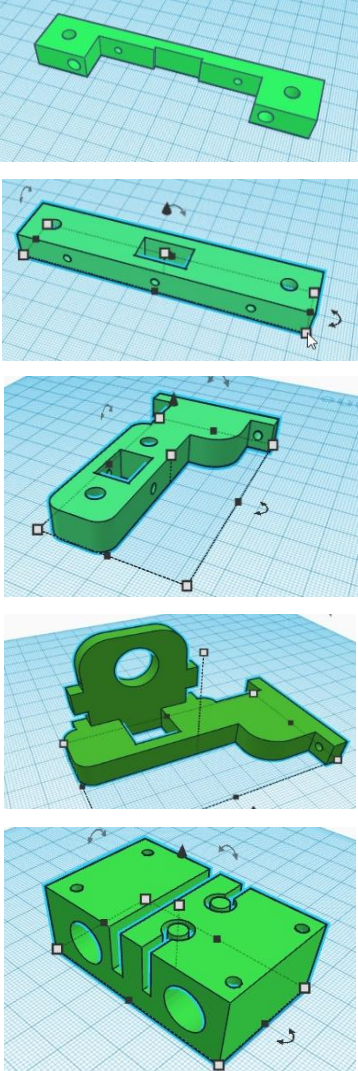
	Назва	Призначення	Кількість
Матеріали	Плата Arduino Nano	Керує ЧПУ-плотером	1 шт.
	Кроковий уніполярний двигун 28BYJ-48 з драйвером ULN2003	Переміщує робочий інструмент по осях X, Y.	2 шт.
	Сервопривод MG90S	Переміщує робочий інструмент по осі Z.	1 шт.
	Шків під пас GT2	Для переміщення зубчастого пасу	2 шт.
	Підшипник	Для кріплення зубчастого пасу	2 шт.
	Зубчастий пас GT2	Для переміщення робочого інструменту і столу відносно вісі X, Y.	1 м.
	Лист ДВП або МДФ	Використовується як основа ЧПУ-плотера	250x300 мм
	Провідник	Для з'єднання елементів схеми	1 м
	Припій для паяння	Для з'єднання елементів схеми	1 грам
	Пластик PLA	Для друку корпусу виробу	95 грамів
	Гвинт М3 15мм	Для кріплення	14 шт
	Гайка М3	Для кріплення	14 шт
	Лінійна напрямна діаметр 6 мм	Організація переміщення по осях X, Y.	4 шт
	Лінійна напрямна діаметр 3 мм	Організація переміщення по осі Z.	2 шт

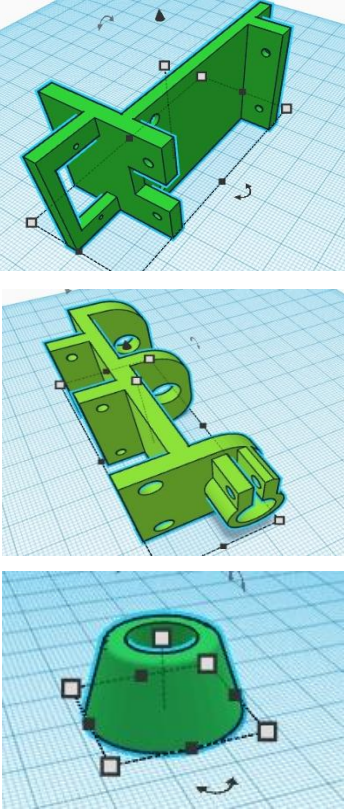
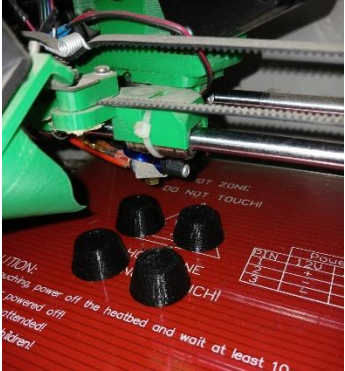

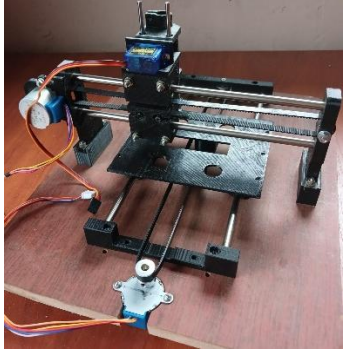
Технологічний етап

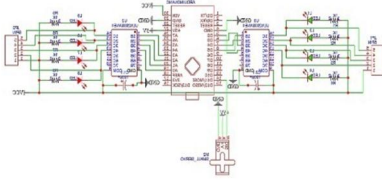

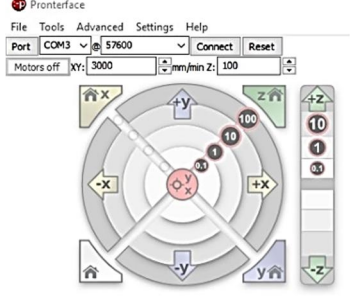
Технологічну послідовність виготовлення ЧПУ-плотера подано в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Технологічна карта на виготовлення ЧПУ-плотера

№ з/п	Зміст і послідовність операцій та переходів	Графічне зображення операцій і переходів	Обладнання та пристрої	Інструменти
1	Створення моделей елементів ЧПУ-плотера		Онлайн програма для 3D-моделювання Tinkercad	

				
2.	Друк на 3D-принтері елементів ЧПУ-плотера		принтер	3D принтер
3.	Підготовка основи ЧПУ-плотера			Ел.лобзик, дрить, наждачний папір, лінійка
4.	Збирання механічної частини ЧПУ-плотера. Встановлення двигунів та сервоприводу			Викрутка, плоскогубці, ножиці, шило, дрить.

5.	Збирання електроніки за схемою			Паяльник
6.	Прошивка пристрою		Комп'ютер, USB кабель	Програмне забезпечення Arduino IDE
7.	Калібрування ЧПУ-плотера, перевірка його роботи/.		Комп'ютер, USB кабель	Програмне забезпечення LaserGRBL або Pronterface
8.	Контроль якості/			

Екологічне обґрунтування виробу. *Екологічний аналіз* є важливою частиною розроблення проєкту, коли визначають вплив проєкту на навколишнє середовище, оцінюють усі позитивні сторони та здійснюють запобігання засобів, необхідних для запобігання шкоди навколишньому середовищу під час реалізації та експлуатації виробу.

Елементи екологічного аналізу проєкту наявні на кожній стадії його життєвого циклу.

Об'єкт ЧПУ-плотер призначений для використання в домашніх умовах, навчальних закладах чи малому виробництві. Його основна мета – забезпечити зручність, точність і ефективність виконання різних робіт з малювання, різання та гравіювання. Саморобний ЧПУ-плотер сприяє зниженню витрат на виготовлення прототипів і деталей, оскільки дозволяє виконати операції без значного споживання електроенергії та людських ресурсів, що погіршує зменшення екологічного впливу.

ЧПУ-плотери мають тривалий термін служби, що знижує зменшення кількості витрат та потреб при заміні устаткування, таким чином зберігаючи

природні ресурси. Якщо значну частину деталей можна використати повторно, пристрій можна адаптувати чи модифікувати для інших завдань. Це дозволяє створити більш стійке виробництво, зменшуючи загальне споживання ресурсів і впливаючи на навколишнє середовище.

Опис режимів.

ЧПУ-плотер має кілька режимів роботи, що дозволяє досягти його функціональності під час виконання різних завдань (Рис. 2.29). Основні режими включають:

1. **Режим малювання** – забезпечує точне нанесення зображення за заданими параметрами, з використанням маркера або олівця.
2. **Режим різання** – дозволяє дозволити різання матеріалів, таких як папір, тонкий пластик або картон, за допомогою лазерного модуля (можна встановити замість маркера).
3. **Режим гравіювання** – призначений для нанесення малюнків або тексту на поверхню (наприклад, дерево або акрил) з використанням лазерного модуля.
4. **Тестовий режим** – режим перевірки руху та калібрування, що дозволяє змінити точність налаштування осі, перевірити калібрування та запобігти помилкам перед початковою роботою.

Режими вибираються в залежності від програмного забезпечення

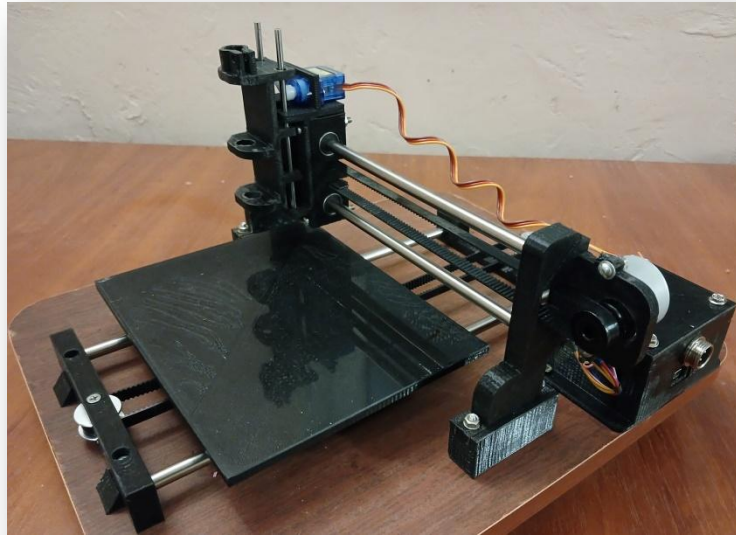


Рис. 2.29. Фото готового виробу.

Заключний етап проектування

Оцінювання вартості виробу. Визначення собівартості об'єкта проектно-технологічної діяльності виконуємо за формулою:

$$C = C_m + C_p + C_e + C_a,$$

де C_m – вартість матеріалів, C_p – вартість роботи, C_e – вартість електроенергії, C_a – амортизаційні витрати.

Розрахунок вартості матеріалів, C_m

Вартість матеріалів – C_m .

Розрахунок вартості матеріалів наведено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Розрахунок вартості матеріалів

№ з/п	Назва матеріалу	Ціна за одиницю (грн)	Витрати матеріалів	Вартість витрат (грн)
1.	Плата Arduino Nano	210	1 шт.	210
2.	Кроковий двигун 28BYJ-48 з драйвером ULN2003	80	2 шт.	160

3.	Сервопривод MG90S	85	1 шт.	85
4.	Шків під пас GT2	45	2 шт.	90
5.	Підшипник	22	2 шт.	44
6.	Зубчастий пас GT2	55	1 м.	55
7.	Лист ДВП або МДФ		250x300 мм	30
8.	Провідник	20	1 м	20
9.	Припій для паяння	300/100 г	10 грам	30
10.	Пластик PLA	390/0,5 кг	50 грамів	39
11.	Гвинт М3 15мм	0,2	14 шт	2,8
12.	Гайка М3	0,1	14 шт	1,4
13.	Лінійна напрямна діаметр 6 мм	20	4 шт	80
14.	Лінійна напрямна діаметр 3 мм	10	2 шт	20
Разом				867,2

Вартість роботи – C_p . Розрахунок вартості роботи за мінімальною платою однієї робочої години проводимо в такій послідовності:

Мінімальна заробітна плата – 8000 грн. Робочих днів на місяць – 22.

Тривалість робочого дня – 8 год.

Вартість однієї робочої години – $8000 : (22 \times 8) = 45$ грн 45 коп.

Тривалість виконання ЧПУ-плотера – 3 год. на день протягом 1 робочого дня – $3 \times 1 = 3$ год.

Коефіцієнт для учня/студента – 0.4

Вартість однієї робочої години для учня/студента: $45,45 \times 0,4 = 18$ грн 18 коп.

Вартість виконаної роботи – $C_p = 18,18 \times 3 = 54$ грн 54 коп.

Вартість спожитої електроенергії – C_e . Робота виконувались з використанням штучного освітлення та обладнання що споживає електроенергію, тож розрахуємо вартість витраченої електроенергії (табл. 2.7).

Таблиця 2.7

Розрахунок вартості електроенергії

№ з/п	Споживач електроенергії	Потужність споживача, кВт/год.	Тривалість роботи, год.	Вартість тарифу на електроенергію (грн)	Вартість споживчої електроенергії (грн)
1.	3D принтер	0,035	5	4,32	0,76
2.	Паяльник	0,065	1		0,28
3.	Комп'ютер (Ноутбук)	0,065	3		0,84
4.	Освітлення	0,012	3		0,15
Разом					2,03

Розраховуємо амортизаційні витрати – Ca (табл. 2.8).

Таблиця 8

Розрахунок амортизаційних витрат

№ з/п	Назва обладнання, інструмента, пристосування	Ціна (грн)	Термін використання (років)	Річна сума амортизації (грн)
1.	3D принтер	5000	5	1000
3.	Паяльник	230	2	115
5.	Комп'ютер (Ноутбук)	13500	5	2700
6.	Викрутка	21	7	7
Разом				3822,0

За здійсненими підрахунками амортизація інструментів і обладнання роботи складає 3822 грн 00 коп. на рік.

Ураховуючи, що протягом року робочих днів $22 \times 12 = 264$, робочий день складається з 8 робочих годин, то за рік робочих годин буде $264 \times 8 = 2112$.

$$Ca = 3822 : 2112 = 1,81 \text{ грн.}$$

Розрахунок собівартості виробу – C подано в таблиці 2.9.

Розрахунок собівартості виробу

№ з/п	Витрати	Вартість витрат
1.	Вартість матеріалів	867,2
2.	Вартість роботи	54,54
3.	Вартість електроенергії	2,03
4.	Амортизаційні витрати	1,81
Разом		925,58

Ціна виробу складається із його собівартості (C) і прибутку ($П$). Величину прибутку умовно визначаємо як 20% від собівартості виробу:

$$П = 0,2 \times C, \text{ грн. } П = 0,2 \times 925,58 = 185,12 \text{ грн.}$$

Можлива ціна виробу (B):

$$B = C + П, B = 925,58 + 185,12 = 1110,7 \text{ грн.}$$

Можлива ціна виробу для продажу становить: 1111 грн.

Реклама виробу. Розроблена нами реклама подана на Рис. 2.29.

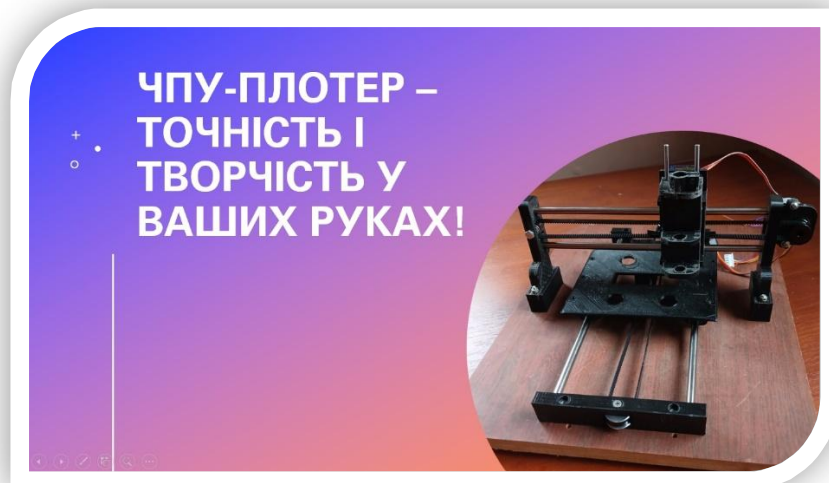


Рис. 2.29. Реклама виробу

Цей проєкт є відкритим, всі вихідні дані, шаблони, 3D-моделі та схеми для виготовлення виробу, або запропонувати ідеї що до покращення проєкту,

ви можете написавши листа на електронну пошту:
vadim.lysyi.education@gmail.com.

2.4. Дидактичні умови застосування саморобних верстатів із числовим програмним управлінням на уроках технології

Використання верстатів із числовим програмним управлінням (ЧПУ) на уроках технології відкриває широкі можливості для формування технічних навичок та професійної підготовки учнів. Вони можуть застосовуватися як для групових, так і для індивідуальних занять, що робить навчальний процес гнучким та адаптованим до різних рівнів підготовки учнів.

Основні переваги застосування ЧПУ верстатів на уроках технології:

- **Знайомство з сучасними технологіями:** Учні отримують можливість познайомитися з принципами роботи найсучасніших токарних, фрезерних та інших верстатів з ЧПУ, що дає їм уявлення про те, як функціонують промислові процеси в реальних виробничих умовах.
- **Практична демонстрація можливостей:** Використання ЧПУ верстатів дозволяє продемонструвати учням реальні можливості цього обладнання, включаючи точність, автоматизацію та швидкість виробничих процесів.
- **Вивчення програмування ЧПУ:** Учні мають змогу освоїти основи програмування систем числового програмного керування (ЧПУ), що дозволяє їм зрозуміти, як розробляються програми для управління процесами на верстатах.
- **Керування верстатами через комп'ютер:** Діти вчаться управляти робочими процесами верстатів за допомогою комп'ютерів, що сприяє їхньому ознайомленню з сучасними підходами до автоматизації виробництва.

Вплив ЧПУ верстатів на загальну і професійно-технічну підготовку:

Застосування верстатів з ЧПУ на уроках технології інтегрує елементи професійно-технічної освіти у загальноосвітній процес. Учні отримують

унікальну можливість дізнатися про професії, пов'язані з інноваційними технологіями, що робить навчання більш цілеспрямованим та актуальним. У ході практичної роботи учні вивчають:

- **Комп'ютерні програми для роботи з ЧПУ:** Учні отримують базові знання щодо програм, які використовуються для проектування і керування верстатами з ЧПУ, включаючи системи CAD/CAE/CAM.
- **Розробка креслень та виготовлення виробів:** Вони дізнаються, як розробляти креслення і ескізи, та виготовляти на їх основі деталі і вироби за допомогою верстатів ЧПУ. Це дозволяє учням отримати практичні навички, які вони можуть застосувати у майбутній професійній діяльності.

Розвиток ключових умінь і навичок: Уроки технології, на яких використовуються ЧПУ верстати, допомагають учням освоїти важливі технічні вміння, такі як проектування та виготовлення виробів за допомогою сучасних технологій. Вони вчаться вводити необхідні параметри для налаштування верстатів і розуміють, як оптимізувати процес виробництва. Таким чином, ЧПУ верстати розвивають у школярів комплексні практичні навички, важливі для успішної професійної підготовки.

Вплив на особистісний розвиток учнів: Навчання з використанням ЧПУ верстатів сприяє не лише технічному розвитку, але й формуванню особистісних якостей учнів. Такі уроки:

- **Підвищують інтерес до інноваційних технологій:** Вони пробуджують у школярів зацікавленість до новітніх технологій, що стимулює їхній подальший розвиток у технічних напрямках.
- **Розвивають просторове мислення та розширюють кругозір:** Робота з кресленнями, ескізами та тривимірними моделями допомагає учням краще розуміти взаємозв'язки між теорією і практикою.
- **Формують важливі якості особистості:** Уроки сприяють розвитку таких якостей, як старанність, акуратність і цілеспрямованість, що є

важливими не лише у професійній діяльності, але й у повсякденному житті.

- **Сприяють усвідомленому вибору професії:** Практичні навички роботи з сучасним обладнанням допомагають учням визначитися з вибором майбутньої професії та підготуватися до вступу до закладів вищої освіти за технічними спеціальностями.

ВИСНОВКИ.

Магістерська робота на тему «Методичні аспекти використання саморобних верстатів з ЧПУ (CNC) на уроках технологій у старших класах» є комплексним дослідженням, яке охоплює теоретичні й практичні аспекти розробки та впровадження ЧПУ-технологій в освітній процес. У ході виконання роботи досягнуто поставленої мети та вирішено основні завдання, які дозволили зробити такі висновки:

1. Досліджено особливості сучасних систем із числовим програмним управлінням (ЧПУ), зокрема на базі платформи Arduino. Встановлено, що Arduino є універсальним і доступним інструментом для розробки саморобних ЧПУ-систем. Ця платформа забезпечує легкість програмування, широкий спектр доступних модулів і датчиків, а також активну підтримку спільноти, що робить її оптимальним вибором для освітніх і навчальних цілей.

2. Проведено аналіз апаратного та програмного забезпечення, необхідного для створення саморобного верстата з ЧПУ. До відповідних компонентів увійшли: плата Arduino, драйвери крокових двигунів, самі двигуни, механічні елементи конструкції, блок живлення та програмне забезпечення (*GRBL для керування верстатом, а також інструменти для проектування, такі як Inkscape, LaserGRBL та інші*). Обґрунтовано вибір цих компонентів, виходячи з їхньої функціональності, доступності та відповідності до поставлених завдань.

3. На основі проведених досліджень і практичних розробок створено покрокову інструкцію з виготовлення версії з ЧПУ на платформі Arduino. Інструкція включає: опис більшості компонентів, схеми збирання механічних та електронних вузлів, етапи програмування плати Arduino для роботи з GRBL, а також алгоритми початкового налаштування та тестування. Вона адаптована для використання в умовах шкільного навчання та доступна для реалізації учнями старших класів під керівництвом викладача.

4. У межах роботи розроблено творчий проект «ЧПУ-Плотер», призначений для практичного впровадження в навчальний процес. Проект включає опис верстату та методичні рекомендації для його використання в межах навчального модуля «Основи автоматичної і робототехніки».

Отже результати виконаних завдань підтверджують доцільність використання саморобних верстатів із ЧПУ на базі Arduino в освітньому процесі, сприяючи розвитку STEM-компетентностей і стимулюючи інтерес учнів до технічних дисциплін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Datasheet Arduino Nano V3 [Електронний ресурс]. URL: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000005-datasheet.pdf>
2. Datasheet Arduino Uno R3 [Електронний ресурс]. URL: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>
3. Jeremy Bloom. Exploring Arduino. Tools and methods of technical wizardry. Second edition. Publisher: John Wiley & Sons Inc, 2019. 544 с.
4. John Foxworth. How to program a microcontroller [Електронний ресурс]. URL: http://www.egr.msu.edu/classes/ece480/capstone/spring15/group13/assets/app_note_john_foxworth.docx.pdf
5. Биков, В. Ю. Інформаційні технології і засоби навчання. Київ: Атіка, 2008. 684 с.
6. Бондар, В. І. Дидактика: навч. посіб. Київ: Либідь, 2005. 264 с.
7. Вакуленко, І. В. Управління самостійною роботою студентів з використанням інформаційно-комунікаційних технологій. Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 2: Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання. Київ, 2016. Вип. 18 (25). С. 50–64.
8. Горбатюк, Р. М. Формування проектної діяльності майбутніх інженерів-педагогів комп'ютерного профілю. Педагогічні науки: зб. наук. праць Херсонського держ. ун-ту. Херсон, 2009. Вип. 52. С. 433–439.
9. Гуржій, А. М., Нельга, А. Т., Співак, В. М., Ітякін, О. С. Основи автоматизації та робототехніки: навчальний посібник. Дніпро: Гарант СВ, 2021. 243 с.
10. Загальні відомості про системи управління і верстати з ЧПУ [Електронний ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/2688655/page:2/> (дата звернення: 20.11.2023).
11. Кабак, В. В. Модель підготовки майбутніх інженерів-педагогів технічного університету до професійної діяльності засобами комп'ютерних

технологій. Нова педагогічна думка: Науково-методичний журнал. 2013. № 3 (75). С. 63–66.

12. Ковальов, В. А., Гаврушкевич, А. Ю., Гаврушкевич, Н. В. Посібник для практичного програмування верстатів з ЧПК. Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. 115 с.

13. Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text>

14. Кривонос, О. М. Робототехніка в школі. Теорія і практика використання інформаційних технологій в навчальному процесі. Київ: Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова, 2017. С. 90–91.

15. Кривонос, О. М., Кузьменко, Є. В., Кузьменко, С. В. Огляд платформи Arduino Nano 3.0 та перспективи використання під час навчального процесу. Інформаційні технології і засоби навчання. Том 56, № 6. Київ, 2016. С. 77–87.

16. Кузнєцов, Ю. М. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення: навч. посібник. Київ–Кременчук–Севастополь: Вид-во «Точка», 2014. 500 с.

17. Кузнєцов, Ю. М., Придальний, Б. І. Приводи затискних механізмів металообробних верстатів. Луцьк: Вежа-Друк, 2016. 352 с.

18. Курок, В. П. Теоретичні та методичні засади розвитку інноваційної культури майбутнього керівника закладу загальної середньої освіти у процесі магістерської підготовки. Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології. Суми, 2020. № 2 (96). С. 111–121.

19. Курок, В. П., Бурчак, С. О. Дефініювання феномену творчості в педагогічній теорії й практиці. Науковий вісник Льотної академії. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. праць. Кропивницький: ЛА НАУ, 2023. Вип. 13. С. 65–73.

20. Курок, В. П., Хоруженко, Т. А. Організаційно-методичні засади підготовки учителів ручної праці у Глухівському учительському інституті

наприкінці ХІХ – на початку ХХ століття. Вісник Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка. Глухів: ГНПУ ім. О. Довженка, 2019. Вип. 1 (39). С. 189–196.

21. Лещук, С. О. Навчально-інформаційне середовище як засіб організації пізнавальної діяльності учнів. Науковий часопис Національного педагогічного університету ім. М. П. Драгоманова. Серія 2: Комп'ютерно-орієнтовні системи навчання. Київ: НПУ, 2004. С. 305–313.

22. Мазурок, Т. Л., Корабльов, В. А., Черних, В. В. Освітня робототехніка. Аспекти підготовки майбутніх учителів інформатики. Open educational e-environment of modern University. Special edition, 2019. С. 175–182.

23. Міранцов, С. Л. Системи автоматизованого програмування верстатів з ЧПК: навчальний посібник. Краматорськ: ДДМА, 2011. 152 с.

24. Морзе, Н. В., Варченко-Троценко, Л. О., Гладун, М. А. Основи робототехніки: навчальний посібник. Кам'янець-Подільський: ПП Буйницький О. А., 2016. 184 с. [Електронний ресурс]. URL: https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/f49ee634-1909-4c5d-ab78-0ff34a693f94/book_Robotics.pdf

25. Морзе, Н. В., Струтинська, О. В., Умрик, М. А. Освітня робототехніка як перспективний напрям розвитку STEM-освіти. Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету. 2018. № 5. С. 178–187. URL: <http://openedu.kubg.edu.ua/journal/index.php/openedu/article/view/175/233#XCVa1fmLTcs> (дата звернення: 10.09.2023).

26. Мусійовська, О. Ф. Моделі комбінованого навчання. Інформаційно-телекомунікаційні технології в сучасній освіті: досвід, проблеми, перспективи. Львів: ЛДУ БЖД, 2009. Ч. 2. С. 313–318.

27. Навчальна програма «Технології» 10–11 класи (рівень стандарту) [Електронний ресурс]. URL: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv>

28. Ортинський, В. Л. Педагогіка вищої школи: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Київ: Центр учбової літератури, 2009. 472 с.

29. Остапчук, С. А. До проблеми використання платформи Arduino у вивченні робототехніки. Наукові записки ЦДПУ. Серія: Педагогічні науки. Кропивницький: РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка, 2018. Вип. 168. С. 178–181.
30. Офіційний сайт Arduino [Електронний ресурс]. URL: <https://www.arduino.cc>
31. Переваги та недоліки верстатів з ЧПУ [Електронний ресурс]. URL: <http://um.co.ua/11/11-8/11-88721.html> (дата звернення: 20.11.2023).
32. Петрицин, І. О. Застосування комп'ютерного моделювання у процесі електротехнічної підготовки майбутнього вчителя технологій. Молодь і ринок. 2017. № 1. С. 60–64.
33. Плата Arduino Uno R3: схема, опис, підключення пристроїв [Електронний ресурс]. URL: https://arduinomaster.ru/platyarduino/plata-arduino-uno/#_Arduino_Uno_R3 (дата звернення: 20.11.2023).
34. Програмування Arduino [Електронний ресурс]. URL: <https://arduino.ua/Reference> (дата звернення: 20.11.2023).
35. Райковська, Г. О., Соловійов, А. В. Особливості використання САЕ-систем у навчальному процесі майбутніх бакалаврів з механічної інженерії. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота». 2017. Вип. 2 (41). С. 216–218.
36. Технології (рівень стандарту): підруч. для 10 (11) кл. закл. загал. серед. освіти / І. Ю. Ходзицька, Н. І. Боринець, В. М. Гащак та інші. Харків: Вид-во «Ранок», 2019. 208 с.
37. Технології (рівень стандарту): підруч. для 10 (11) кл. закл. загал. серед. освіти / Біленко, О. В., Пелагейченко, М. Л. Тернопіль: Астон, 2018. 272 с.
38. Технології (рівень стандарту): підручник для 10 (11) класів закладів загальної середньої освіти / В. І. Туташинський, І. В. Кірютченкова (за заг. ред. В. І. Туташинського). Київ: Педагогічна думка, 2018. 216 с.
39. Технології сучасного виробництва [Електронне видання]: навчальна програма / Туташинський, В. І. Київ: Педагогічна думка, 2020. 28 с.

40. Хомин, І. Й. «Я твій перший робот, малюче». Книга для дітей віку від 7 років. Львів, 2021. 37 с.
41. Хоруженко, Т. А. Теоретико-методичні основи організації занять з методики навчання технологій в умовах дистанційного навчання. Вісник Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка. Глухів, 2022. Вип. 3 (50), Ч. 1. С. 259–266.
42. Хоруженко, Т. А., Бурик, М. С. Складники самоосвітньої компетентності майбутніх учителів трудового навчання та технологій. Viae Educationios: Studies of Education and Didactics. Quarterly, 2022. Vol. 1, № 2. С. 136–145.
43. Школа робототехніки [Електронний ресурс]. URL: <https://robocode.ua>

ДОДАТКИ

Додаток А

ОСНОВНОЇ КОМАНДИ G-CODE.

1. Команди руху

- **G00 (Швидкий рух):**

Використовується для переміщення інструменту між точками без виконання обробки. Інструмент переміщається на максимальній швидкості верстата.

Приклад:

```
G00 X50 Y30 Z10
```

Перемістить інструмент у точку (X=50, Y=30, Z=10).

- **G01 (Лінійне інтерполювання):**

Виконує лінійне переміщення з різанням на заданій швидкості подачі (F).

Приклад:

```
G01 X100 Y50 F200
```

Інструмент рухається до точки (X=100, Y=50) зі швидкістю подачі 200 мм/хв.

- **G02 (Кругове інтерполювання за годинниковою стрілкою):**

Виконує дуговий рух за годинниковою стрілкою з центром, заданим через I (по X) і J (по Y).

Приклад:

```
G02 X50 Y50 I20 J0
```

Інструмент рухається дугою від поточної позиції до (X=50, Y=50), центр дуги знаходиться на 20 мм праворуч від початкової точки.

- **G03 (Кругове інтерполювання проти годинникової стрілки):**

Виконує дуговий рух проти годинникової стрілки.

Приклад:

```
G03 X50 Y50 I-20 J0
```

Дуга виконується у зворотному напрямку порівняно з G02.

2. Позицювання

- **G17, G18, G19 (Вибір площини):**

Ці команди задають площину для виконання кругових інтерполяцій.

- **G17:** Площина X-Y (за замовчуванням).
- **G18:** Площина X-Z.
- **G19:** Площина Y-Z.

Приклад:

G18

Інструмент працюватиме в площині X-Z.

- **G28 (Повернення до референтної точки):**

Інструмент переміщується в референтну точку машини.

Приклад:

G28 X0 Y0 Z0

Інструмент повертається в нульову точку координат.

- **G90 (Абсолютні координати):**

Всі рухи задаються відносно нульової точки системи координат.

Приклад:

G90 G01 X100 Y50

Рух до точки (X=100, Y=50).

- **G91 (Відносні координати):**

Рухи задаються відносно поточного положення інструменту.

Приклад:

G91 G01 X10 Y20

Інструмент зміщується на 10 мм по X і 20 мм по Y від поточної позиції.

3. Налаштування інструменту

- **G20, G21 (Одиниці виміру):**

- **G20:** Дюйми.

- **G21:** Міліметри.

Приклад:

G21

Всі рухи задаються в міліметрах.

- **G40, G41, G42 (Компенсація радіуса фрези):**

- **G40:** Відключення компенсації.
- **G41:** Компенсація зліва від траєкторії.
- **G42:** Компенсація справа від траєкторії.

Приклад:

G41 D01

Виконується компенсація радіуса фрези зліва, інструмент D01 використовується для обробки.

- **G43, G44 (Компенсація довжини інструменту):**

- **G43:** Додає значення корекції довжини інструменту.
- **G44:** Віднімає значення.

Приклад:

G43 H01 Z50

Компенсація довжини інструменту H01 для осі Z.

4. Цикли

- **G73 (Позиційне свердління):**

Виконує свердління з короткими відкриттями для очищення отвору.

- **G81 (Простий свердлильний цикл):**

Свердління до певної глибини.

Приклад:

G81 X10 Y10 Z-15 R2 F100

Свердління отвору на X=10, Y=10 до глибини Z=-15, з поверненням до R=2 мм.

- **G83 (Глибоке свердління):**

Дозволяє свердлити глибокі отвори з періодичними підйомами для видалення стружки.

5. Контури

- **G54–G59 (Зміщення нульової точки):**

Встановлює різні системи координат.

Приклад:

G54

Задається перша система координат.

- **G92 (Установка нульової точки):**

Установка нової нульової точки в поточному положенні інструменту.

Приклад:

G92 X0 Y0 Z0

Точка, де зараз знаходиться інструмент, стає новою нульовою точкою.

6. Команди шпинделя

- **M03:** Увімкнення шпинделя за годинниковою стрілкою.
- **M04:** Увімкнення шпинделя проти годинникової стрілки.
- **M05:** Вимкнення шпинделя.

7. Завершення програми

- **M02:** Завершення програми без скидання стану.
- **M30:** Завершення програми з скиданням (готує верстат до наступної програми).

Додаток Б

Налаштування GRBL є важливим етапом для роботи CNC-системи.

GRBL – це прошивка для мікроконтролерів, яка дозволяє управляти ЧПУ-обладнанням через G-code. Щоб налаштувати GRBL, дотримуйтеся наступних кроків:

1. Підготовка до налаштування

1. Перевірте сумісність обладнання:

- GRBL зазвичай працює на мікроконтролерах Arduino Uno або Nano.
- У вас повинна бути встановлена прошивка GRBL на контролері.

2. Програмне забезпечення:

- Для роботи потрібен GRBL Controller, наприклад, **Candle**, **Universal G-code Sender** (UGS), або інші програми.

3. Підключіть контролер:

- Під'єднайте Arduino до ПК через USB-кабель.
- Встановіть драйвери для вашого мікроконтролера (наприклад, CH340, якщо використовуєте Nano).

2. Параметри налаштування GRBL

GRBL має набір параметрів, які зберігаються у пам'яті контролера. Їх можна переглянути або змінити через серійний термінал або програму.

Перегляд поточних налаштувань

1. Відкрийте GRBL Controller.
2. Увімкніть серійний термінал (Serial Monitor).
3. Введіть команду:

\$\$

Це виведе всі поточні параметри GRBL.

3. Основні налаштування (список параметрів GRBL)

Команда	Опис	Значення за замовчуванням
\$0	Крок імпульсу (step pulse), мкс	10
\$1	Час затримки кроку (step idle delay), мс	25
\$2	Напрямок кроку (step port invert mask)	0
\$3	Інверсія напрямку руху осей	0
\$4	Інверсія затискача	0
\$5	Інверсія лімітних перемикачів	0
\$6	Програмна інверсія віддалення (probe invert)	0
\$10	Вихідний формат звітування статусу	1
\$11	Точність переміщення (junction deviation), мм	0.010
\$12	Допустимий відхил на дугах (arc tolerance), мм	0.002
\$13	Формат одиниць (0 - мм, 1 - дюйми)	0
\$20	Увімкнення soft limits (м'які ліміти)	0
\$21	Увімкнення hard limits (жорсткі ліміти)	0
\$22	Увімкнення homing cycle	0
\$23	Інверсія напрямку homing	0
\$24	Початкова швидкість homing, мм/хв	25
\$25	Швидкість швидкого руху під час homing, мм/хв	500
\$26	Затримка при натисканні кінцевого перемикача, мс	250
\$27	Відступ після homing, мм	1
\$30	Максимальна потужність ШІМ	1000
\$31	Мінімальна потужність ШІМ	0
\$32	Лазерний режим (0 - вимк., 1 - увімк.)	0
\$100	Кроки на мм для осі X	250
\$101	Кроки на мм для осі Y	250
\$102	Кроки на мм для осі Z	250
\$110	Максимальна швидкість осі X, мм/хв	500
\$111	Максимальна швидкість осі Y, мм/хв	500
\$112	Максимальна швидкість осі Z, мм/хв	500

\$120	Прискорення для осі X, мм/с ²	10
\$121	Прискорення для осі Y, мм/с ²	10
\$122	Прискорення для осі Z, мм/с ²	10

4. Налаштування параметрів

Щоб змінити параметр, введіть:

\$<номер>=<значення>

Наприклад, щоб встановити кроки на мм для осі X (\$100) на 400, введіть:

\$100=400

5. Важливі поради

1. Розрахунок кроків на мм:

- Формула:

Кроки на мм = (Крок двигуна * мікрокроки) / (Хід гвинта)

2. Увімкнення homing:

- Встановіть \$22=1, якщо є кінцеві перемикачі.

3. Перевірка руху:

- Використовуйте прості команди G-code, наприклад:

G0 X10 F200

Ця команда перемістить вісь X на 10 мм зі швидкістю 200 мм/хв.

6. Перезавантаження GRBL

Щоб зберегти налаштування, від'єднайте та знову підключіть контролер до живлення.

7. Налаштування для лазера

Для роботи лазера потрібно:

1. Увімкнути лазерний режим:

\$32=1

2. Відрегулювати потужність ШІМ:

\$30=<максимальна потужність>

\$31=<мінімальна потужність>