

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав та не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

07.06.2024

Біличенко А.С.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ
Кафедра _____ КІТАР
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський)
Спеціальність _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми _____ Освітньо-професійна
Освітня програма _____ Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав.кафедри _____
(підпис)

«__» _____ 2024р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студентові _____ Біличенко А.С.
(шифр і назва)

1. Тема роботи: _____ Розробка механічного модуля системи автоматиз
лазерного граверу на основі CO₂

Затверджена наказом університету від _____ 20.05.2024 №477Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 07.06.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: 3.1 Розмір робочої області 1220×610×300 мм;

3.2 Матеріали для обробки листового деревина та термопласти; 3.3 Можливість
працювати з векторними та растровими зображеннями.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: 4.1 Вступ; 4.2 Аналіз
технології лазерної обробки матеріалів; 4.3 Аналіз технології лазерної
обробки матеріалів; 4.4 Вибір розміру робочого поля верстата; 4.5 Аналіз
аналогічних конструкції; 4.6 Аналіз гравіювання растрових і векторних
зображень; 4.7 Результати аналізу технічного завдання 4.8 Аналіз існуючих
кінематик лазерних верстатів із газовими трубками; 4.9 Аналіз матеріалів,
що використовуються для створення станини верстата; 4.10 Компонівка
верстату; 4.11 Опис матеріалів конструкції; 4.12 Ось X; 4.13 Ось Y; 4.14 Ось
Z; 4.15 Рама; 4.16 Облицювання; 4.17 Розрахунок точності розробленого
лазерного верстату; 4.18 Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Графічний демонстраційний матеріал в форматі PowerPoint(*.ppt) формату А4 –15 сторінок.

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по-батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технології лазерної обробки матеріалів	08.04.2024-09.05.2024	виконано
2	Вибір розміру робочого поля верстата	09.04.2024-12.04.2024	виконано
3	Аналіз аналогічних конструкцій	12.04.2024-17.04.2024	виконано
4	Аналіз гравіювання растрових і векторних зображень	19.04.2024-22.04.2024	виконано
5	Аналіз існуючих кінематик лазерних верстатів із газовими трубками	22.04.2024-27.04.2024	виконано
6	Аналіз матеріалів, що використовуються для створення станини верстата	07.05.2024-14.05.2024	виконано
7	Компоновка верстату	16.05.2024-22.05.2024	виконано
8	Розробка конструкції механічної частини лазерного верстата	22.05.2024-28.05.2024	виконано
9	Розрахунок точності розробленого лазерного верстату	30.05.2024-06.06.2024	виконано

Дата видачі завдання 8 квітня 2024р.

Студент _____ Біличенко А.С.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ Нікітін Д.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 74 с., 3 табл., 55 рис., 13 джерел.

3D МОДЕЛІ, ЧПУ ВЕРСТАТ, ЛАЗЕРНА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ, МЕХАНІЧНІ ЧАСТИНИ ЧПУ ВЕРСТАТА, КІНЕМАТИКА ЛАЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ, КОНСТРУКЦІЇ ЧПУ ВЕРСТАТІВ, РАСТОВІ ЗОБРАЖЕННЯ, ГРАВІЮВАННЯ, ВЕКТОРНЕ ЗОБРАЖЕННЯ.

Мета роботи – розробка є зменшення ваги лазерного модуля для швидких переміщень підчас лазерного різання та гравіювання.

Об'єкт роботи – процес лазерної обробки матеріалів.

Предмет роботи – механтронна складова для позицінування лазерного модуля.

В даній кваліфікаційній роботі проаналізовано технології лазерної обробки металів. Проведено вибір розміру робочого поля верстата. Проведено аналіз аналогічних конструкцій. Було проаналізовано гравіювання растових та векторних зображень. Наступним етапом було проведено аналіз кінематик лазерних верстатів із газовими трубками та матеріалів, що використовуються для створення станини верстата. Далі розроблено компоновку верстата. Наступним етапом роботи було розроблено конструкцію механічної частини лазерного верстата. Заключним етапом стало проведення розрахунків точності лазерного верстата.

ABSTRACT

Explanatory note: 74 pages, 3 table, 55 figures, 13 sources.

3D MODELS, CNC MACHINES, LASER PROCESSING OF MATERIALS, CNC MACHINE MECHANICAL PARTS, LASER KINEMATICS, CNC MACHINE DESIGNS, RAST DRAWING, ENGRAVING, VECTOR DRAWING.

The aim of the work is to develop a laser module weight reduction for fast accelerations during laser cutting and engraving.

Object of work – the process of laser processing of materials.

The subject of work is the mechatronic component for positioning the laser module.

In this qualification work, laser metal processing technologies are analyzed. The size of the working field of the machine has been selected. An analysis of similar structures was carried out. The engraving of raster and vector images was analyzed. The next stage was an analysis of the kinematics of laser machines with gas tubes and the materials used to create the machine bed. Next, the layout of the machine was developed. The next stage of the work was the design of the mechanical part of the laser machine. The final stage was the calculation of the accuracy of the laser machine.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	8
Вступ.....	9
1 Аналіз технічного завдання.....	11
1.1 Аналіз технології лазерної обробки матеріалів	11
1.2 Вибір розміру робочого поля верстата	14
1.3 Аналіз аналогічних конструкцій	17
1.4 Аналіз гравіювання растрових і векторних зображень.....	24
1.5 Результати аналізу технічного завдання.....	26
2 Розробка кінематики верстата	28
2.1 Аналіз існуючих кінематик лазерних верстатів із газовими трубками. 28	
2.2 Аналіз матеріалів, що використовуються для створення станини верстата	30
2.3 Компоновка верстату.....	33
2.4 Розрахунок системи керування лазерної трубки	33
3 Розробка конструкції механічної частини лазерного верстата	40
3.1 Опис матеріалів конструкції.....	40
3.2 Ось X.....	41
3.3 Ось Y.....	46
3.4 Ось Z.....	49
3.5 Рама.....	54
3.6 Облицювання	57
4 Розрахунок точності лазерного верстату.....	63
4.1 Розрахунок точності розробленого лазерного верстату	63
4.2 Охорона праці.....	66
Висновки	70
Перелік джерел посилання	72
Дотаток А Демонстраційні матеріали.....	74

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДСТУ – державний стандарт України;

ІЧ – інфрачервоне;

КГП – крок гвинта;

ПРВ – підвищений рівень випромінювання;

ПК – персональний комп'ютер;

УФ – ультрафіолет;

ЧПУ – числове програмне управління.

ВСТУП

Лазерне опромінення використовується у багатьох сферах людської діяльності: машинобудуванні, навігації, медицині, військовій справі. Приладобудування не є винятком, технологія лазерного різання, маркування, гравіювання, сварки набувають все більшої популярності. Ці технології мають безліч переваг перед класичними методами формоутворення такими як фрезерування, штамповка і перед більш сучасними технологіями: гідроабразивна та плазмова різка. Також отримані результати відповідають переліку Цілей сталого розвитку, зокрема цілі 9 Інновації та інфраструктура (п. 9.4, 9.5 та інші).

До цих переваг слід віднести простоту автоматизації верстата, відсутність вимог до високої жорсткості конструкції верстата, велика швидкість обробки, мала товщина різки, відсутність безпосереднього контакту інструменту і заготовки, можливість роботи із різними матеріалами включаючи крихкі, тверді, еластичні ті інші. Безумовно тип матеріалу, що обробляється залежить від типу лазерного модулю верстата.

Досить часто при створенні дослідних зразків приладів або лабораторних макетів на нашій кафедрі виникає необхідність у виготовленні конструкційних елементів, наприклад корпусів, шасі мобільних роботів із листових пластиків, композитів або фанери. Саме для виготовлення деталей з наведених матеріалів найчастіше використовуються ЧПУ верстати з CO₂ лазерними трубками. Вони мають невисоку собівартість, велику продуктивність та точність обробки.

Таким чином тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «Розробка механічного модуля системи автоматизації лазерного граверу на основі CO₂» є актуальною.

Об'єктом роботи є технологія лазерної обробки матеріалів.

Предметом роботи є механічна частина лазерного ЧПУ верстата.

Метою роботи є розробка 3D моделі механічної лазерного ЧПУ верстата з невисокою вартістю виготовлення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати конструкції існуючих лазерних ЧПУ верстатів;
- обрати або розробити схему руху елементів верстата;
- обрати стандартні елементи, з яких буде побудовано верстат: направляючі, приводи, матеріали рами верстата та інш.;
- розробити конструкції нестандартних елементів верстата: каретки, елементи фіксації та інш.;
- створити 3D модель конструкції верстата;
- провести симуляцію робочих навантажень на механічну частину верстата.

Дана кваліфікаційна робота була виконана згідно ДСТУ 3008 – 15 [1], а також, керуючись навчальним посібником з дипломного проекту [2] та методичними вказівками [3].

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз технології лазерної обробки матеріалів

Перший лазер було створено у 1960 році, його створив американський фізик Теодор Майман в дослідному центрі Hughes Research Laboratories. У цьому лазері як активне середовище використовувався синтетичний рубін, він випромінював промінь глибокого червоного кольору з довжиною хвилі 694,3 нм.

Після відкриття лазера вчені та інженери швидко звернули увагу на його потенціал у промисловості. Одним із перших застосувань лазерного випромінювання стало маркування різних предметів та матеріалів. Цей процес був інноваційний за рахунок унікальних можливостей лазера створювати високоточні та стійкі маркування на поверхні.

Однак найважливішим відкриттям була ідея використання лазерного випромінювання для різання матеріалів. Амада Компані, японський виробник промислового обладнання, першим представив комерційно доступний лазерний верстат для різання металу. Нова технологія стала ефективною альтернативою традиційним методам обробки матеріалів, таким як механічне різання та плазмове різання.

З часом дослідження та розробки в галузі лазерного різання активно просуваються вперед. До 1970-х років лазерні верстати були вже широко застосовані в промисловості, але вони залишалися дорогими та недоступними для багатьох компаній.

З розвитком технологій та зниженням вартості виробництва, лазерне різання стало більш доступним і популярним. У 1980-ті роки у виробництві з'явилися лазерні верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ), що підвищило точність та автоматизувало процес різання. Технологія

продовжувала розвиватися, і до кінця 20 століття були створені лазерні верстати з оптичними системами з автоматичним фокусуванням, що дало новий імпульс промислової революції [4].

На даний момент існує велика кількість різних лазерної операції обробки матеріалів:

- різання лазером: використовується для розрізання матеріалу за заданими контурами з високою точністю та чистотою різання;
- зварювання лазером: застосовується для з'єднання матеріалів, зазвичай металів шляхом нагрівання поверхні до точки плавлення;
- травлення лазером: дозволяє видалити матеріал з поверхні, створюючи точні візерунки або отвори.
- термообробка лазером: використовується для зміни механічних властивостей матеріалу, таких як твердість або структура, шляхом точного нагрівання та охолодження;
- маркування лазером: застосовує нанесення тексту, зображень або штрих-кодів на поверхню матеріалу за допомогою лазерного випромінювання.

Ці методи можуть бути використані для обробки різних матеріалів, включаючи метали, пластик, скло і інші. Для даної роботи слід провести аналіз перш за все лазерної різки деревини та похідних матеріалів та їх маркування.

Лазерне різання має ряд переваг перед іншими видами обробки матеріалів [5]:

- висока точність: лазерне різання забезпечує дуже високу точність і повторюваність, що дозволяє отримувати деталі з точними розмірами та геометрією;
- мінімальні деформації: оскільки лазерний промінь дуже вузький і має високу енергію, процес різання характеризується мінімальними термічними деформаціями та впливом на матеріал;

– широкий спектр матеріалів: лазерне різання може бути застосовано до різноманітних матеріалів, включаючи метали, пластик, дерево, кераміку, скло та багато інших. Безумовно перелік матеріалів залежить від типу лазерного модулю;

– мінімальні залишки та задирки: оскільки лазерний промінь дуже вузький, процес різання зазвичай не вимагає додаткової обробки, і залишає мінімальні залишки та задирки на оброблених деталях;

– висока швидкість обробки: лазерне різання зазвичай має високу швидкість обробки, особливо в порівнянні з традиційними методами, такими як ручне різання або механічне різання;

– можливість складних контурів: лазерна технологія дозволяє створювати складні контури та візерунки, які можуть бути важко досягти за допомогою інших методів;

– мінімальні втрати матеріалу: завдяки вузькому лазерному променю лазерне різання зазвичай супроводжується мінімальними втратами матеріалу, що робить цей метод ефективним з точки зору витрати сировини;

– автоматизація процесу: лазерні верстати можуть бути легко автоматизовані за допомогою числового програмного управління (ЧПУ), що дозволяє виконувати обробку без прямої участі оператора та забезпечує високу продуктивність.

Ці переваги роблять лазерне різання одним з найбільш популярних та універсальних методів обробки матеріалів у багатьох галузях промисловості.

Хоча лазерне різання має безліч переваг, у неї також є деякі недоліки в порівнянні з іншими технологіями [6]:

– високі витрати на обладнання: лазерні верстати є дорогими у придбанні та обслуговуванні, особливо в порівнянні з деякими традиційними методами обробки, такими як механічне різання;

– обмеження за товщиною матеріалу: на відміну від деяких інших технологій, лазерне різання має обмеження за товщиною оброблюваного

матеріалу. Для товстих металевих листів можуть знадобитися інші методи обробки;

- вимагає спеціальної безпеки: робота з лазерами вимагає дотримання суворих заходів безпеки для захисту від випромінювання та можливого пошкодження зору чи шкіри;

- обмежені можливості для деяких матеріалів: хоча лазерне різання підходить для широкого спектру матеріалів, деякі особливі типи матеріалів, такі як деякі композити або деякі пластмаси, можуть бути важко або неможливо обробити лазером;

- труднощі з високими температурами: деякі матеріали, особливо пластмаси, можуть бути схильні до плавлення або деградації при високих температурах, що може створювати проблеми при лазерному різанні;

- обмежена глибина різання: у деяких випадках лазерне різання може обмежуватися глибиною проникнення в матеріал, особливо у випадку металевих матеріалів з великою товщиною.

Таким чином, обраний у другій підтемі даної комплексної роботи лазерний CO₂ модуль 80 Вт, дозволить виконувати різку і маркування вказаних у технічному завданні матеріалів, а саме деревини та похідних матеріалів (шпон, фанера та інш.) завтовшки до 10 мм.

1.2 Вибір розміру робочого поля верстата

Через те, що тема бакалаврської кваліфікаційної роботи є комплексною у другій її частині, присвяченій електронній та програмній частині у якості лазерного модулю було обрано лазерну CO₂ трубку з потужністю 80 Вт. То ж для вибору розміру робочої зони лазерного верстата необхідно проаналізувати які матеріали він зможе обробляти і у подальшому визначити типові розміри листових заготовок цих матеріалів.

Одна з найважливіших характеристик плитних матеріалів для лазерного різання, гравірування та маркування – розміри, а саме довжина та ширина, від яких залежить площа листа, та товщина. Основним матеріалом, який буде оброблятися на лазерному верстаті є фанера. Розміри фанери впливають на можливості її застосування, ціна листа теж залежить від цих параметрів.

За формою, розмірами листа фанера поділяється на:

- стандартну (відповідає ДСТУ) та нестандартну (випускається на замовлення або відповідно до ринкового попиту);
- прямокутну та квадратну;
- великоформатну.

Фанера має два параметри ширини (довжини), які вважаються стандартними: 1220 мм і 1525 мм. До стандартних розмірів відносяться 1220 x 1220 мм, 1525 x 1220 мм та 1525 x 1525 мм. Деякі виробники випускають фанеру іншої ширини – 1250 мм, 1600 мм.

Стандартні розміри фанери регламентуються ДСТУ 3916.1-96. Стандартна довжина становить 2440 мм, а ширина – 1220 мм. Але одним із найбільш затребуваних форматів є 1525 × 1525 мм. Іноді виробляють фанеру із іншими параметрами. Можуть випускатися листи 1220 x 1220 мм та 1525 x 1220 мм. А максимальна довжина аркуша, яку пропонує абсолютна більшість виробників, становить 3660 мм, але це вже йде більш форматний матеріал.

Товщина залежить від розміру шпону, а також кількості шарів, що вміщується. Держстандарт затверджує мінімальну кількість шарів, які повинна містити фанера певної товщини:

- при товщині 3 мм фанера повинна складатися щонайменше з 3 шарів;
- при товщині 6 мм – щонайменше 5 шарів;
- при 9 мм – 7 шарів;
- при 12 мм – 9 шарів;

- при 15 мм – 11 шарів;
- при 18 мм – 13 шарів;
- при 21 мм – 15 шарів;
- при 24 мм – 17 шарів;
- при 27 мм – 19 шарів;
- при 30 мм – 21 шар.

За маркою фанера також поділяється по застосуванню:

- фанера вологостійка ФК – екологічний матеріал, оскільки при виробництві використовують клейовий склад на основі карбаміду. Він допускається при обробці житлових кімнат, в автомобілебудуванні, виготовленні меблів та тари. Ця фанера міцна та проста в обробці. Клас водостійкості – середній;

- фанера водостійка ФСФ відрізняється високим рівнем вологостійкості, оскільки при виробництві використовують клей із смолами формальдегіду. У матеріалу гарна зносостійкість, міцність. Затребуваний у будівництві, підходить для фарбування та облицювання, але не настільки екологічний, тому його не рекомендується використовувати для внутрішніх робіт;

- фанера ламінована ФОФ – матеріал, поверхня якого покривається плівкою, що ламінує, що збільшує вологостійкість, механічну міцність і зносостійкість. Може застосовуватися для облицювання та фарбування;

- бакелітова фанера ФБС або ФБВ – характеризується підвищеною зносостійкістю, вогнетривкістю, водостійкістю та стійкістю до різких перепадів температури. Його міцність порівнюють із низьколеговою сталлю. Стійкий навіть до дії морської води.

На рисунку 1.1 представлено стандартні розміри фанери.



Рисунок 1.1 – Стандартні розміри фанери

Таким чином при виборі робочої зони лазерного верстата, що розробляється необхідно орієнтуватись на стандартні розміри фанери, що обробляється і при цьому мати не дуже великі розміри через те що верстат буде використовуватись у невеликій навчальній лабораторії. Обрано наступний розмір робочої зони лазерного верстата: 1220 x 610 мм. Безумовно цей розмір не є стандартним, але він отримується кратним розділом більшості стандартних форматів на частини.

1.3 Аналіз аналогічних конструкцій

Для подальшої розробки ЧПУ лазерного верстата необхідно провести аналіз існуючих верстатів з аналогічними чи наближеними параметрами, а саме розмірами робочої зони 1220 x 610 мм та потужністю лазерної CO₂ трубки 90 Вт.

Першим лазерним верстатом, що буде розглянуто є MTech L1006 [7]. Це верстат українського виробництва від компанії MTech Ukraine.

Лазерний гравер MTech L1006 призначений для лазерної обробки різних матеріалів. Обробка матеріалів проводиться методом різання та гравіювання.

Верстат дуже компактний, легко розміщується в обмеженому просторі. Робота зі верстатом відбувається через програму RDWorks із простим і зрозумілим інтерфейсом або вбудовується безпосередньо у графічні редактори CorelDraw, AutoCad. Складання програм здійснюється безпосередньо в графічних редакторах типу CorelDraw, AutoCad, Inscapе і передається на лазерний гравер USB кабелем або флешкою.

Основні переваги верстата, це простота та функціональність. MTech L1006 має робоче поле 1000×600 мм та потужність лазерного випромінювача RECI від 90 Вт (100, 130, 150 Вт, як опція), що забезпечує стабільну та швидку роботу з невеликими заготовками.

Лазерний гравер підключається до ПК через USB порт. При цьому комп'ютер для роботи гравера не потрібен, повністю автономний. На комп'ютері лише створюються файли і передаються в пам'ять верстата через кабель USB або флешку.

Сфера застосування верстата:

- поліграфія: штампи, відкрутки, візитки, скрапбукінг;
- деревообробне виробництво: монтесорі, ЗОО аксесуари, сувенірна продукція, маркетрі;
- взуттєва промисловість: виготовлення лекал;
- легка промисловість: лекала, шаблони, крій;
- шкіргалантерея: крій, лекала;
- пакувальне виробництво: майстер моделі, упаковка;
- оформлення: декупаж, скрапбукінг.

Основні характеристики MTech L1006 представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристики MTech L1006

Параметр	Характеристика
1	2
Робоча поверхня, мм:	1000 × 600
Потужність лазера, Вт:	RECI W2 (90-100 Вт)
Тип лазера	CO2 (лазерна трубка)
Режим управління	кроковий двигун
Регулювання потужності лазера	апаратна, програмна
Глибина різання (акрил), мм	0...15 (залежно від трубки)
Структура осі X	Профільні квадратні Hiwin 15мм/Зубчастий ремінь HTD 3М
Структура осі Y	Профільні квадратні Hiwin 15мм/Зубчастий ремінь HTD 3М
Швидкість гравіювання, мм/с	0...600
Швидкість різання, мм/с	0...400
Точність позиціонування, мм	0,1
Мінімальний розмір літери для гравіювання, мм	літера кирилиці: 1,5 × 1,5
Дзеркала, мм	25
Лінза	ZnSe ø20 f-50 (на вибір)
Система управління	Ruida RDC6445G
Підтримуване програмне забезпечення	CorelDraw, AutoCAD, LaserWork
Підтримувані графічні формати	CDR, PLT, DXF, BMP, JPG, PGN
Операційна система ПК	Windows XP/7/8/10 (32/64)
Інтерфейс підключення	USB 2.0
Охолодження	фреоновий чилер CW5200AG
Максимальна товщина матеріалу, мм	40 (підйомний стіл, як опція)

Продовження таблиці 1.1

1	2
Термін служби лазерної трубки, год	10000
Електроживлення	220 ±10 % 50 Hz
Потужність, Вт	≤ 2200
Розмір верстата, мм	1700 × 1200 × 1200
Маса, кг	~ 190
Гарантія, міс	12

На рисунку 1.2 представлено загальний вид MTech L1006.



Рисунок 1.2 – Загальний вид MTech L1006

Матеріали, що обробляються:

- дерево: дерево, фанера, МДФ, ДСП;
- пластики: акрил, оргскло, полістирол, ПЕТ;
- тканини: натуральні, напівсинтетичні, синтетичні, склотканини;
- скло: гравіювання;

- камінь: гравіювання;
- кераміка: гравіювання;
- гума: різання та гравіювання;
- картон та папір: різання та гравіювання.

Вартість даного верстата на даний момент складає 5500 \$.

Наступною моделлю лазерного верстата, що слід розглянути є модель AF2440-100 – 100 Вт від американської фірми Omtech [8].

Матеріали, що обробляються різанням:

- оргскло;
- більшість термопластів;
- деревина;
- шкіра;
- гума;
- папір;
- тканина;
- МДФ.

Загальний вид AF2440-100 представлено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Загальний вид AF2440-100

Лазерний гравер CO2 потужністю 100 Вт від OMTech на дереві, склі, акрилі, шкірі та інших неметалевих матеріалах зі швидкістю до 23,6 дюймів на секунду. Збільшує швидкість відгуку, продуктивність і потужність різання.

Дозволяє обробляти деталі, набагато більші за розмір робочої зони, просовуючи їх під час руху. Робоча платформа розміром 24 x 40 дюймів із стільниками та платформами для гравіювання леза ножа для роботи з різноманітними предметами та матеріалами

У якості цифрового контролера використовується RUIDA. Вона має інтуїтивно зрозумілу панель керування з цифровим дисплеєм, що дозволяє повністю контролювати лазерну головку, призупиняти та зупиняти проекти, регулювати параметри потужності та швидкості лазера, переглядати файли та обрамляти проект за допомогою сумісного з Windows RDWorks v8. У якості направляючих використовуються рейки із каретками. Верстат оснащений кроковими двигунами X і Y для ефективної передачі енергії між направляючими з високою точністю та тривалим терміном служби. 2 USB - порти дозволяють підключати флеш-накопичувач і з'єднувати ПК через USB. Лазерний гравер є сумісним з програмним забезпеченням Lightburn. Усі CO2-лазери OMTech мають потужність 80. Верстат сертифіковано відповідно до FDA та CE.

Гравер має Air Assist, вбудовану вентиляцію, датчик потоку води, автоматичне відключення, розширене оглядове вікно з вогнезахисного матеріалу, гарантію 2 роки на верстат, та гарантію 1 рік на лазерні трубки та блоки живлення.

Досить часто можна зустріти DIY проекти лазерних граверів [9-12]. Вони досить сильно відрізняються один від одного за зовнішнім виглядом, але насправді мають багато спільного.

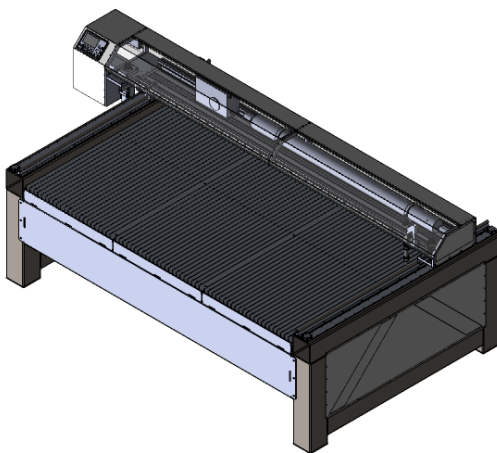
На рисунку 1.4 представлено DIY лазерні верстати.



а



б



в



г

а – CNC Laser Cutter;

б – Laser cutter;

в – LaserCutter 2000x1000;

г – Laser_6000X2000

Рисунок 1.4 – DIY лазерні верстати

До спільних рис верстатів, що наведено слід навести:

– відносно невисоку вартість, дані верстати позиціонуються як домашні або для малого бізнесу;

– відносно невеликі розміри робочої зони, причини ті самі (але іноді бувають винятки, наприклад рисунок 1.4, г);

– рама верстата виготовляється з окремих стандартних профільних матеріалів (сталь, алюміній) за допомогою роз'ємних з'єднань, це обумовлено необхідністю меншої кваліфікації до людини, що збирає верстат (у порівнянні зі зварювальними або клепаними роботами).

1.4 Аналіз гравіювання растрових і векторних зображень

У випадку декоративного гравіювання (маркування) у якості зображень можуть бути використані як растрові, так і векторні формати. Вони мають принципово різний підхід в цифровому описі графічної інформації і це дуже значним чином впливає на процес їх гравіювання, а саме швидкості і прискорення з якими відбувається цей процес. Це пов'язано безпосередньо із особливостями представлення графічної інформації [13].

Растрова або біт-мапна графіка є методом цифрового зображення, який використовує пікселі для представлення об'єкта. Кожен має свій колір і разом вони утворюють повну картину. Цей метод широко використовується у фотографії, веб-дизайні та відеоіграх.

Це метод генерування зображень, який використовує математичні рівняння та геометричні фігури (лінії та криві, точки) для відображення об'єктів. Головна відмінність від попереднього способу полягає в тому, що цей тип не залежить від роздільної здатності і картинка можуть масштабуватися без втрати якості.

Векторне зображення складається з компонентів, що визначаються математичним шляхом. Вони формують контури та межі об'єктів, дозволяючи створити чітку та гладку картинку незалежно від її розміру. Різниця між векторним та растровим зображенням представлено на рисунку 1.5.

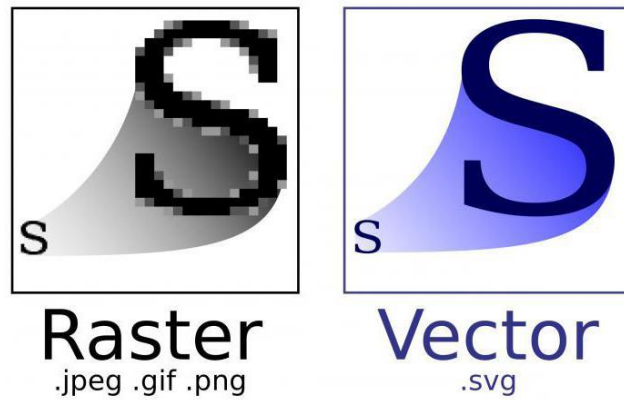


Рисунок 1.5 – Різниця між векторним та растровим зображенням

Лазерне гравіювання растрових зображень виконується поступово, лінія за лінією вздовж осі X координатної системи. Після закінчення однієї лінії верстат рухається по осі Y на відстань, що як правило дорівнює діаметру лазерного променя (він має бути сфокусованим на об'єкті гравіювання). Таким чином, при гравіювання растрових декоративних зображень (рис. 1.6) виконуються швидкі переміщення каретки із соплом лазера вздовж осі X і повільні переміщення вздовж осі Y.

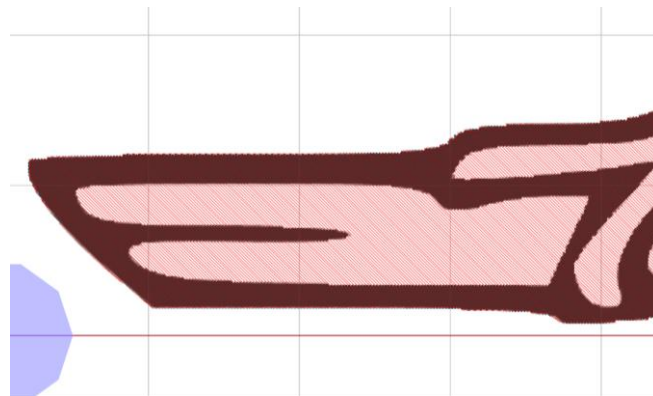


Рисунок 1.6 – Візуалізація G-коду лазерного гравіювання растрового зображення

При лазерному гравіювання векторних зображень рух лазера повторює лінії, що утворюють зображення і описані за допомогою математичних формул. Таким чином швидкі переміщення виконуються як вздовж осі X, так і вздовж осі Y. Це може бути не дуже важливим при операціях різання, так як

для лазерних трубок потужністю 80 Вт, що обрано для розробки, ці швидкості досить невеликі. Але при декоративному гравіюванні, коли зображення наноситься лише на поверхню і обробка виконується не велику глибину, швидкості зростають дуже суттєво (рис 1.7). І переміщення відбуваються із великими швидкостями і прискореннями вздовж обох осей.

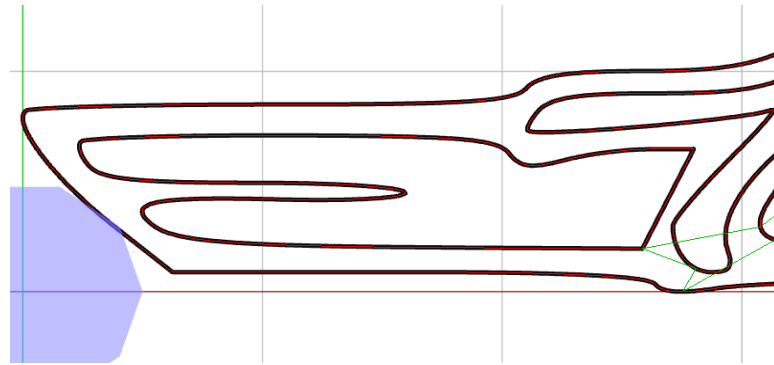


Рисунок 1.7 – Візуалізація G-коду лазерного гравіювання векторного зображення

Таким чином, конструкція, що розроблюється, має мати низьку інерцію для можливості декоративного гравіювання як растрових, так і векторних зображень.

1.5 Результати аналізу технічного завдання

У другій підтемі комплексної теми кваліфікаційної роботи було обрано у якості лазерного модулю лазерну CO₂ трубку RECI W1 потужністю 90 Вт. Це є основним фактором для подальшого проектування механічної частини лазерного ЧПУ верстата так як впливає на подальшу розробку кінематики верстата.

Основним матеріалом, що буде оброблятися на верстаті є деревина і похідні матеріали: МДФ, фанера тощо. Через це розмір робочої зони має відповідати розмірам стандартних листових матеріалів даної категорії. Але Верстат планується використовувати у навчальній лабораторії з обмеженим

місцем. Тому розмір обрано 1220 x 610 мм, тобто стандартні листи матеріалу необхідно кратно розрізати вздовж довгого боку.

Розглянуто конструкції аналогічних ЧПУ верстатів, що дасть змогу у наступних розділах обрати кінематику руху верстата.

Проведено аналіз особливостей гравіювання растрових та векторних зображень. Верстат, що розроблюється планується використовувати не лише для операцій різання, а і для операцій декоративного маркування (гравіювання), то для гравіювання векторних зображень необхідно забезпечити можливість роботи верстата на великих швидкостях та прискореннях. Що вимагає забезпечити низьку вагу і як наслідок інерційність не лише каретки сопла лазера, а і всієї осі X, що є рухливою.

2 РОЗРОБКА КІНЕМАТИКИ ВЕРСТАТА

2.1 Аналіз існуючих кінематик лазерних верстатів із газовими трубками

Принципово конструкції лазерних верстатів із CO₂ трубкою можна поділити на два типи: із статичною трубкою і з рухливою трубкою.

Більш поширеними серед верстатів із розмірами робочої зони подібними до наведених у попередньому розділі є верстати із статичною трубкою. Їх схематичне зображення представлено на рисунку 2.1.

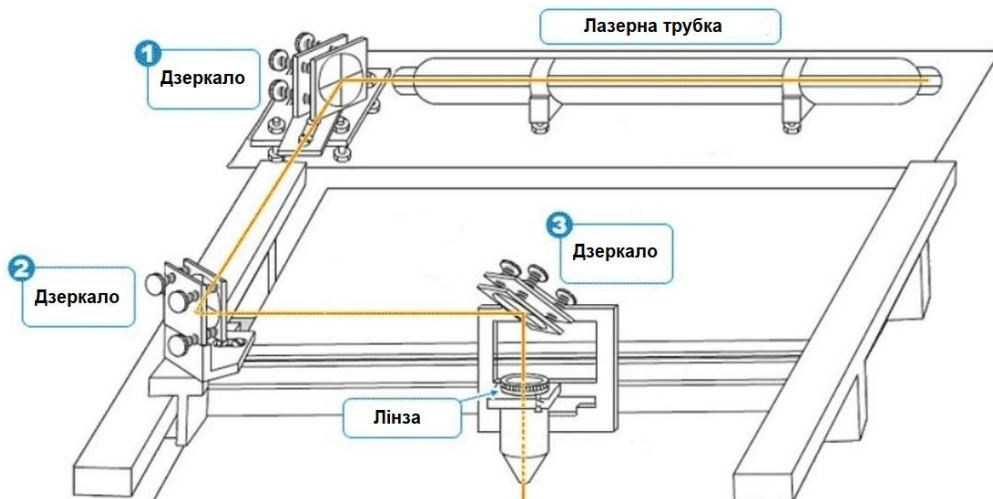


Рисунок 2.1 – Схема переміщення CO₂ верстата із статичною трубкою

В такому верстаті лазерна трубка є нерухомою і її винесено за межі робочої зони граверу (рисунок 2.1). Лазерний промінь поступає в робочу зону за допомогою системи дзеркал одне з яких (1) є нерухомим і відбиває лазерний промінь вздовж осі Y, друге дзеркало знаходиться на рухомій каретці осі Y і рухається разом із нею. Дзеркало 2 відбиває лазерний промінь вздовж осі X. Третє дзеркало знаходиться на каретці осі X, на якій знаходиться сопло граверу. Це дзеркало відбиває лазерний промінь горизонтально до низу безпосередньо у точку різки або маркування.

До переваг такої конструкції відноситься те що крихка лазерна трубка, яку досить легко пошкодити знаходиться у окремому відділенні і не рухається під час процесу обробки матеріалу. Це подовжує строк її роботи і зменшує вірогідність її пошкодження. Але при зростанні розмірів верстата збільшується шлях лазерного променя до зони обробки, що ускладнює процес юстування дзеркал та зменшує потужність лазерного променя у випадку забруднення повітря (дрібний пил або дим).

У випадку рухомої лазерної трубки, вона закріплена на рухомій осі X і переміщується разом із нею (рисунок 2.2). Дзеркала 2 і 3 зафіксовані на каретці осі Y.

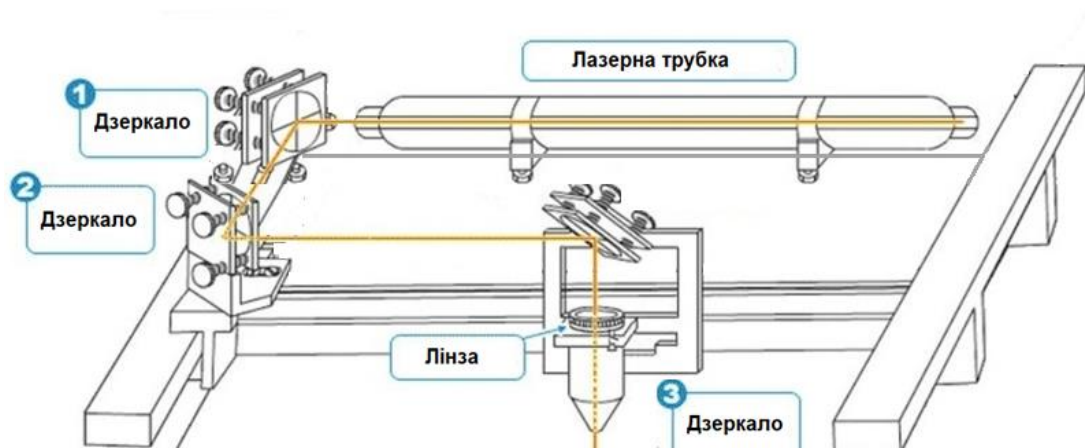


Рисунок 2.2 – Схема переміщення CO₂ верстата із рухомою трубкою

Таким чином можна мінімізувати шлях лазерного променя до точки контакту із матеріалом. Подібна кінематика найчастіше використовується у лазерних верстатах великих розмірів 3000 x 2000 мм і більше. Але на верстатах з розмірами робочої зони 1220 x 610 мм не є доцільним. По-перше така кінематика призводить до того що на лазерну трубку впливають вібрації, що виникають в процесі обробки, по-друге значно збільшується вага рухливої осі X, що зменшує швидкості та прискорення обробки.

Тож для подальшої розробки обрано тип кінематики із нерухомою лазерною трубкою.

2.2 Аналіз матеріалів, що використовуються для створення станини верстата

Станина лазерного верстата зазвичай виготовляється з матеріалів, що забезпечують високу жорсткість, стійкість до деформації та вібрацій. Деякі з найпоширеніших матеріалів для станин включають:

- сталь: часто використовується для станин через свою міцність, стійкість до деформацій і довговічність. Сталеві станини можуть бути виконані з вуглецевої сталі або спеціальних сталей з додаванням елементів підвищення міцності;

- чавун: має високу амортизацію та стійкість до вібрацій, що робить його добрим вибором для станин, особливо при роботі з високими швидкостями та точністю (рис. 2.3);



Рисунок 2.3 – ЧПУ верстат із станиною зі сталі та чавуну

- алюміній: використовується у легких лазерних верстатах або за потреби високої теплопровідності. Алюмінієві станини мають низьку масу і можуть бути менш жорсткими, ніж сталеві або чавунні, але вони можуть бути досить міцними для багатьох додатків (рис. 2.4);



Рисунок 2.4 – ЧПУ верстат із станиною з алюмінію

– композитні матеріали: у деяких випадках використовуються композитні матеріали, такі як карбонові волокна або скловолокно, для створення станин з високою жорсткістю та легкістю. Іноді для дешевих моделей використовується. Також нещодавно з'явився новий тип матеріали станини ЧПУ верстата – штучний камінь.

На рисунку 2.5 представлено ЧПУ верстат із станиною з фанери, а на рисунку 2.6 представлено станина ЧПУ верстата з штучного каменя.

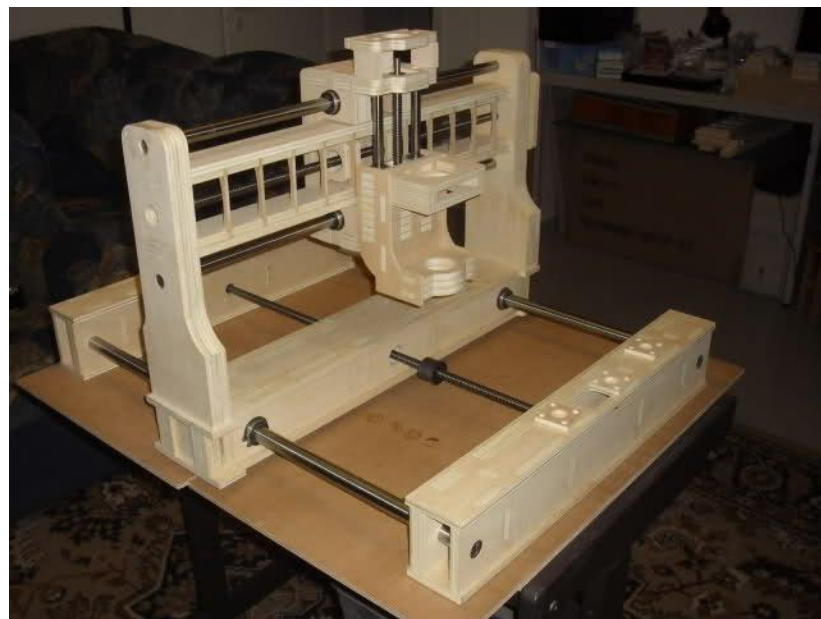
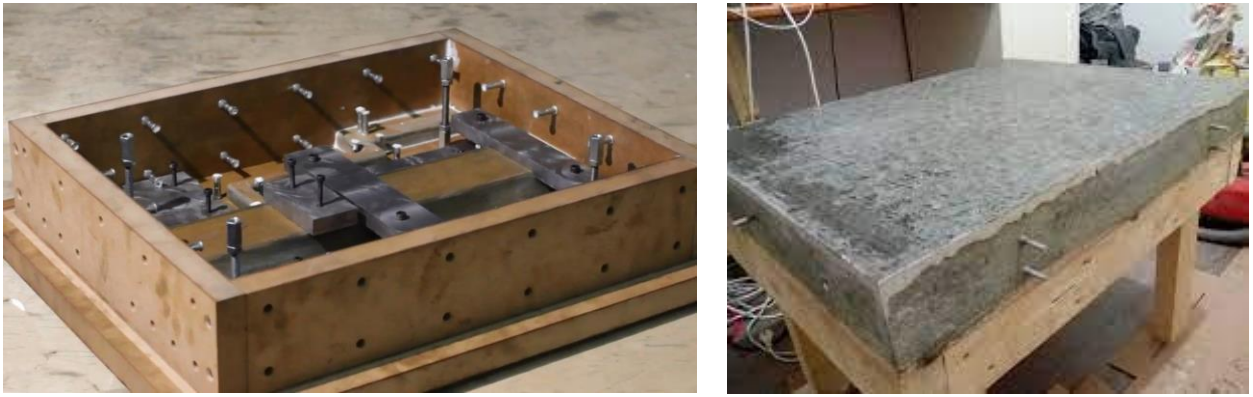


Рисунок 2.5 – ЧПУ верстат із станиною з фанери



а

б

а – форма для виготовлення станини;

б – станина

Рисунок 2.6 – Станина ЧПУ верстата з штучного каменя

Вибір матеріалу залежить від вимог до жорсткості, віброзахисту, теплопровідності та інших факторів конкретної програми.

Станини з сталі, чавуну та штучного каменя використовуються здебільше для верстатів обробки різанням, наприклад фрезерних. Вони мають високу міцність та жорсткість, що необхідно для цих операцій. Разом з цим вони є важкими, і при виготовленні рухомих елементів верстату, наприклад порталу, уповільнюють його через високу інерційність таких конструкцій. Крім того дані матеріали при обробці та зборці мають досить високу ціну.

Фанера використовується, як правило, у найдешевших верстатах з ЧПУ. Вона не має високої жорсткості. Крім того із часом має тенденцію до розшарування, а деякі види фанери є гігроскопічними, тобто накопичують вологу, що призводить до їх деформації.

Алюміній є одним із найкращих варіантів для виготовлення малогабаритних верстатів з ЧПУ. За своєю вартістю він є, безумовно дорожчим ніж сталь і чавун. Але разом із тим є значно легшим та не іржавіє із часом. Крім того при використанні алюмінієвого верстатного профілю фірми Bosch або його вітчизняних аналогів значно спрощується процес

зборки через наявність великою кількості різноманітних елементів кріплення та фурнітури. За параметрами жорсткості алюміній менш жорсткий ніж сталь та чавун, але при лазерній обробці відсутній вплив матеріалу на інструмент. Тому необхідно лише забезпечити жорсткість при швидких переміщеннях рухомих вузлів верстату.

Таким чином у якості матеріалу верстату обрано алюмінієвий верстатний профіль.

2.3 Компоновка верстату

Всі з проаналізованих лазерних верстатів мають наступну компоновку (рисунок 2.5): ось Y, яка є нерухомою є значно коротше ніж ось X [4-9]. Це дозволяє розташувати довгу лазерну трубку в середині корпусу, але разом із цим рухома ось X, що має швидко рухатись, є довгою, більш важкою. Крім того збільшується вірогідність деформації у каретках осі Y, що може призвести до відхилення осі X від перпендикуляру. Стандартна компоновка лазерних верстатів з газовою трубкою представлено на рисунку 2.7.

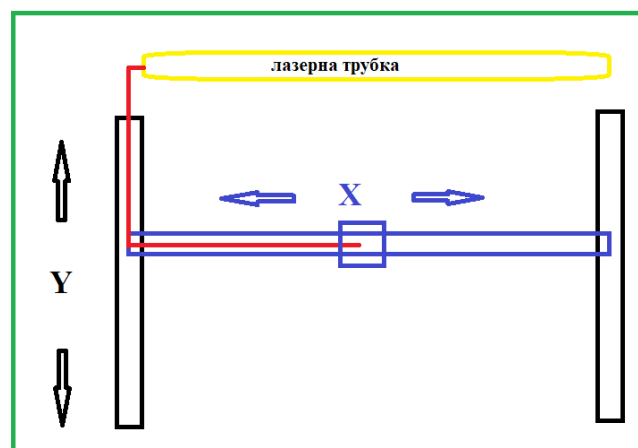


Рисунок 2.7 – Стандартна компоновка лазерних верстатів з газовою трубкою

Натомість пропонується зробити рухомию ось X короткою, а ось Y – довгою (рисунок 2.8). Це дозволить підвищити швидкість лазерної обробки,

особливо при декоративному гравіювання векторних зображень, як було проаналізовано у попередньому розділі.

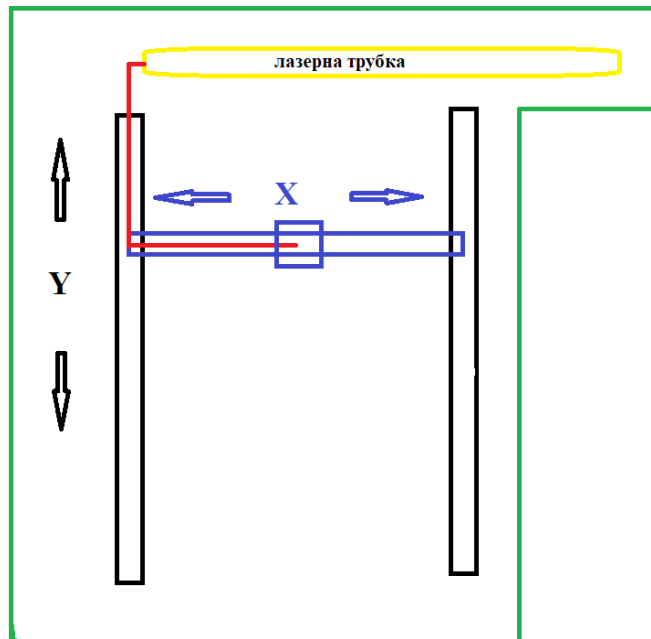


Рисунок 2.8 – Запропонована компоновка лазерного верстата

За результатами проведеного аналізу технічного завдання та розробки кінематики лазерного ЧПУ верстата побудовано 3D модель (рисунок 2.9). Опис моделі та її окремих частин буде наведено у наступному розділі кваліфікаційної роботи.

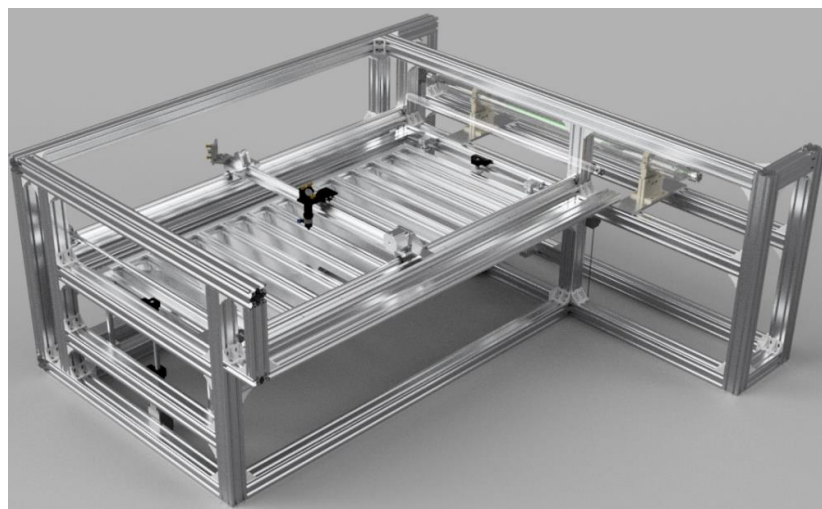


Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд верстата, що розроблено

На рисунку 2.10 представлено ескіз лазерного ЧПУ верстата.

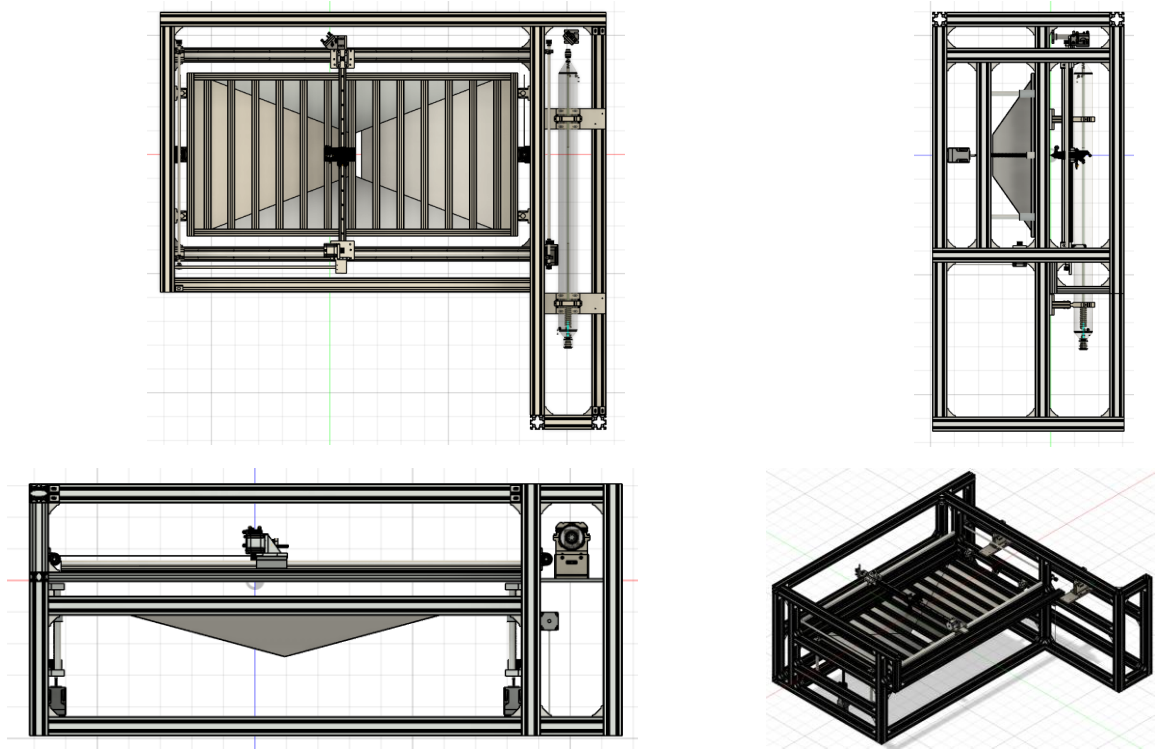


Рисунок 2.10 – Ескіз лазерного ЧПУ верстата

2.4 Розрахунок системи керування лазерної трубки

Згідно із технічним завданням та коефіцієнтами ситеми керування для лазерної трубки, заносимо початкові дані до таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Значення параметрів САУ

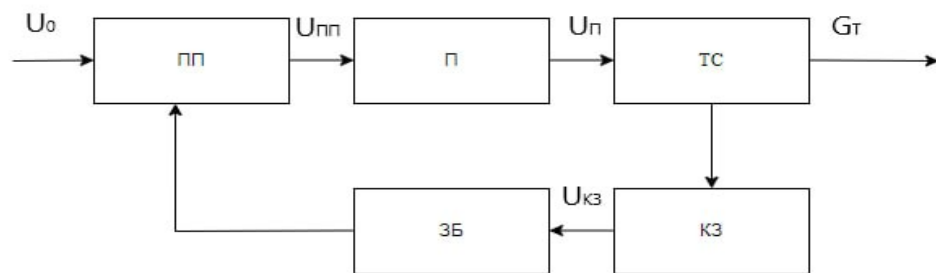
Найменування	Позначення	Значення
Коефіцієнт підсилення ЗБ	$K_{ЗБ}$	1500
Коефіцієнт підсилення ЛТ	$K_{ЛТ}$	1,2
Стала часу	$T_1 [c]$	1,25
Стала часу	$T_2 [c]$	0,4
Коефіцієнт підсилення КЗ	$K_{КЗ}$	0,0002
Стала часу ВП	$T_{ВП}$	0,02

До таблиця 2.2 заносимо вимоги, яким повинна задовольняти вихідна САУ.

Таблиця 2.2 – Вимоги, щодо якості процесу управління

Найменування	Позначення	Значення
Час перерегулювання	σ	30
Час регулювання	$t_{рег}$	3

Загальна функціональна схема керування наведена на рисунку 2.11.



Лінійна неперервна САУ регулювання подання напруги на лазерній трубці (ЛТ) містить: ЛТ як об'єкт регулювання, плата керування (ПП), запобіжник (ЗБ), підсилювач (П) і коробку замикання (КЗ)

Рисунок 2.11 – Функціональна схема САУ

Лінійна неперервна САУ регулювання частотою імпульсів вмикання лазерної трубки (ЛТ) містить: ЛТ як об'єкт регулювання, вимірювальний пристрій у ланцюзі негативного зворотного зв'язку, елемент порівняння, підсилювач (П) і запобіжник (ЗБ).

Формула елемента порівняння, можливо описати (2.1).

$$U_{пп} = U_0 - U_{кз} , \quad (2.1)$$

де $U_{пп}$ – вихідна напруга ПП;

U_0 – вихідне значення напруги;

$U_{кз}$ – напруга на виході КЗ;

Формула підсилювача, можливо описати (2.2).

$$U_{\Pi} = K_{\Pi} - U_{\Pi\Pi} , \quad (2.2)$$

де U_{Π} – напруга на виході підсилювача напруги;

K_{Π} – коефіцієнт посилення підсилювача напруги.

Передавальна функція підсилювача, можливо описати (2.3).

$$W_{\Pi}(s) = K_{\Pi} , \quad (2.3)$$

Формула запобіжника, можливо описати (2.4).

$$\frac{dG_{\Gamma}}{dt} = K_{ЗБ} U_{\Pi} , \quad (2.4)$$

де G_{Γ} – витрата току;

$K_{ЗБ}$ – коефіцієнт ЗБ.

Передавальна функція коробки запобіжника, можливо описати (2.5).

$$W_{ЗБ}(s) = \frac{K_{ЗБ} U_{\Pi}}{s U_{\Pi}} = \frac{K_{ЗБ}}{s} = \frac{1500}{s} , \quad (2.5)$$

Формула опису лазерної трубки, можливо описати (2.6).

$$T_2^2 \frac{d^2 n_{ЛТ}}{dt^2} + T_1 \frac{dn_{ЛТ}}{dt} + n_{ЛТ} = K_{ЛТ} \left(\tau_1 \frac{dG_{\Gamma}}{dt} + G_{\Gamma} \right) , \quad (2.6)$$

де $n_{ЛТ}$ – частота обертання газотурбінного двигуна;

$K_{ЛТ}$ – коефіцієнт посилення газотурбінного двигуна;

T_1, T_2 – сталі часу газотурбінного двигуна.

Передавальна функція лазерної трубки, можливо описати (2.7).

$$\begin{aligned}
 W_{\text{ЛТ}}(s) &= \frac{n_{\text{ЛТ}}}{G_{\text{T}}} , \\
 W_{\text{ЛТ}}(s) &= \frac{G_{\text{T}} K_{\text{ЛТ}} (\tau_1 s + 1)}{(T_2 s^2 + T_1 s + 1) G_{\text{T}}} , \\
 W_{\text{ЛТ}}(s) &= \frac{K_{\text{ЛТ}} (\tau_1 s + 1)}{(T_2 s^2 + T_1 s + 1)} , \\
 W_{\text{ЛТ}}(s) &= \frac{1,2(1,1s + 1)}{(0,4s^2 + 1,25s + 1)} .
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

Формула вимірювального пристрою, можливо описати (2.8).

$$T_{\text{КЗ}} \frac{dU_{\text{КЗ}}}{dt} + U_{\text{КЗ}} = K_{\text{КЗ}} n_{\text{ЛТ}} , \tag{2.8}$$

де $T_{\text{КЗ}}$ – стала часу КЗ;

$K_{\text{КЗ}}$ – коефіцієнт посилення КЗ.

Передавальна функція вимірювального пристрою, можливо описати (4.9).

$$\begin{aligned}
 W_{\text{КЗ}}(s) &= \frac{U_{\text{КЗ}}}{n_{\text{ЛТ}}} , \\
 W_{\text{КЗ}}(s) &= \frac{K_{\text{КЗ}} n_{\text{ЛТ}}}{(T_{\text{КЗ}} s + 1) n_{\text{ЛТ}}} , \\
 W_{\text{КЗ}}(s) &= \frac{K_{\text{КЗ}}}{(T_{\text{КЗ}} s + 1)} , \\
 W_{\text{КЗ}}(s) &= \frac{0,0002}{(0,02s + 1)} ,
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

Структурна схема нескоригованої системи зображена на рисунку 2.12.

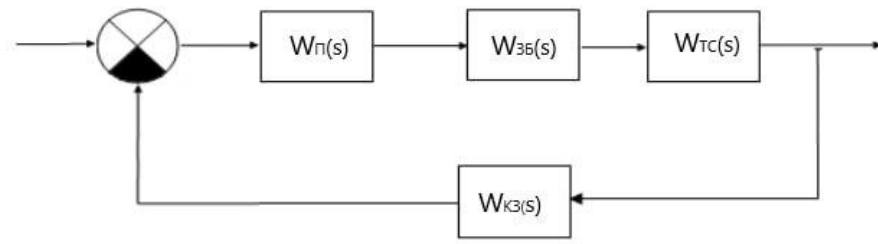
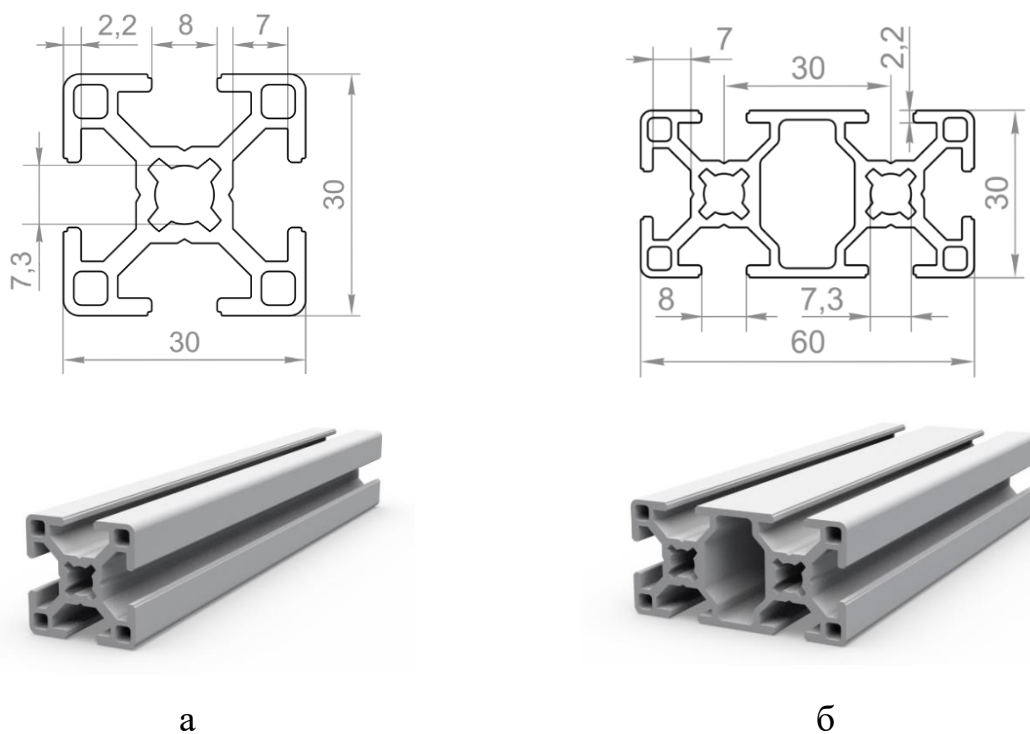


Рисунок 2.12 – Структурна схема нескоригованої системи

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ЛАЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

3.1 Опис матеріалів конструкції

У якості основного матеріала, як описано у попередньому розділі, використовується верстатний алюмінієвий профіль марок 30 x 30 та 30 x 60 (рисунок 3.1). До переваг даного типу профілю є мала вага, висока жорсткість на вигин та кручення, велика кількість з'єднувальних компонентів для легкою зборки конструкції.



а – профіль 30 x 30;

б – профіль 30 x 60

Рисунок 3.1 – Алюмінієвий верстатний профіль

Конструкцію лазерного граверу необхідно захистити від потрапляння із зовнішнього середовища пилу та бруду, а також для захисту оператора від

лазерного променю. Небезпечним є не лише сам промінь, який може нанести пошкодження, а і небезпечне ультрафіолетове опромінення, яке може пошкодити зір оператора.

Таким чином вся конструкція має бути захищена листовими матеріалами. Обрано фанеру товщиною 10 мм. По-перше цей матеріал є достатньо дешевим, крім того він дозволить зробити конструкцію ще більш жорсткою і додасть ваги, що зменшить вібрацію, які виникають при швидких переміщеннях каретки сопла граверу.

Через те що конструкція має досить багато деталей та компонентів, доцільно розділити конструкцію на умовні частини:

- вісь X;
- вісь Y;
- вісь Z;
- рама;
- облицювання.

Поділ є достатньо відносним і обумовлений етапами розробки та зборки конструкції.

3.2 Вісь X

Зовнішній вигляд вісь X лазерного верстата збоку, представлено на рисунку 3.2. В конструкції використано як стандартні деталі і компоненти, так і ті, що розроблені спеціально для даної конструкції. А на рисунку 3.3 представлено зовнішній вигляд вісь X зверху.

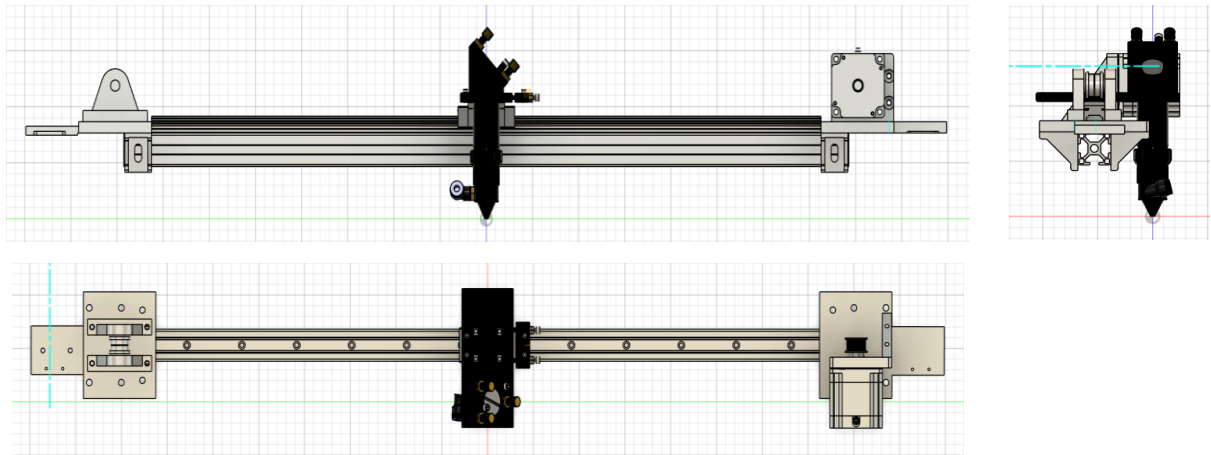


Рисунок 3.2 – Вісь X лазерного верстата

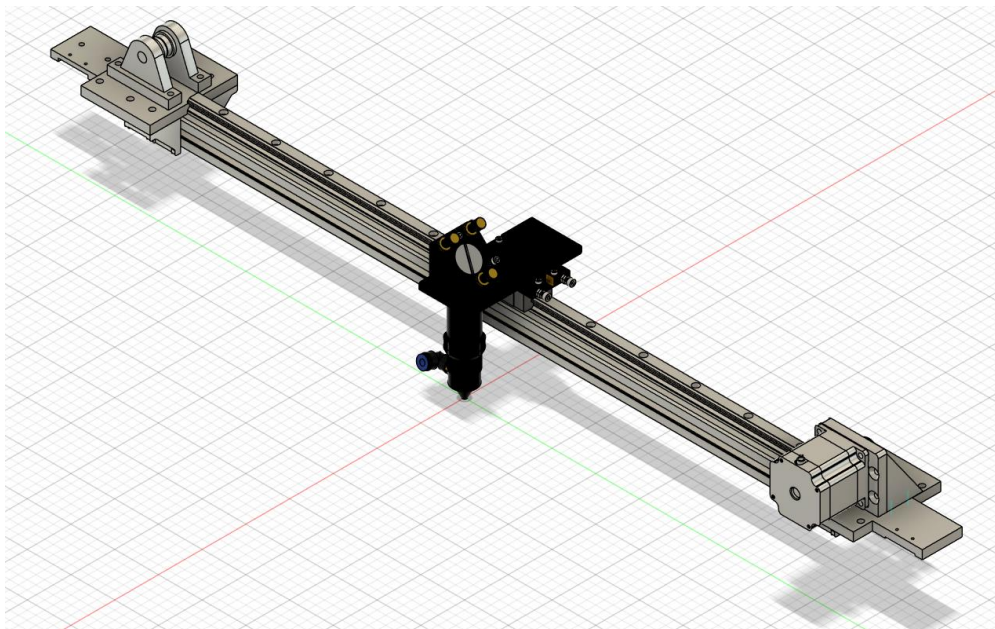


Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд вісь X

Вісь X містить наступні стандартні компоненти:

- профіль 30 x 30 довжиною 785 мм;
- кут з'єднувальний 3030 4 штуки;
- рейкова направляюча HGR15R 725 мм;
- каретка рейкової направляючої HGHCA;
- підшипник 7487N69 2 штуки;
- ремінь GT2 10 мм;
- сопло з кареткою.

До нестандартних компонентів відносяться:

- ліва каретка;
- права каретка;
- пластина кронштейну крокового двигуна;
- ребро жорсткості кронштейну крокового двигуна;
- опора натяжних підшипників 2 штуки.

У якості направляючої використовується рейкова направляюча HGR15R з кареткою HGHCA. Вона дозволить забезпечити високу швидкість, надійність та відсутність люфтів конструкції. У якості системи передачі руху обрано ремінну передачу, яка забезпечує високу точність, низький рівень шуму і малу вагу. У другій частині комплексної роботи у якості крокового двигуна осі X обрано кроковий двигун Nema 23. Саме під нього було розроблено інші деталі.

На рисунку 3.4 наведено ліву каретку вісь X. Вона виготовляється з дюралюмінію марки Д16 за допомогою фрезерування.

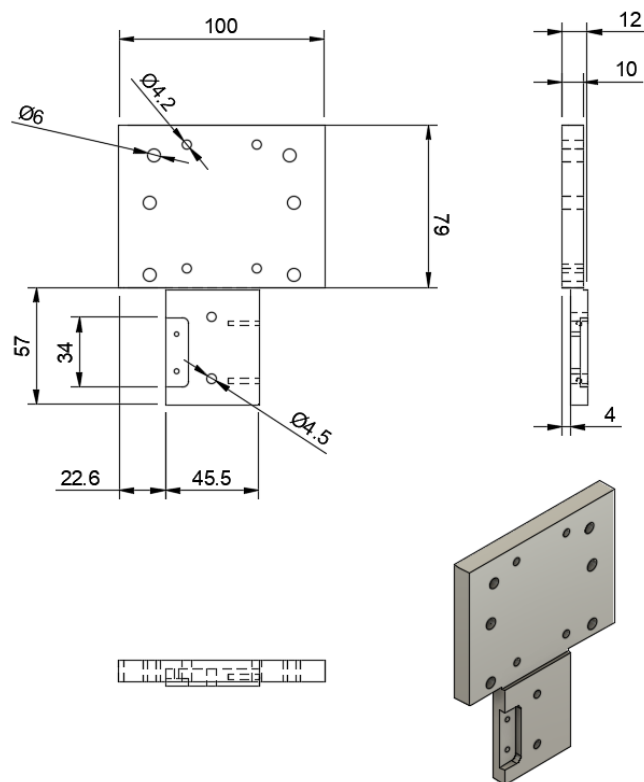


Рисунок 3.4 – Ліва каретка

На рисунку 3.5 наведено праву каретку вісь Х. Вона виготовляється також з дюралюмінію марки Д16 за допомогою фрезерування.

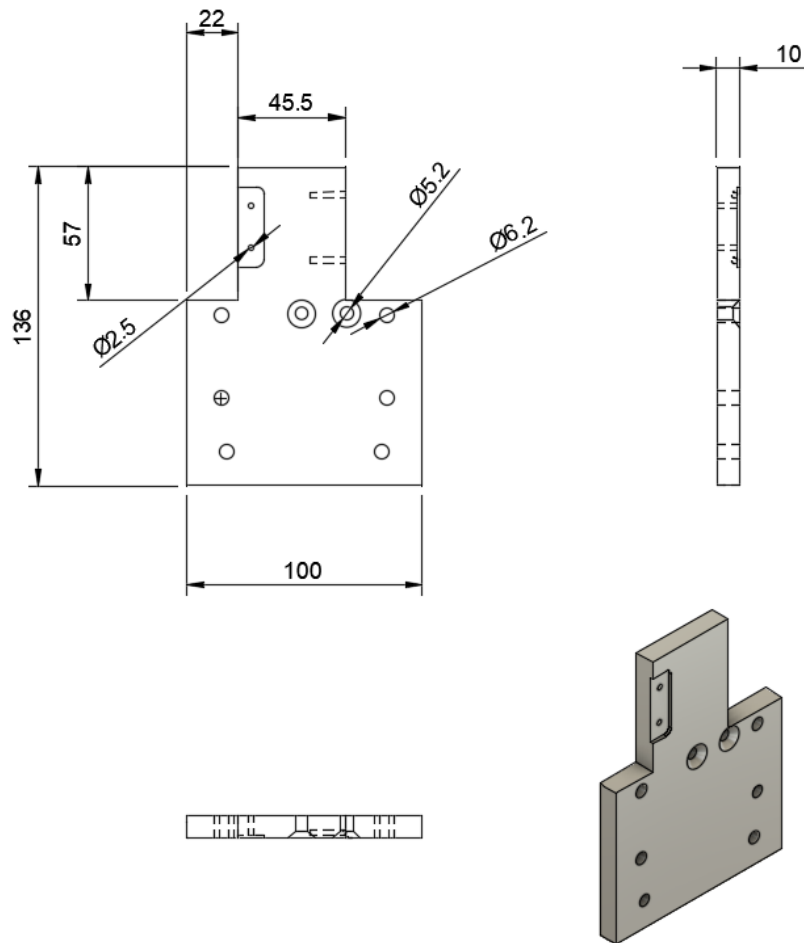


Рисунок 3.5 – Права каретка

Пластина кронштейну крокового двигуна необхідна для фіксації крокового двигуна (рисунок 3.6). Вона виготовляється з дюралюмінію марки Д16 за допомогою фрезерування.

Але пластина кронштейну крокового двигуна не може повністю забезпечити жорсткість конструкції у поперечному напрямку, тому для додаткового підсилення необхідне додаткове ребро жорсткості.

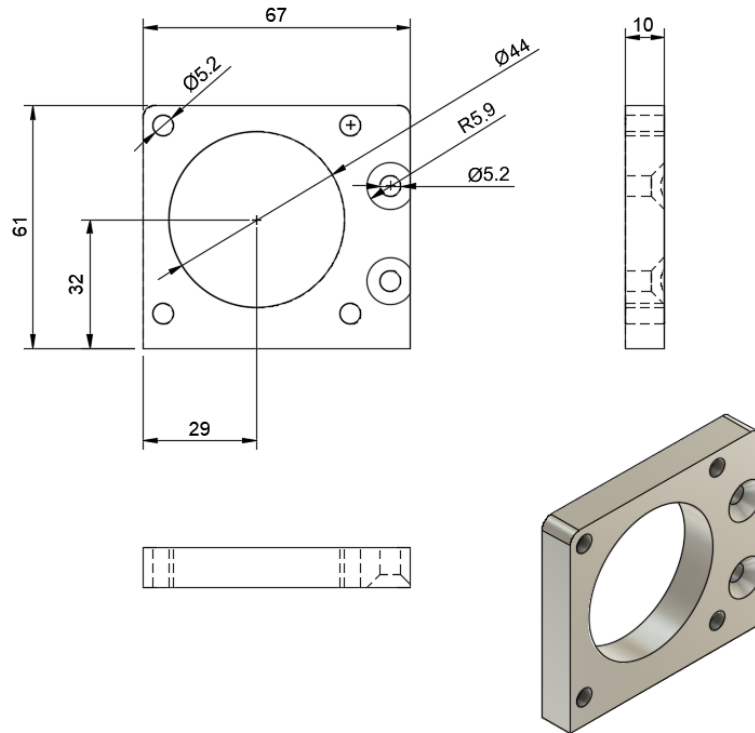


Рисунок 3.6 – Пластина кронштейну крокового двигуна

Ребро жорсткості кронштейну крокового двигуна виготовляється з дюралюмінію марки Д16 за допомогою фрезерування, представлений на рисунку 3.7.

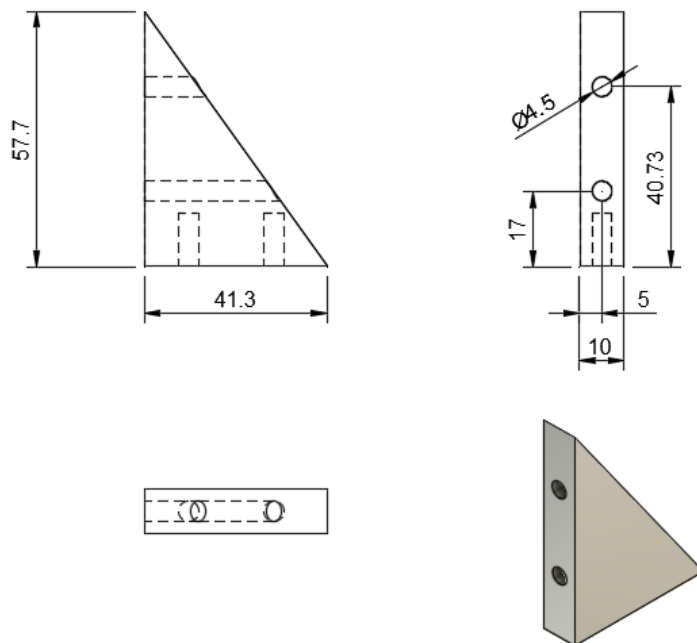


Рисунок 3.7 – Ребро жорсткості кронштейну крокового двигуна

Опора натяжних підшипників фіксується на лівій каретці і використовується для фіксації опозитного шківів, який виготовлено із підшипників. Деталь виготовляється з дюралюмінію марки Д16 за допомогою фрезерування та представлена на рисунку 3.8.

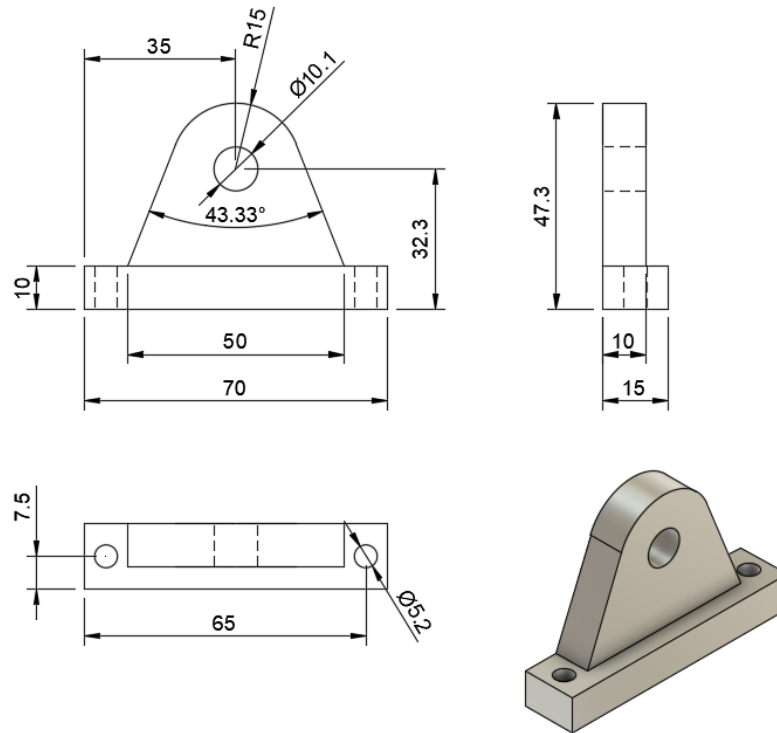


Рисунок 3.8 – Опора натяжних підшипників

Вісь Х, що розроблено, має невелику масу, дозволяє досягати великих швидкостей та прискорень. Загальна маса складає 2652 гр при 997 мм.

3.3 Вісь Y

Зовнішній вигляд вісь Y збоку, наведено на рисунку 3.9. В конструкції використано як стандартні деталі і компоненти, так і ті, що розроблені спеціально для даної конструкції. Зовнішній вигляд осі Y зверху представлено на рисунку 3.10.

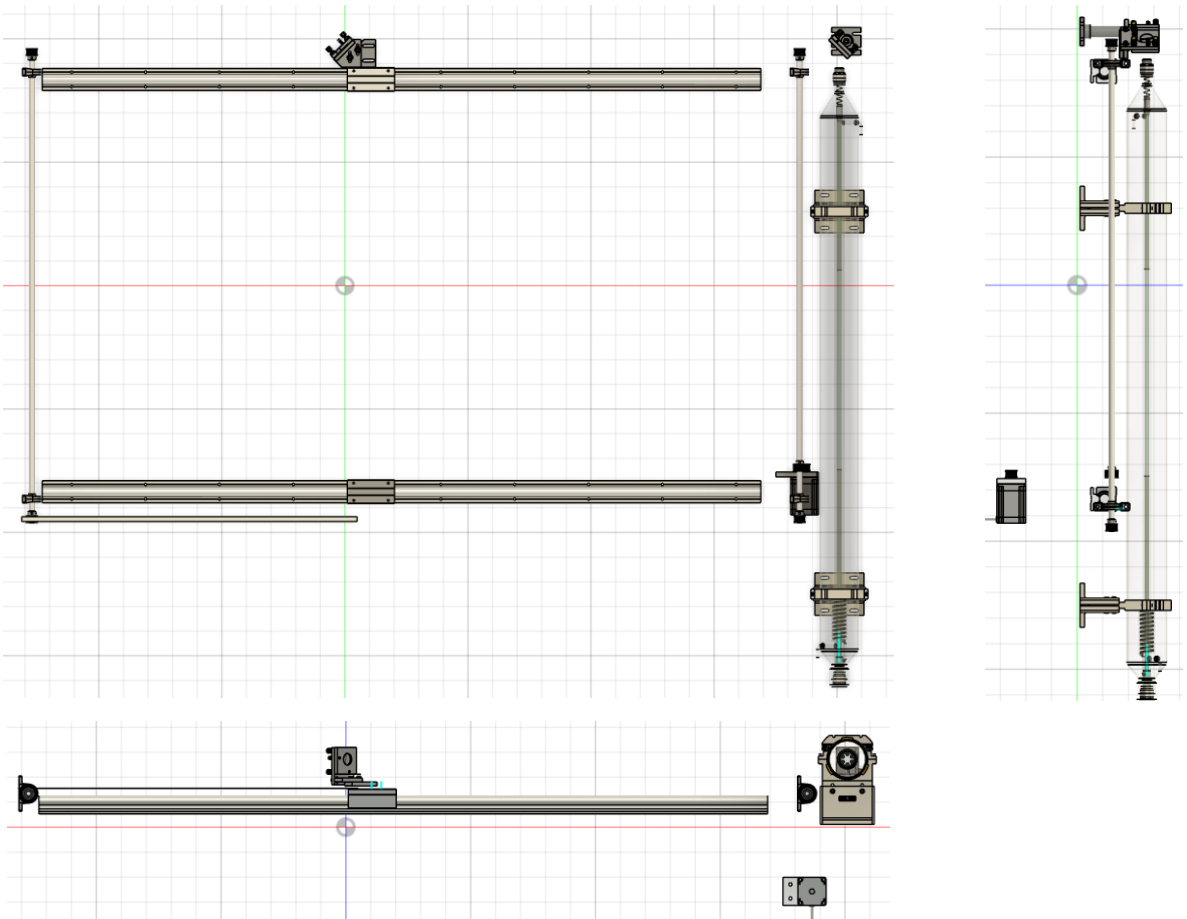


Рисунок 3.9 – Вісь Y лазерного верстата

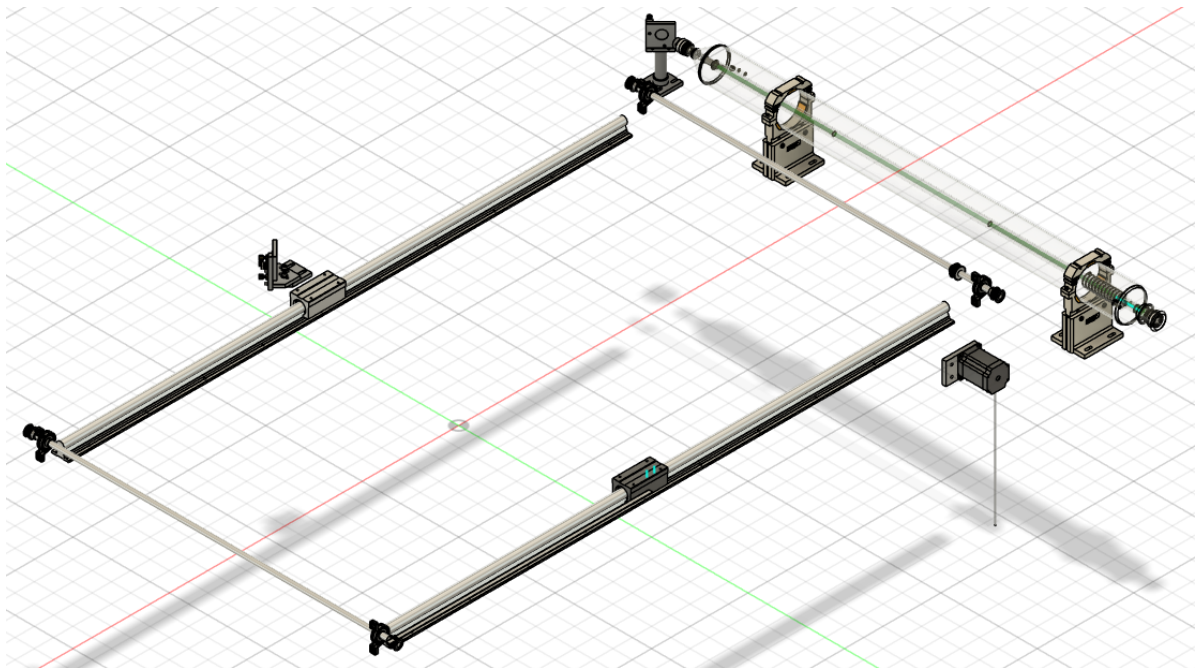


Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд вісь Y

Вісь Y містить наступні стандартні компоненти:

- вал на опорі 20 мм довжиною 1460 мм 2 штуки;
- лінійний підшипник SBR20L 2 штуки;
- вал 10 мм довжиною 960 мм 2 штуки;
- шків GT2_32teeth 5 штук;
- підшипники корпусні KP001_12 4 штуки;
- ремінь GT2 довжиною 3,5 м 2 штуки;
- ремінь GT2 замкнений 150 мм;
- кронштейн нерухомого дзеркала;
- кронштейн рухомого дзеркала.

Нестандартних деталей лише одна – кронштейн крокового двигуна осі Y (рисунок 3.11).

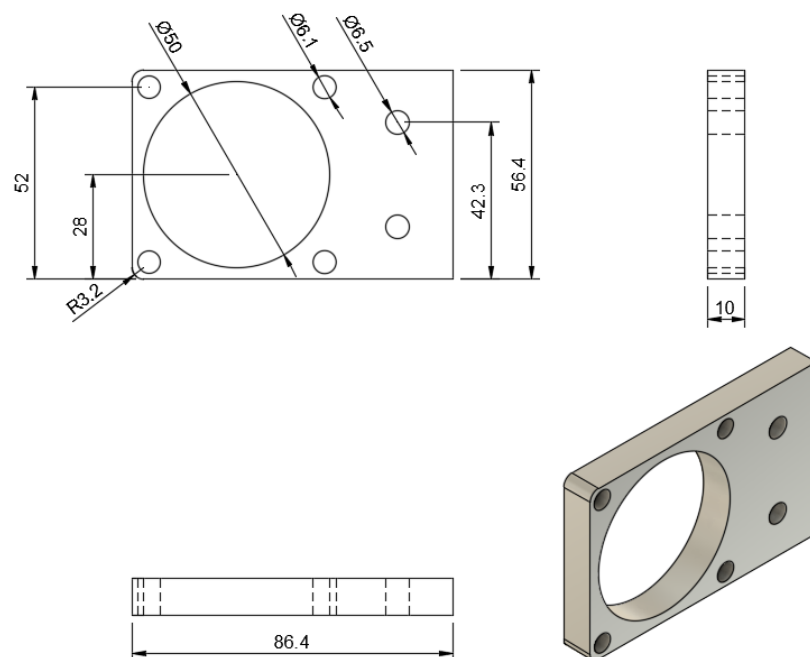


Рисунок 3.11 – Кронштейн крокового двигуна вісь Y

Вісь Y працює наступним чином. Лінійний рух вздовж осі забезпечується валами на опорі і лінійними підшипниками. Вони є набагато дешевшими ніж рейкові направляючі. Маса валів більше, але це не має значення так як вони не є рухливими. Рух забезпечується також кроковим

двигуном NEMA 23 та ремінною передачею на базі ременя GT2. Для синхронізації руху лівої та правої частини вісь Y рух забезпечується одним кроковим двигуном який через замкнений ремінь передає оберти на вал із шківками. Таким чином забезпечується ідеальна синхронізація.

3.4 Вісь Z

Рухома вісь Z, тобто вертикальне переміщення, не завжди використовується у лазерних верстатах. Фокусування на поверхні матеріалів різної товщини дуже часто забезпечується оптично, тобто за допомогою системи лінз. Але у випадку необхідності обробки складних об'єктів необхідне автоматичне регулювання фокусу променю. Одним із варіантів фокусування є рухома система на каретці сопла лазера, але це збільшує вагу і інерційність верстата. Доцільніше забезпечити вертикальне переміщення робочого столу верстата.

Ця ідея реалізована в 3D моделі, що розроблена (рисунок 3.12).

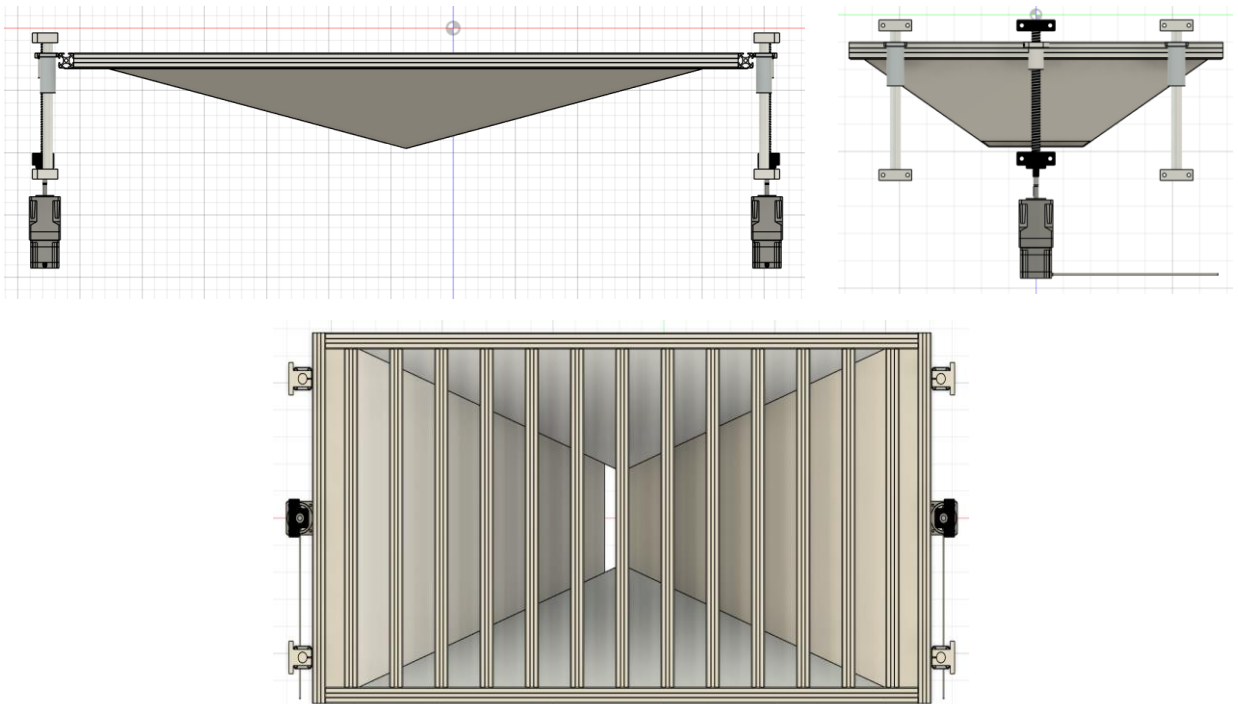


Рисунок 3.12 – Вісь Z лазерного верстата

На рисунку 3.13 представлено зовнішній вигляд вісь Z.

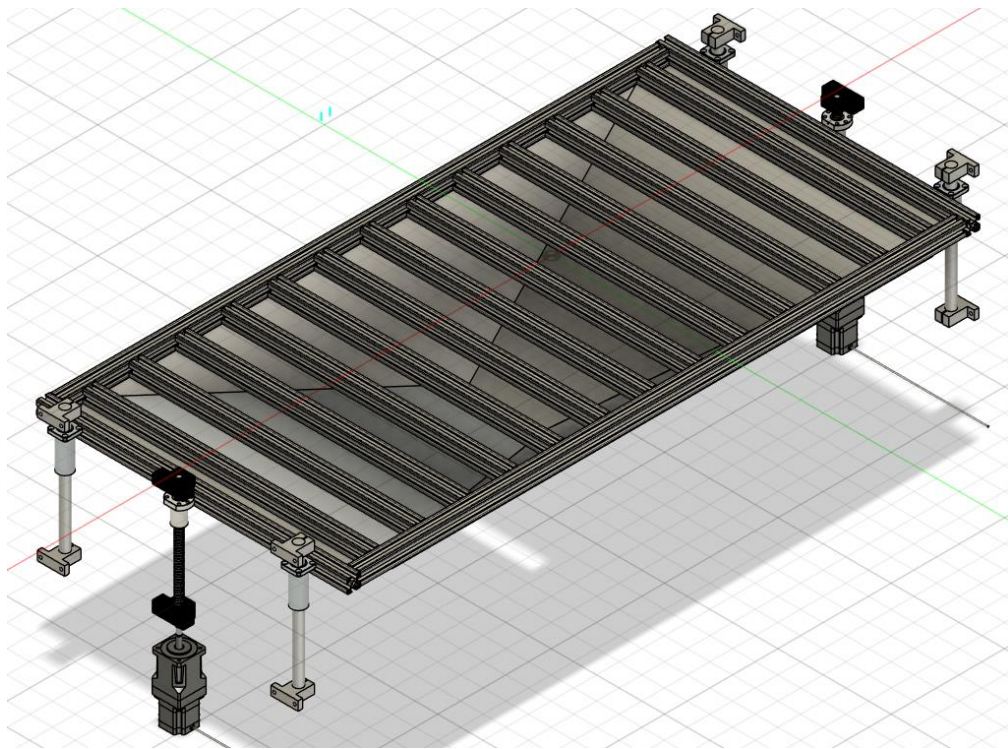


Рисунок 3.14 – Зовнішній вигляд вісь Z

Вісь Z містить наступні стандартні компоненти:

- вал 20 мм довжиною 294 мм 4 штуки;
- підшипники лінійні із фланцем LMK20LUU 4 штуки;
- опора валу SK20 8 штук;
- кульково-гвинтова передача КГП 1605-300 мм 2 штуки;
- нижня опора КГП ЕК12 2 штуки;
- верхня опора КГП ЕФ12 2 штуки;
- алюмінієвий верстатний профіль 30x30 довжиною 1336 мм 2 штуки;
- алюмінієвий верстатний профіль 30x30 довжиною 685 мм 2 штуки;
- алюмінієвий верстатний профіль 30x30 довжиною 625 мм 12 штук.

До нестандартних компонентів відносяться:

- пластина фіксації лінійних підшипників 4 штуки;
- пластини фіксації гайки КГП 2 штуки;
- бічна пластина з отвором піддону;

- бічна пластина піддону;
- фронтальна пластина піддону;
- задня пластина піддону.

На рисунку 3.15 наведено пластину фіксації лінійних підшипників. Вона виготовляється із листової сталі марки Ст3 товщиною 5 мм за допомогою лазерної різки. Пластина з'єднує фланець лінійного підшипника з рамою робочого стола, що виготовлено з алюмінієвого верстатного профілю. З'єднання виконується гвинтами М6 din912 до профілю та М5 din912 до фланцю підшипника.

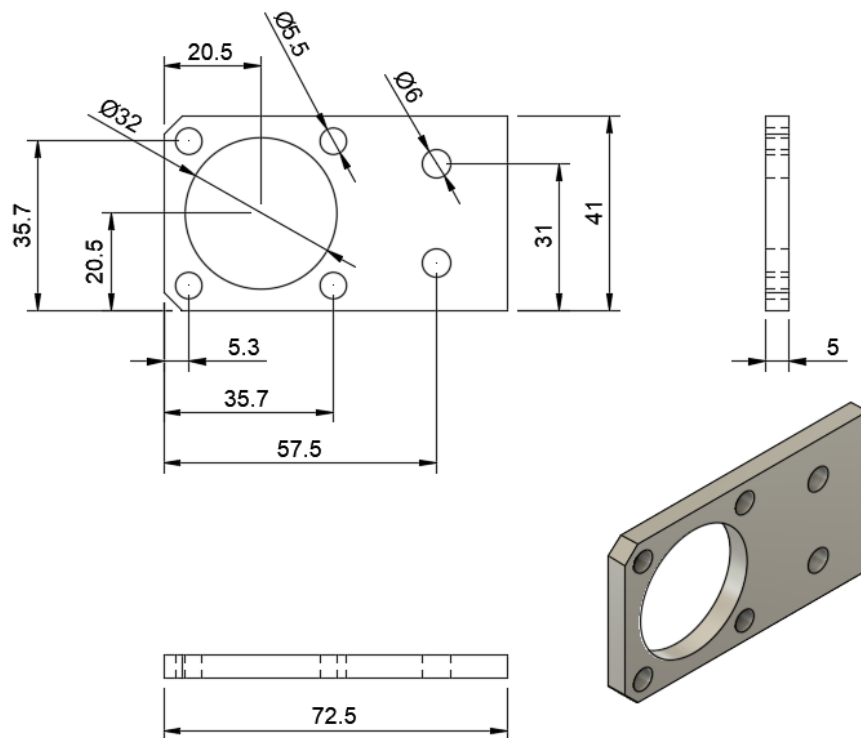


Рисунок 3.15 – Пластина фіксації лінійних підшипників

На рисунку 3.16 наведено пластину фіксації гайки КГП. Вона виготовляється із листової сталі марки Ст3 товщиною 5 мм за допомогою лазерної різки. Пластина з'єднує фланець гайки КГП з рамою робочого стола, що виготовлено з алюмінієвого верстатного профілю. З'єднання виконується гвинтами М6 din912 до профілю та фланцю підшипника.

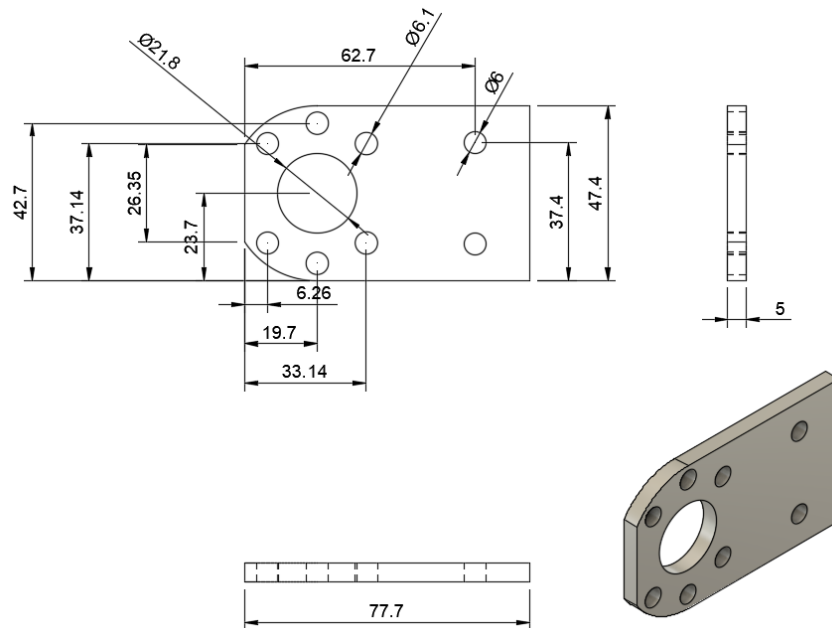


Рисунок 3.16 – Пластина фіксації гайки КГП

Для збору золи та попелу, знизу робочого столу передбачено ємність (рисунок 3.17), що виготовляється з чотирьох деталей з листової сталі товщиною 1,5 мм. З'єднання деталей виконується за допомогою зварювання. В нижній частині піддону передбачено отвір для видалення залишків золи та попелу.

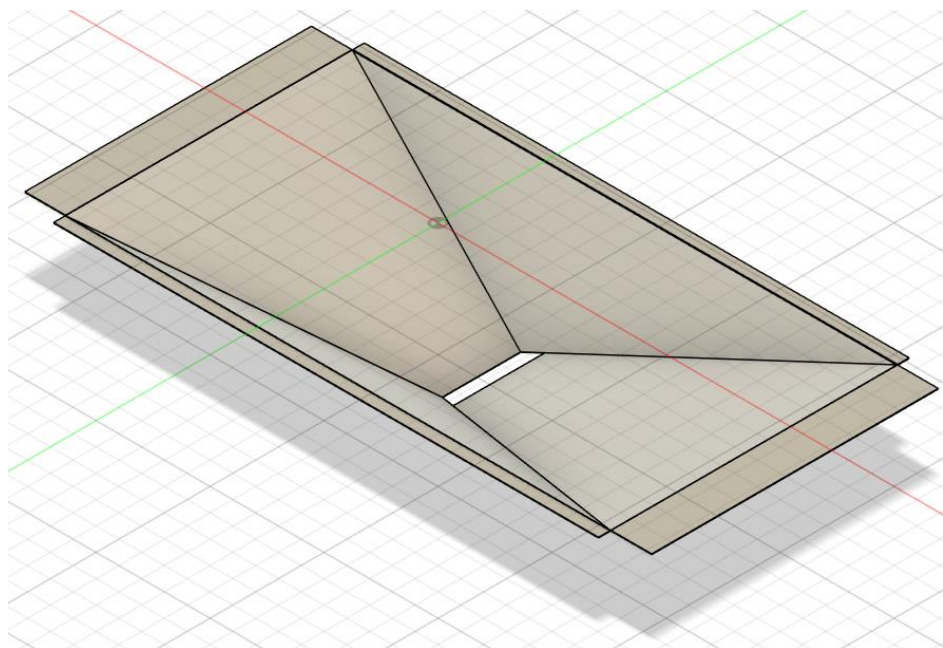


Рисунок 3.17 – Піддон робочого столу

На рисунках 3.18-3.20 наведено ескізи для лазерної різки чотирьох частин піддону: бічна пластина піддону з отвором, бічна пластина піддону, фронтальна пластина піддону, задня пластина піддону. Після лазерної різки виконується листове згинання та подальше зварювання. Фронтальна та задня пластини піддону мають однаковий ескіз, відрізняються напрямом згинання.

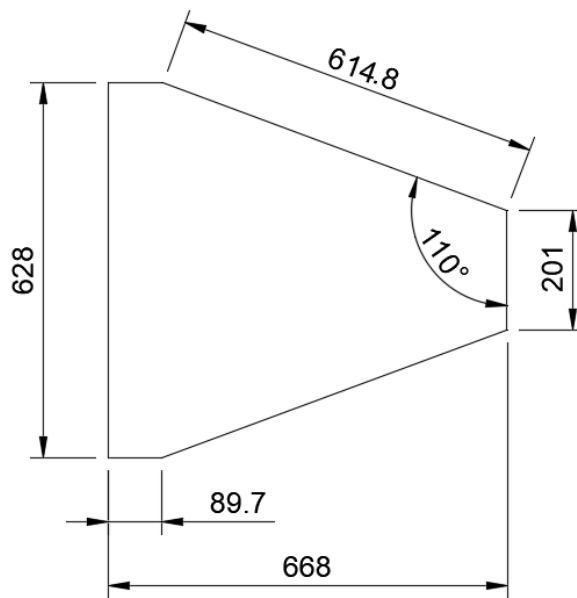


Рисунок 3.18 – Ескіз бічної пластини піддону з отвором

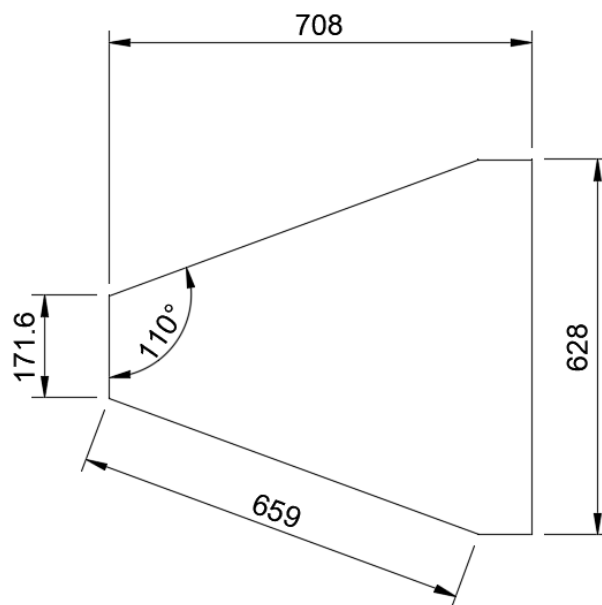


Рисунок 3.19 – Ескіз бічної пластини піддону

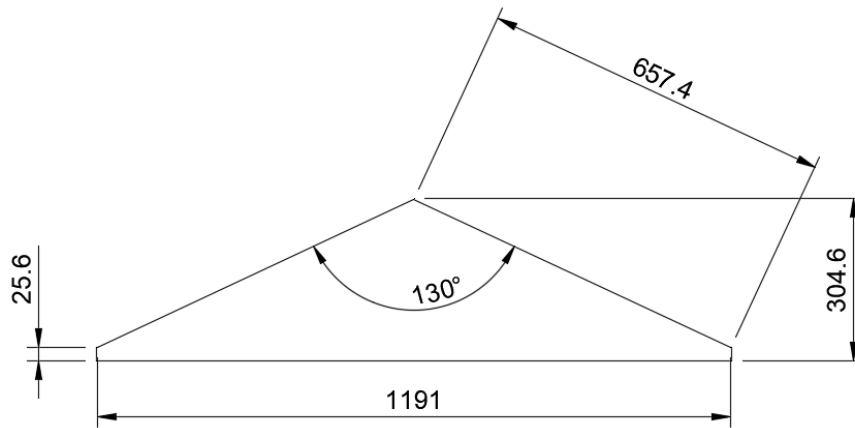


Рисунок 3.20 – Ескіз фронтальної та задньої пластини

Піддон передбачається кріпити до рами робочого столу за допомогою гвинтових з'єднань гвинтами м6 та профільними «сухарями» (tnuts). Отвори передбачається робити вручну при суміщенні столу та піддону тому вони відсутні на ескізах.

У другій частині комплексної теми, що присвячено розробці електронної та програмної частини обрано крокові двигуни NEMA23 планетарним редуктором. Вертикальний рух забезпечується двома кульково-гвинтовими передачами, лінійність переміщення забезпечується валами та лінійними підшипниками.

3.5 Рама

Рама будь якого верстата має забезпечувати кільком критеріям. По-перше вона має бути достатньо міцною і жорсткою. Але інструмент (лазерний промінь) лазерного верстата безпосередньо не взаємодіє із матеріалом як, наприклад у фрезерного верстата. Тому для лазерного ЧПУ верстата міцність і жорсткість мають витримувати лише власні швидкі переміщення рухливих частин і при цьому не мають виникати деформації рами. По-друге, через те що верстат, який розробляється, буде використовуватись у навчальній лабораторії він має бути достатньо легким

для вільного переміщення. По-третє верстат бажано розробити таким чином щоб при його зборці не виникало необхідності у великій кількості зварювальних робіт. Цим критеріям повністю відповідає алюмінієвий верстатний профіль. Саме на базі нього і буде виготовлятися лазерний верстат. Зовнішній вигляд верстата наведено на рисунках 3.21 та 3.22.

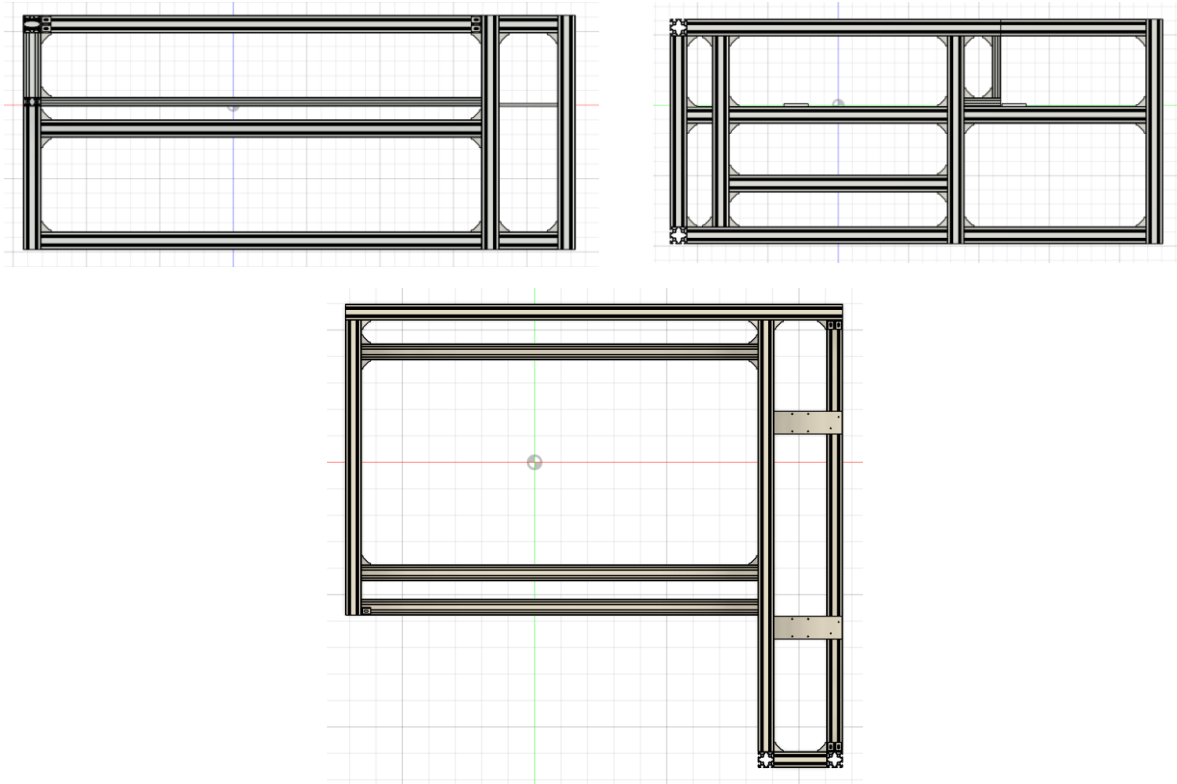


Рисунок 3.21 – Рама лазерного верстата

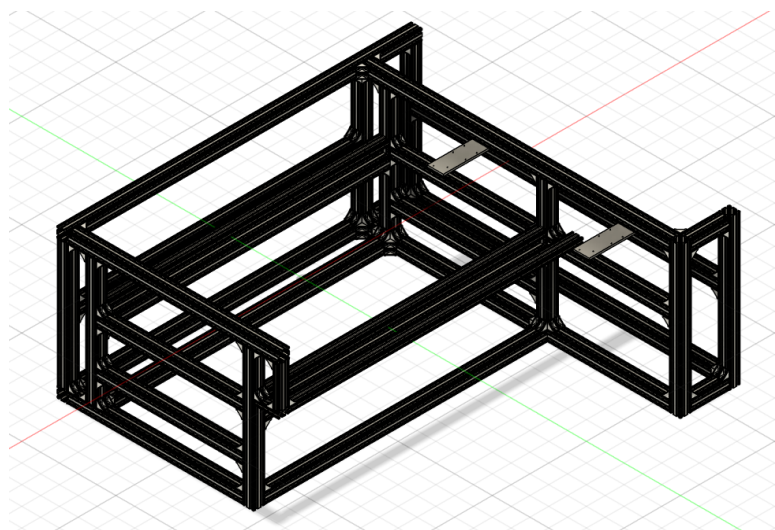


Рисунок 3.22 – Зовнішній вигляд рами лазерного верстата

Раму принтера розроблено таким чином щоб відокремити механічну частину від електричної, в якій має знаходитись лазерна газова трубка. Це дозволить забезпечити її більший захист від рухомих частин принтера, листів матеріалу, що має оброблятися і можливих механічних пошкоджень діями оператора. Відсік для лазерної трубки має збільшений розмір для можливого встановлення трубки більшої потужності, яка зазвичай має більші розміри.

Профілі рами лазерного граверу з'єднуються між собою завдяки стандартним алюмінієвим кутовим з'єднувачам 3030.

Рама складається з наступних стандартних частин:

- алюмінієвий верстатний профіль 60×60 мм довжиною 150 мм 4 шт.;
- алюмінієвий верстатний профіль 60×60 мм довжиною 775 мм 3 шт.;
- алюмінієвий верстатний профіль 60×60 мм довжиною 925 мм;
- алюмінієвий верстатний профіль 60×60 мм довжиною 1115 мм;
- алюмінієвий верстатний профіль 60×60 мм довжиною 1880 мм 2 шт.;
- алюмінієвий верстатний профіль 60×60 мм довжиною 1631 мм 4 шт.;
- алюмінієвий верстатний профіль 60×60 мм довжиною 677 мм 8 шт.;
- алюмінієвий верстатний профіль 60×60 мм довжиною 797 мм 3 шт.;
- алюмінієвий верстатний профіль 60×60 мм довжиною 199 мм 2 шт.;
- алюмінієвий верстатний профіль 30×60 мм довжиною 1500 мм 2 шт.;
- алюмінієвий верстатний профіль 30×60 мм довжиною 1560 мм;
- алюмінієвий верстатний профіль 30×60 мм довжиною 219 мм;
- алюмінієвий верстатний профіль 30×60 мм довжиною 130 мм;
- кутові з'єднувачі 3030, 35 шт.

До нестандартних деталей відносяться пластини для фіксації кріплень лазерної трубки.

Пластина для фіксації кріплень лазерної трубки виготовляється з сталеві пластиною товщиною 5 мм лазерною різкою. Ескіз для лазерної різки наведено на рисунку 3.23.

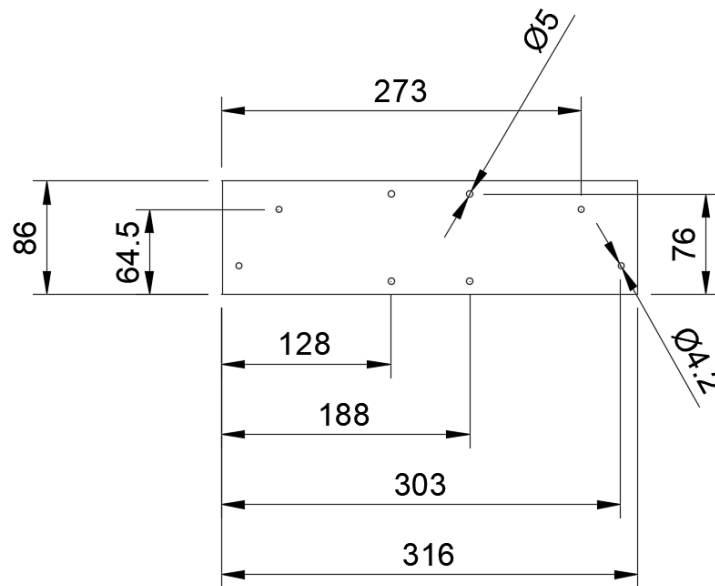


Рисунок 3.23 – Ескіз пластини для фіксації кріплень лазерної трубки

3.6 Облицювання

Як вже згадувалося для роботи лазерних ЧПУ верстатів з статичною газовою трубкою обов'язково необхідне облицювання. Воно по-перше захищає сам верстат від потрапляння бруду та пилю на рухомі елементи верстата. По-друге запобігає потраплянню навколишнього пилю зону різання, та як наслідок розсіяння лазерного променя. І найголовніше для захисту оператора верстата від ураження потужним лазерним променем та захисту його зору від шкідливого ультрафіолетового опромінення.

В розглянутих у першому розділі аналогах для облицювання використовуються різноманітні листові матеріали. У даному проекті вирішено обрати фанеру товщиною 10 мм. Цей вибір обумовлено низькою вартістю та простотою обробки. Товщину фанери обрано для запобігання зовнішніх механічних пошкоджень та збільшення маси верстата, яке необхідне для зменшення вібрацій, що виникають при швидких переміщеннях каретки лазерного сопла та рухомої осі Y.

З'єднання пластин облицювання з рамою верстата виконується гвинтами М5 та профільними «сухарями». Отвори для гвинтів у пластинах

передбачається робити вручну при встановленні пластин тому на зображеннях вони будуть відсутні. Всі пластини передбачається виготовляти вручну за допомогою електричного лобзика.

Облицювання передбачає дві кришки, що відкриваються: кришка основного робочого відсіку та кришка для доступу до лазерної трубки та компонентів електричної частини принтеру. Рухомість кришок забезпечується рояльними петлями. На рисунку 3.24 наведено зовнішній вигляд всіх компонентів облицювання лазерного верстату.

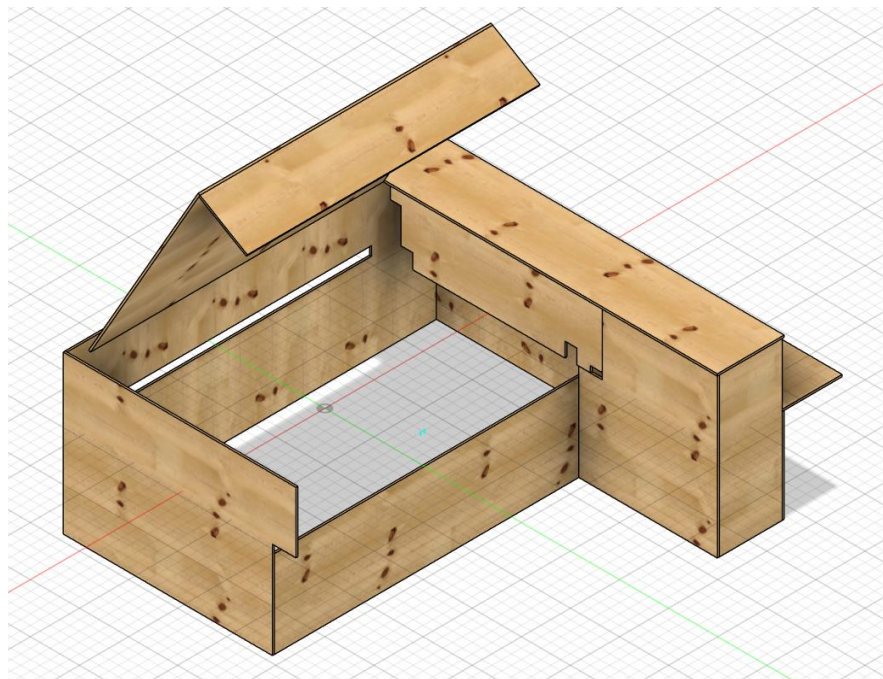


Рисунок 3.24 – Зовнішній вигляд елементів облицювання

Облицювання складається з наступних пластин:

- фронтальна основна пластина;
- ліва бічна пластина;
- задня пластина;
- права пластина;
- права пластина електроніки;
- фронтальна пластина електроніки;
- верхня пластина;
- внутрішня права пластина;

- кришка електроніки;
- верхня частина основної кришки;
- бічна частина основної кришки.

На рисунках 3.25-3.35 представлено ескізи пластин облицювання.

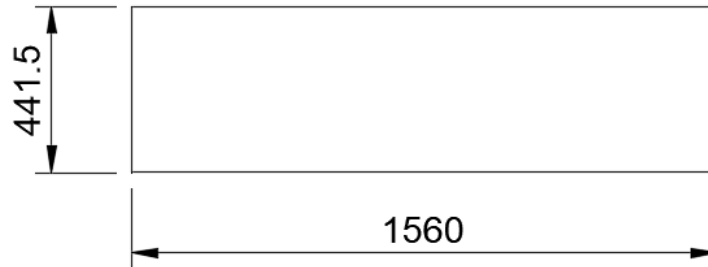


Рисунок 3.25 – Фронтальна основна пластина

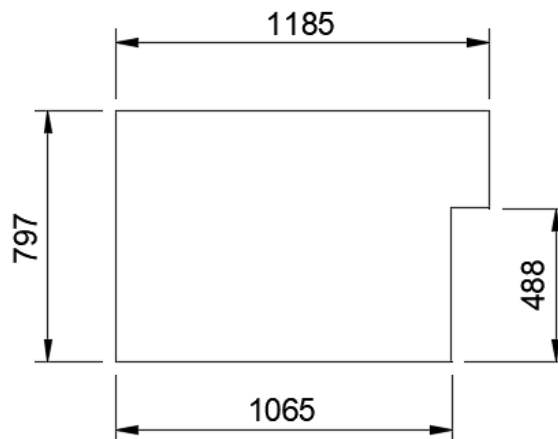


Рисунок 3.26 – Ліва бічна пластина

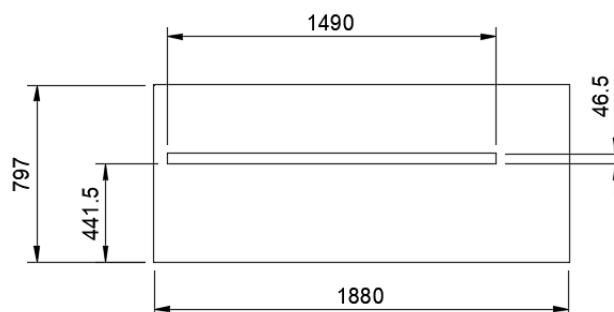


Рисунок 3.27 – Задня пластина

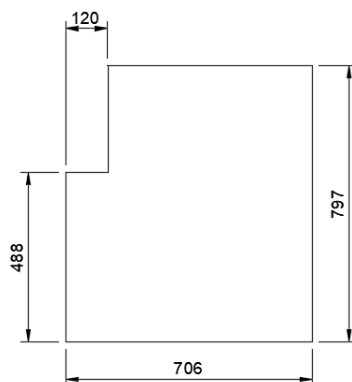


Рисунок 3.28 – Права пластина

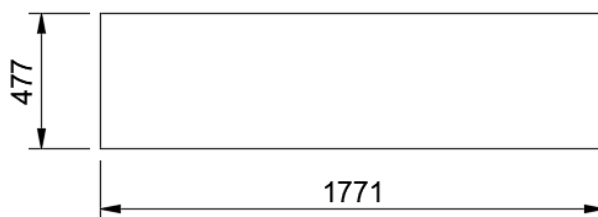


Рисунок 3.29 – Права пластина електроніки

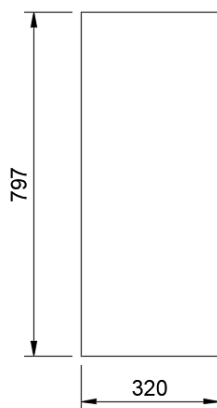


Рисунок 3.30 – Фронтальна пластина електроніки

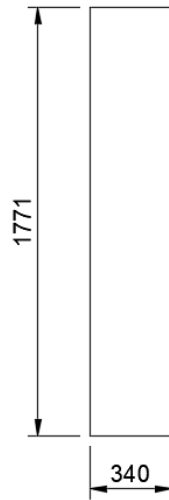


Рисунок 3.31 – Верхня пластина

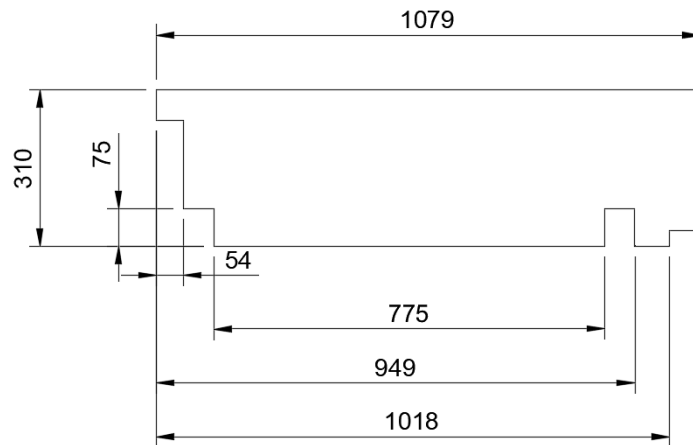


Рисунок 3.32 – Внутрішня права пластина

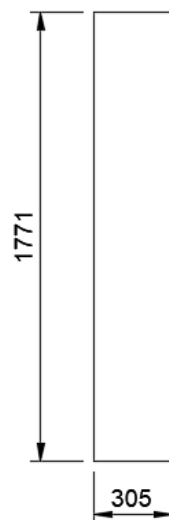


Рисунок 3.33 – Кришка електроніки

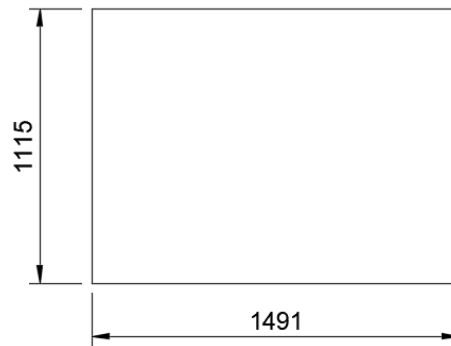


Рисунок 3.34 – Верхня частина основної кришки

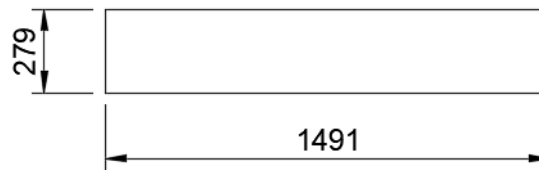


Рисунок 3.35 – Бічна частина основної кришки

Конструкція лазерного ЧПУ граверу є достатньо легкою для зборки в умовах учбової лабораторії. Основні конструкційні елементи – верстатний алюмінієвий профіль поставляється вже порізаним на необхідні частини. Кількість деталей, що виготовляється на лазерних або фрезерних верстатах є невеликою і легко замовляється. Всі збірні операції можна виконати в умовах лабораторії. Загальний вигляд верстата, що розроблено наведено на рисунку 3.36.



Рисунок 3.36 – Загальний вигляд верстата

4 РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ ЛАЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

4.1 Розрахунок точності розробленого лазерного верстату

Згідно більшості джерел [3] геометрична точність верстата з ЧПУ – це точність виконання та розташування його деталей та виявлена шляхом випробування в ненавантаженому стані ступінь відповідності переміщення по напрямних заданих за допомогою комп'ютера координат.

На точність обробки на ЧПУ верстатах впливає велика кількість чинників. Точність відповідності проекту моделі, що виготовляється на ЧПУ-верстаті, залежить від сумарної похибки факторів, що впливають на якість її обробки:

- геометричної точності верстата, виявленої виробником;
- точності роботи системи управління в режимі інтерполяції, наявності та частоти систематичних порушень передачі руху приводами;
- похибки базування та закріплення заготовки;
- точності установки інструменту та робочих елементів верстата у вихідне положення (усувається при тестуванні на пробних ходах);
- жорсткості системи верстат-приспособлення-інструмент-деталь;
- теплових деформацій елементів верстата та матеріалу, з якого виготовляється деталь.

Кінематична точність верстата з ЧПУ залежить від якості виготовлення та стану елементів передач, довжини кінематичних ланцюгів, якості складання вузлів верстата. Щоб підвищити кінематичну точність обладнання, можна використовувати корекційні пристрої з мінімальною власною похибкою, що компенсують помилки вузлів у процесі верстата.

Вживаючи заходів щодо зменшення помилок у кожному з випадків, усуваючи люфти, знижуючи втрати на тертя, зменшуючи теплові деформації

та збільшуючи стійкість до вібрацій, можна суттєво підвищити якість обробки за допомогою верстата з ЧПУ.

Найчастіше точність ЧПУ-верстата – це основний показник, що має важливе значення при виборі обладнання. Однак для оцінки якості його перспективної роботи необхідно враховувати всі вимоги, яким він повинен відповідати з точки зору бюджету, приміщення, де обладнання буде встановлено, використовуваного у виробництві матеріалу та особливостей технології його обробки.

Більшість з цих чинників залежить від якості виготовлення деталей та вузлів, якості зборки та режимів обробки заготовки і на даному етапі спрогнозувати їх достатньо важко. Але на даному етапі можливо розрахувати роздільна здатність верстата. Роздільна здатність позиціонування (дискретність) – величина, що показує, наскільки точно в можливо задати переміщення у системі ЧПУ. Крім того слід окремо розглядати окремо кожен ось верстата. Переміщення вздовж осі X та Y забезпечується ремінною передачею, вздовж осі Z – гвинтовою (КГП).

Роздільна здатність осі X та Y можна розрахувати наступним чином:

$$T_{\text{ЛП}} = \frac{P_p N_{\text{шк}}}{S_{\text{кд}} F_{\text{кд}}}, \quad (4.1)$$

де $T_{\text{ЛП}}$ – точність лінійного переміщення, мм/ крок;

$S_{\text{кд}}$ – кількість кроків на оборот для двигуна;

$F_{\text{кд}}$ – мікрокрок драйверу;

P_p – крок ременя;

$N_{\text{шк}}$ – кількість зубів шківів привода.

У другій підтемі комплексної кваліфікаційної роботи, що присвячено розробці електронної та програмної частини, обрано кроковий двигун та драйвер. Кроковий двигун NEMA23 з двома обмотками має 200 кроків

на 360° , $S_{\text{кд}} = 200$ кроків. Драйвер обрано LV8729, який дає можливість забезпечити кількість мікрокроків 128, таким чином $F_{\text{кд}} = 128$.

При розробці 3D моделі механічної частини обрано ремінь GT2, у якому крок ременю дорівнює $P_p = 2$ мм. Шків по осях X та Y використані із кількістю зубів $N_{\text{шк}} = 32$.

Таким чином роздільна здатність верстата по осях X та Y дорівнює:

$$T_{\text{лп}} = \frac{32 \cdot 2}{200 \cdot 128} = 0,0025 \text{ мм/крок.}$$

Таким чином мінімальне можливе переміщення у горизонтальній площині складає 8,33 мкм на один мікрокрок крокового двигуна, що менше у 10 разів ніж діаметр лазерного променя. Таким чином горизонтальна роздільна здатність не буде погіршувати точність лазерної обробки.

Для розрахунку дозволу нам необхідно знати крок трапецидального гвинта або крок гвинта КГП. Формула для розрахунку виходить наступною, у чисельнику переміщення за оборот, у знаменнику кількість кроків на оборот:

$$T_{\text{лп}} = \frac{P_g}{S_{\text{кд}} F_{\text{кд}}}, \quad (4.2)$$

де $S_{\text{кд}}$ – кількість кроків на оборот для двигуна;

$F_{\text{кд}}$ – мікрокрок драйверу;

P_g – крок гвинта з урахування кількості заходів.

Для осі Z обрано кроковий двигун NEMA23 з планетарним редуктором 1:3. NEMA23 з двома обмотками мають 200 кроків на 360° , але через використання планетарного редуктора значення $S_{\text{кд}}$ становить 600 кроків. Драйвер обрано той самий – LV8729. Обрана КГП має крок 4 мм. Таким чином роздільна здатність дорівнює:

$$T_{\text{пл}} = \frac{4}{600 * 128} = 0,5 * 10^{-6} \text{мм/крок}$$

Роздільна здатність переміщення у вертикальному напрямку дорівнює $T_{\text{пл}} = 0,5$ мкм/крок.

Таким чином розроблена модель повністю відповідає необхідній точності верстата і основний вплив на точність будуть мати точність виготовлення деталей та компонентів та якість зборки.

4.2 Охорона праці

Основним документом, що регламентує роботу із лазерними верстатами є Державний стандарт України ДСТУ 3941-2000 [14]. Згідно до цього стандарту визначаються наступні небезпечні та шкідливі чинники лазерної обробки:

- дійове лазерне випромінювання, лазерне випромінювання, яке діє повністю чи частково на око чи очі та (чи) шкіру протягом певного часу;
- пряме лазерне випромінювання, лазерне випромінювання, що виходить через апертуру лазера та поширюється в напрямку, визначеному оптичною системою лазера;
- розсіяне лазерне випромінювання, лазерне випромінювання, розсіяне від речовини, що міститься в середовищі, крізь яке проходить випромінювання;
- дифузно відбите лазерне випромінювання, лазерне випромінювання, відбите від поверхні з неоднорідностями, сумірними з довжиною хвилі, у всіх напрямках в межах напівсфери;
- дзеркально відбите лазерне випромінювання, лазерне випромінювання, відбите під кутом, що дорівнює куту падіння випромінювання;
- підвищений рівень (лазерного) випромінювання; ПРВ, такий рівень лазерного випромінювання, енергетичні параметри якого перевищують

гранично допустимі значення, що порушує нормальну життє-діяльність організму людин;

- підвищений рівень ультрафіолетового випромінення; підвищений рівень УФ-радіації, електромагнітне випромінення в робочій зоні від імпульсних ламп накачки чи кварцових газорозрядних трубок з можливим утворенням озону;

- підвищений рівень інфрачервоного випромінення; підвищений рівень ІЧ-випромінення, електромагнітне випромінення ІЧ-області оптичного діапазону від ламп розжарювання та ртутних ламп високого тиску;

- підвищений рівень електромагнітного випромінення, електромагнітне випромінення ВЧ- та НВЧ-діапазонів в робочій зоні;

- підвищений рівень напруги, напруга в колах керування та джерелах електроживлення лазерів;

- підвищена забрудненість повітря, запиленість та загазованість повітря робочої зони продуктами взаємодії лазерного випромінення з мішенню та радіолізу повітря (озон, окисли азоту і т.ін.);

- підвищена яскравість світла, яскравість світла від імпульсних ламп накачки і зони взаємодії лазерного випромінення з речовиною мішені.

Існують наступні засоби та заходи захисту:

- захисна блоківка, автоматичний пристрій, пов'язаний із захисним корпусом лазерного виробу, що слугує для запобігання доступу людини до лазерного випромінення виробів класу 3 чи класу 4, якщо частина корпусу видалена;

- захисна блоківка за несправності, блоківка, яка в режимі несправності продовжує виконувати свою функцію, тобто обов'язково переводить виріб в положення «вимкнено», як тільки починають відкривати шарнірний кожух чи перед видаленням знімного кожуха, і обов'язково утримує виріб в цьому положенні доти, поки шарнірний кожух не буде закрито чи знімний кожух не буде встановлено на місце;

– захисний корпус, частини лазерного виробу (зокрема виробу, що містять вбудовані лазери), призначені для запобігання доступу людини до лазерного випромінення в разі перевищення передбаченої ДМВ. Примітка. Захисний корпус зазвичай встановлює виробник;

– запобіжний пристрій, пристрій для ліквідації небезпечного виробничого чинника в джерелі його виникнення. Примітка. За конструктивним виконанням запобіжні пристрої поділяють на: оптичні пристрої для візуального спостереження та юстирування з вбудованими світлофільтрами, юстировальні лазери, телеметричні і телевізійні системи спостереження, індикаторні пристрої;

– пристрій автоматичного контролю гита сигналізації, пристрій для контролю, передавання та відтворення (світлової, колірної, звукової та ін.) інформації щоб привернути увагу працівників та спонукати їх до рішення в разі появи чи можливого виникнення небезпечного виробничого чинника. Примітка. За призначенням пристрої автоматичного контролю і сигналізації поділяють на інформаційні, попереджувальні, аварійні та відповідні;

– спонукати їх до рішення в разі появи чи можливого виникнення небезпечного виробничого чинника. Примітка. За призначенням пристрої автоматичного контролю і сигналізації поділяють на інформаційні, попереджувальні, аварійні та відповідні;

– захисний пристрій, пристрій захисту, встановлюваний між небезпечним виробничим чинником і робітником. Примітка. За конструктивним виконанням захисні пристрої поділяють на бленди, діафрагми, заглушки, затвори, кожухи, козирки, ковпаки, кришки, камери, кабінки, мішені, обтюратори, переділки, світловоди, оглядові вікна, ширми, щитки, шторки, щити, штори, екрани;

– символи попередження про безпеку, знаки для попередження робітників про можливу безпеку, про необхідність використання

відповідних засобів захисту, а також для дозволу чи заборони певних дій працівників;

- захисні профілактичні заходи, заходи і засоби щодо убезпечення працівників;

- вимірювальний послаблювач лазерного випромінення, пристрій для зменшення енергії чи потужності лазерного випромінення у певну кількість разів із заданою похибкою. Примітка. Як послаблювачі можуть використовуватися переривники (обтюратори), розширники, відгалужувачі, поглиначі, розсіювачі;

- дистанційна блоківка, блоківка, за якої зовнішні пристрої керування розташовано віддалік від інших вузлів лазера (лазерного виробу);

- допустиме розміщення, таке розміщення лазерної системи, за якого лазерне випромінення допустиме за будь-яких гаданих обставин (у передбачуваних випадках);

- аварійний вимикач лазера, пристрій з ручним чи ножним приводом, призначений для негайного вимкнення лазера у випадку аварійної ситуації;

- захисний фільтр оператора, рухомий чи фіксований фільтр для запобігання потрапленню на оператора випромінення, що перевищує ДМВ класу 1;

- заходи убезпечення від лазерного випромінення, заходи, спрямовані на запобігання дії лазерного випромінення на людину;

- убезпечена від несправності конструкція, спеціальна конструкція, за якої несправність вузла не збільшує небезпеки. У режимі несправності система перестає працювати або стає безпечною [14].

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи проведено аналіз технічного завдання. Проведено аналіз стандартних типорозмірів матеріалів, що планується обробляти на лазерному верстаті та обрано розмір робочої області лазерного граверу: 1220 x 610 мм.

Проведено аналіз аналогічних конструкцій та кінематичних схем лазерних ЧПУ верстатів. Обрано тип лазерного верстату з нерухомим лазерним модулем (газовою трубкою CO₂). Проведено аналіз особливостей гравіювання растрових та векторних зображень. Запропоновано власну компоновку лазерного верстату з більш короткою рухомою віссю X, що дозволить збільшити швидкість та прискорення при гравіювання векторних зображень.

Проведено аналіз найбільш поширених конструкційних матеріалів, що використовуються при виготовленні ЧПУ верстатів. Обрано алюмінієвий верстатний профіль.

Розроблено та описано 3D модель лазерного граверу, що розроблено, який складається з п'ятих умовних частин: ось X, ось Y, ось Z, рама, облицювання. Розробку моделі виконано у CAD системі Fusion360.

Проведено розрахунок роздільної здатності переміщення лазерного верстата вздовж трьох осей.

У розділі присвяченому охороні праці розглянуто шкідливі фактори лазерної обробки та засоби захисту при роботі з лазерними верстатами.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.

2. Невлюдов І.Ш. Навчальний посібник з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» : Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, О. І. Филипенко, О. В. Токарева, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2023 . – 150 с.

3. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипенко, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2023. 64 с.

4. Афанасьєва О.В., Лалазарова Н.О. Лазерна поверхнева обробка матеріалів: монографія. Харків : ФОП Панов А.М., 2020. 100 с.

5. Інтегровані технології обробки матеріалів: підручник / Е.С. Геворкян та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2019. 238 с.

6. Пупань Л.І. Лазерні технології у машинобудуванні : навч. посібник. Харків: НТУ «ХП», 2020. 109 с.

7. Лазерний станок MТech L1006 // MТechUkraine, 2024. URL: <https://mtech.com.ua/product/lazernyj-standok-mtech-l690/> (дата звернення: 20.04.2024).

8. Лазерна гравірувальна машина з робочою зоною 24 X 40 дюймів і автофокусом // OmTech, 2024. URL: <https://omtechlaser.com/products/100w->

co2-laser-engraver-cutter-usb-1060-us?variant=40714616307777 (дата звернення: 21.04.2024).

9. Великий лазерний різак // GrabCADCommunity, 2024. URL: <https://grabcad.com/library/large-laser-cutter-1> (дата звернення: 22.04.2024).

10. Лазерний різак // GrabCADCommunity, 2024. URL: <https://grabcad.com/library/laser-cutter-19> (дата звернення: 22.04.2024).

11. Лазерний різак 2000X1000_100W // GrabCADCommunity, 2024. URL: https://grabcad.com/library/lasercutter-2000x1000_100w-1 (дата звернення: 22.04.2024).

12. Що таке растова та векторна графіка, у чому різниця // DEVEducation, 2024. URL: <https://deveducation.com/blog/rastrovaya-i-vektornaya-grafika-v-chem-otlichiya/> (дата звернення: 05.05.2024).

13. Каштанов, С., Демчук, Г., Татарин, Р., & Ситницький, А. (2022). Сучасні вимоги безпеки при застосуванні лазерних технологій. Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки, 74-79.