

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Юрій КИРИЧУК
«__» _____ 2023 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології
проектування приладів»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Автоматизована система керування процесом лазерного різання і
гравірування»**

Виконав: Студент IV курсу, групи ПМ-91
Земляков Олександр Ігорович _____

Керівник:
к.т.н., доцент
Нікітін Олександр Костянтинович _____

Рецензент:
к.т.н., доцент
Козир Олег Васильович _____

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

Київ – 2023 рік

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ	Пояснювальна записка	73	
3	A3	ДПБ.ПМ-91.06.1720.03.СхС	Схема структурна	1	
4	A3	ДПБ.ПМ-91.06.1720.04.СхС	Схема структурна	1	
5	A1	ДПБ.ПМ-91.06.1720.05.СхФ	Схема функціональна	1	
6	A3	ДПБ.ПМ-91.06.1720.06	Кресленик деталі	1	
7	A3	ДПБ.ПМ-91.06.1720.07	Електромонтажна схема	1	

				ДП ПМ-91.06.1720.ВДП		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Земляков О.І.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Нікітін О.К.				1	1
Н/контр.					НТУУ «КПІ» Каф АСНК гр. ПМ-91	
Зав.кафедри	Киричук Ю.В.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: Автоматизована система керування процесом лазерного
різання і гравірування

Київ - 2023

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування приладів»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)
«___» _____ 2023р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Землякова Олександра Ігоровича

1. Тема проекту «Автоматизована система керування процесом лазерного гравірування і різання», керівник проекту Нікітін Олександр Костянтинівич к.т.н. затвердженні наказом по університету 30 травня 2023 р. № 2057-с.
2. Строк подання студентом проекту 10.06.2023.
3. Вихідні дні проекту:
 - тип лазера: CO₂;
 - потужність лазера: P = 100 Вт;
 - товщина різку: 0,76 мм.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:
 - Розділ 1 Аналіз сучасних автоматизованих систем керування лазерами
 - Розділ 2 Аналіз параметрів системи керування лазерними верстатами з АСК
 - Розділ 3 Розрахунок елементів системи керування лазерного верстата
 - Розділ 4 Розрахунок параметрів обладнання лазерного верстата
5. Перелік графічних матеріалів (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):
 - структурна схема АСК;
 - функціональна схема АСК;

- структурна схема блока живлення лазерного верстата;
- кресленик двигуна привода верстата;
- електромонтажна схема живлення верстата з АСК.

6. Дата видачі завдання 20.02.2023.

Кдальендарний план

№ З/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
	1 розділ роботи	До 15.03.2023р.	
	2 розділ роботи	До 10.04.2023р.	
	3 розділ роботи	До 01.05.2023р.	
	4 розділ роботи	До 20.05.2023р.	
	Оформлення пояснювальної записки	До 05.06.2023р.	
	Підготовка графічного матеріалу	До 09.06.2023р	

Студент _____

Земляков О.І.

Керівник проєкту _____

к.т.н., доц. Нікітін О.К.

Анотація

Дипломний проєкт складається із анотації, вступу, аналітичного огляду, аналізу параметрів, розрахунку елементів системи керування, розрахунку параметрів обладнання та висновків.

Загальний об'єм пояснювальної записки становить 73 сторінки, включає: 22 ілюстрацій, 10 таблиць, 5 креслеників, 41 посилання та 33 формули.

Тема дипломного проєкту пов'язана з дослідженням автоматизованої системи керування (АСК) роботи лазерних верстатів та розрахунку елементів системи керування і параметрів обладнання лазерного верстата. Автоматизована система керування верстатом об'єднує в собі сукупність спеціалізованих пристроїв, методів та засобів, необхідних для реалізації автоматизованої системи керування (АСК). Система АСК характеризується здебільшого програмуванням циклу, режимів обробки та траєкторій переміщення робочих органів верстата. При цьому уся необхідна інформація подається у вигляді послідовності букв та чисел, нанесених у закодованому вигляді (алфавітно-цифровому коді) на програмоносій.

Технологія керування є важливою сферою, яка пов'язана з розробкою та впровадженням засобів керування машиною чи системами всіх видів. У сучасній системі такий контроль зазвичай здійснюється за допомогою численних датчиків та виконавчих механізмів. Зазвичай він має центральний блок управління, в якому збирається вся інформація і з якого контролюються різні фактори.

Автоматизація вплинула як на всі аспекти нашого суспільства, так і на майбутнє промислової автоматизації. Інтеграція штучного інтелекту у промислову автоматизацію означає, що виробничі системи можуть розпізнавати, аналізувати та приймати рішення самостійно, а інвертори забезпечують важливий зв'язок між системою управління та виконавчими механізмами.

Ключові слова: лазер, обладнання, процес, різання, градування, автоматизована система керування.

Annotation

The diploma project consists of an annotation, introduction, analytical review, analysis of parameters, calculation of control system elements, calculation of equipment parameters and conclusions.

The total volume of the explanatory note is 73 pages, includes: 22 illustrations, 10 tables, 5 drawings, 41 references and 33 formulas.

The topic of the diploma project is related to the study of the automated control system (ACS) of the operation of laser machines and the calculation of the elements of the control system and the parameters of the laser machine equipment. The automated machine control system combines a set of specialized devices, methods and tools necessary for the implementation of an automated control system (ACS). The ASK system is mainly characterized by cycle programming, processing modes and trajectories of movement of the machine's working bodies. At the same time, all the necessary information is provided in the form of a sequence of letters and numbers printed in a coded form (alphanumeric code) on the software carrier.

Control technology is an important field that deals with the development and implementation of machine or system controls of all kinds. In a modern system, such control is usually carried out with the help of numerous sensors and actuators. It usually has a central control unit in which all information is collected and from which various factors are controlled.

Automation has affected all aspects of our society as well as the future of industrial automation. The integration of artificial intelligence into industrial automation means that production systems can recognize, analyze and make decisions on their own, and inverters provide the critical link between the control system and the actuators.

Key words: laser, equipment, process, cutting, grading, automated control system.

Зміст

Перелік умовних позначень, символів і скорочень	9
Вступ	10
Розділ 1 Аналіз сучасних автоматизованих систем керування процесом лазерної обробки матеріалів	12
1.1 Верстати з автоматизованими системами керування.....	12
1.2 Лазери: принцип роботи, типи та особливості	17
1.3 Типи лазерних верстатів та сфери їх застосування.	25
Розділ 2 Аналіз параметрів системи керування лазерними верстатами з АСК	30
2.1 Характеристика параметрів лазерного різання та гравірування	30
2.2 Блок керування процесом лазерного різання і гравірування	37
Розділ 3 Розрахунок елементів системи керування лазерного верстата	42
3.1 Розрахунок елементів привода	42
3.2 Розрахунок параметрів головки лазера.....	48
3.3 Розрахунок параметрів блоку керування.....	53
Розділ 4 Розрахунок параметрів обладнання лазерного верстата	60
4.1 Розрахунок швидкості різання.....	60
4.2 Розрахунок глибини різання.	67
Загальні висновки	72
Перелік посилань	74

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Земляков О. І.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Нікітін О. К.			8	72	
Н. Контр.					<i>ПБФ, ПМ-91</i>		
Затверд.		Нікітін О. К.			<i>Автоматизована система керування процесом лазерного різання і гравірування</i>		

Перелік умовних позначень, символів і скорочень

ACK	-	Автоматизована система керування
NC	-	Numerical control
HNC	-	Hand NC
TNC	-	Total NC
VNC	-	Voice NC
SNC	-	Speicher NC
MNC	-	Memory NC
CNC	-	Computer NC
DNC	-	Direct NC
$n_{дв}$	-	Швидкість для передачі гвинт-гайки
$J'_{мех}$	-	Приведений до валу двигуна момент інерції поступально виконавчого елемента лазерної установки
J'_b	-	Приведений момент інерції ходового гвинта до валу двигуна
J'_Σ	-	Приведений до валу двигуна сумарний момент інерції механічної системи приводу
ε	-	Емпіричний коефіцієнт
$C_{опт}$	-	Коефіцієнт оптимального положення площини аберації
ϑ	-	Коефіцієнт аберації
$F_{опт}$	-	Оптимальна фокусна відстань
r_1	-	Радіус кривизни першої сторони лінзи
r_2	-	Радіус кривизни другої сторони лінзи
d_{min}	-	Мінімальний діаметр лінзи
V_p	-	Швидкості різання
D	-	Питому енергію різання
S	-	Площа місця прорізання
H	-	Глибини різання
C_p	-	Питома теплоємність оброблюваного матеріалу

Вступ

За останні півстоліття до 2023 року у світі відбулася технологічна революція, яку іноді не помічають. Це період, коли провідні розробники та виробники промислових верстатів були в авангарді промислових інновацій та змін. Торкнулися дані інновації і сфери обробки матеріалів, зокрема розвитку технології лазерного різання та гравірування.

Актуальність даної роботи полягає в тому, що розвиток науки та техніки, обмеженість ресурсів, пошук оптимальних енергоощадних технологій вимагають постійного процесу удосконалення існуючих технологій. Великий потенціал у збільшенні продуктивності лазерних верстатів закладений у вдосконаленні їх автоматизованої системи керування. Що, у свою чергу, вимагає ретельного дослідження існуючих технологій, вивчення складових елементів та параметрів, які впливають на технічні характеристики лазерних верстатів.

Мета дипломного проекту – розробка та розрахунок елементів та параметрів автоматизованої системи керування лазерного різання та гравірування.

Завдання дипломної роботи: провести теоретичний аналіз сучасних автоматизованих систем керування лазерами, провести аналіз існуючих параметрів системи керування лазерними верстатами, здійснити розрахунок елементів системи керування лазерного верстата (розрахунок елементів привода, лазерної головки, параметрів блоку керування), розрахувати параметри обладнання лазерного верстата (швидкості різання та глибини різі).

У першому розділі дипломної роботи досліджено історію виникнення та створення лазерних верстатів, види лазерів, їх вигляд та технічні характеристики, типи лазерних верстатів та сфери їх застосування.

У другому розділі досліджено та визначено основні параметри лазерного різання та гравірування, розкрито зміст блоку керування процесом лазерного різання та гравірування.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У третьому розділі здійснено розрахунок елементів привода, параметрів головки лазера та параметрів блоку управління. Отримані данні згруповано в таблиці та дана їм відповідна оцінка.

У четвертому розділі розраховано за відповідними параметрами швидкість різання та глибину різі, отримані результати занесено в таблиці та побудовані відповідні графіки, яким дана оцінка та сформовані висновки.

Отримані результати дослідження дозволяють стверджувати, що з точки зору сьогодення лазерне різання при обробці різних матеріалів стало незамінним у промисловості. Але лазерне різання - це складний процес з великою кількістю фізичних параметрів і налаштувань. Перш ніж лазер зможе різати будь-який матеріал, потрібна велика кількість складних процесів налаштування та регулювання. У цьому питанні ми дослідимо низку важливих параметрів лазерного різачка, щоб зрозуміти, що без відповідної автоматизації лазерний різальний інструмент навряд чи можна було б використовувати в промислових умовах для якісної обробки матеріалів. У системах лазерного різання використовується різноманітна автоматизація, за допомогою якої можна зручно налаштувати параметри лазерного процесу.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>11</i>

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Верстати з автоматизованими системами керування

За останні півстоліття до 2023 року у світі відбулася технологічна революція, яку іноді не помічають. Це період, коли провідні розробники та виробники перетворювачів були в авангарді промислових інновацій та змін.

Нові автоматизовані виробничі процеси поширилися по Європі та Сполучених Штатах протягом 19 століття. Економічне зростання вибухнуло, а населення зросло [1].

З впровадженням конвеєра в промислове виробництво автоматизація зробила ще один крок вперед. Ідея переміщення продукту по виробничій лінії, щоб кожен робітник міг спеціалізуватися на певному завданні та виконувати його неодноразово на іншому агрегаті, не була новою, але впровадження механізованих конвеєрів наприкінці 19 століття розширило можливості складання.

Складальна лінія дозволила масово виробляти товари набагато швидше, ніж традиційні методи виробництва. Це також призвело до розробки спеціалізованих машин та інструментів, які могли виконувати певні завдання послідовно.

Однак повний потенціал електродвигунів в автоматизації можна було використати лише з винаходом перетворювача частоти в 1950-х роках. Перетворювачі частоти контролюють швидкість і крутний момент.

Завдяки здатності точно контролювати швидкість і крутний момент двигунів перетворювачі зробили можливим автоматизувати ще складніші процеси. Вони також забезпечують суттєву економію енергії, регулюючи швидкість двигунів для забезпечення необхідного навантаження лише тоді, коли це необхідно. Вони підвищують надійність системи та продовжують термін служби обладнання за рахунок зменшення зносу двигуна.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перші контролери були громіздкими та ненадійними. Ситуація змінилася, коли з'явився ряд менших, дешевших, надійніших, ефективніших і розумніших накопичувачів, які відповідали зростаючим вимогам споживачів. У той час був розроблений і представлений перший у світі повністю керований мікропроцесором контролер. Продуктивність, гнучкість і керованість нових перетворювачів істотно розширили можливості для електродвигунів у промисловій автоматизації. Зараз інвертори широко використовуються, і практично будь-яке завдання, незалежно від його складності, тепер можна автоматизувати.

Винахідником першого верстата з автоматизованою системою керування (англ. Numerical Control, NC) є Джон Персонс (John T. Parsons), що працював інженером в компанії свого батька Parsons Inc, що випускала в кінці Другої світової війни пропелери для вертольотів. Він вперше запропонував використовувати для обробки пропелерів верстат, що працює за програмою, що вводиться з перфокарт [2].

Перші верстати з автоматизованою системою керування передбачали роботу тільки за «жорстко заданою» логікою. Передача завдання програми виконувалася за допомогою перфокарт, перемикачів та штекерів.

Сучасні верстати з АСК мають розширені обчислювальні та комунікаційні можливості, які забезпечують повну інтеграцію в складні автономні виробничі системи штучного інтелекту (AI). Алгоритми штучного інтелекту використовуються для аналізу даних, прогнозування та прийняття рішення про дії в реальному часі. Це дозволяє машинам працювати більш незалежно і легко адаптуватися до мінливих умов. Це допомагає оптимізувати виробничі процеси, покращити контроль якості та знизити витрати. AI стає все більш важливим у промисловому виробництві та виводить автоматизацію на новий рівень.

У сучасній літературі більшість науковців під автоматизованою системою керування вважають наступне: «Автоматизована система керування верстатом об'єднує в собі сукупність спеціалізованих пристроїв, методів та засобів, необхідних для реалізації автоматизованої системи керування (АСК). Система АСК характеризується здебільшого програмуванням циклу, режимів обробки та

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

траєкторій переміщення робочих органів верстата. При цьому уся необхідна інформація подається у вигляді послідовності букв та чисел, нанесених у закодованому вигляді (алфавітно-цифровому коді) на програмоносій.

АСК класифікуються за такими трьома ознаками:

- ступінь досконалості та функціональні можливості;
- вид руху виконавчих механізмів верстата, що визначається геометричною інформацією в програмі;
- кількість потоків інформації [3].

За ступенем досконалості та функціональними можливостями АСК поділяються на такі типи:

- NC (Numerical control) – числове програмне управління обробкою на верстаті за програмою, що задана в алфавітно-цифровому коді. Ці системи працюють за «жорсткою логікою». Введення програми до них, як правило, здійснюється з перфострічки;

- HNC (Hand NC) – різновид систем АСК з ручним завданням програми з пульта пристрою (з клавіш, перемикачів тощо). На сьогодні існують різновиди систем типу HNC, такі як TNC (Total NC), що мають у своєму складі зовнішню пам'ять на гнучких дисках (для зберігання управляючих програм) та дисплеї для організації спілкування операторів з АСК, а також VNC (Voice NC), в яких управляюча інформація вводиться безпосередньо з голосу та відображається на дисплеї, що забезпечує візуальний контроль достовірності введення;

- SNC (Speicher NC) або MNC (Memory NC) – різновид систем АСК, що має пам'ять для зберігання усієї управляючої програми;

- CNC (Computer NC) – автономна система АСК верстатом, що містить ЕОМ (як правило, міні-ЕОМ або мікро-ЕОМ) або процесор;

- DNC (Direct NC) – система для управління групою верстатів від ЕОМ, що здійснює зберігання програм та розподіл їх за запитами від пристроїв управління верстатом (на верстатах встановлені пристрої типу NC, SNC, CNC) [3].

Сучасні верстати з АСК зазвичай мають модульну структуру. Найважливіші вузли включають раму, привід, напрямні та керування. Інші вузли включають

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фундаменти, інструментальні магазини та пристрої для зміни інструментів, тримачі інструментів, пристрої для зміни заготовок, вимірювальні системи та засоби постачання та утилізації.

Блок АСК разом з інструментами, приладами, вимірювальною та випробувальною апаратурою входять до складу обладнання. Вони мають широкий спектр проявів і тому класифікуються за різними критеріями. найпоширенішими критеріями класифікації верстатів з АСК у Європі є класифікація за виробничими процесами та за ступенем автоматизації [4-6].

Таблиця 1.1 - Класифікація верстатів з автоматизованою системою керування

Критерії класифікації	Види верстатів з АСК
Класифікація за виробничим процесом	Відповідно до більш вузького погляду до верстатів зараховують лише формувальні та відрізні машини. Відповідно до ширшого погляду, також включені машини для первинного формування (наприклад, ливарні машини), з'єднувальні та всі розділові машини (розділення, різання та видалення).
Класифікація за ступенем автоматизації	Поділяються на верстати з високим, середнім та низьким ступенем автоматизації. Залежно від цього верстати можуть генерувати рухи різання та подачі за допомогою двигуна та коробки передач, а також ручних коліс. З іншого боку, автоматична машина може контролювати рух деталі. Верстат з АСК, при цьому, виконує автоматичний робочий цикл на закріпленій вручну деталі.

У загальному вигляді структуру комплексу "Верстат з автоматизованою системою керування" можна представити у вигляді трьох блоків, кожен з яких виконує своє завдання: керуюча програма (КП), пристрій АСК (ПЧПУ) і власне верстат. Всі блоки комплексу працюють взаємопов'язано в єдиній структурі [7].

Сучасні інтелектуальні системи керування необхідні для широкого спектру систем і машин. В ідеалі виробник постачає не тільки необхідні системи та їх компоненти, а й відповідне ноу-хау, оскільки техніка управління охоплює багато важливих областей. Але що насправді означає технологія керування?

Технологія керування є важливою сферою, яка пов'язана з розробкою та впровадженням засобів керування машиною чи системами всіх видів. У сучасній системі такий контроль зазвичай здійснюється системою EDP (Electronic Data Processing), яка оснащена численними вимірювальними перетворювачами та виконавчими механізмами. Зазвичай він має центральний блок управління, в якому збирається вся інформація і з якого контролюються різні фактори. Розрізняють такі види контролю:

- контроль послідовності, керований процесом або часом;
- логічне управління з оцінкою вхідних сигналів від вимірювальних перетворювачів;
- контроль послідовності в різних варіантах.

Автоматизація вплинула як на всі аспекти нашого суспільства, так і на майбутнє промислової автоматизації. Термін «Інтернет речей» (Інтернет речей, IoT) описує мережу інтелектуальних пристроїв із вимірювальними перетворювачами та функціями обробки, які можуть спілкуватися один з одним. Інтеграція штучного інтелекту та Інтернету речей у промислову автоматизацію означає, що виробничі системи можуть розпізнавати, аналізувати та приймати рішення самостійно, а інвертори забезпечують важливий зв'язок між системою управління та виконавчими механізмами [8].

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

1.2 Лазери: принципи роботи, типи та особливості

Одним із найбільш важливих винаходів минулого століття стало створення лазера. В сьогоденні він використовується в багатьох сферах нашого життя. У більшості відкритих англійських джерел під терміном лазер розуміють: LASER – це аббревіатура від англійського «light amplification by stimulated emission of radiation», що означає посилення світла шляхом вимушеного випромінювання [9].

Історія лазера почалася в 1917 році з надання світу вченим Альбертом Ейнштейном своєї концепції вимушеного випромінювання. Наприкінці 1960 року дослідники Bell Laboratories представили світові перший газовий лазер на суміші гелію і неону [3].

У відкритому доступі виробники верстатів з АСК дають наступну характеристику лазару: «Світло від лазера має особливі і дуже цінні властивості, що вигідно відрізняють його від світла звичайних теплових джерел.

- Випромінювання лазера когерентне і практично повністю монохроматичне. Раніше подібні властивості були лише у радіохвиль від добре стабілізованих передавачів.

- Розповсюдження вимушеного випромінювання відбувається тільки вздовж осі резонатора. У зв'язку з цим розширення лазерного променя дуже слабке, він має майже непомітне розходження (кілька кутових секунд).

- Завдяки вищеназваним властивостям лазерний промінь здатен фокусуватись у точку неймовірно маленького розміру. Енергія у точці його фокусу має величезну щільність.

- Завдяки монохроматичності випромінювання і надзвичайної щільності енергії, лазерне випромінювання може досягати дуже високих температур. Наприклад, температура випромінювання імпульсного лазера потужністю порядку петаواتу (10^{15} Вт) складає більше 100 мільйонів градусів [10]».

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Після появи першого працюючого лазера і розуміння принципів його роботи, науковці почали працювати над відкриттям і модернізацією різних джерел лазерного випромінювання.

Лазерні технології використовуються практично у всіх галузях промисловості, техніки і науки. У промисловості найчастіше застосовують лазер для різання та гравірування різних, як і металів, так і неметалічних, матеріалів. Для зручності і якості порізки різних видів матеріалів були створені різні типи лазерів, які відрізняються за ступенем інтенсивності випромінювання в робочій зоні, за складом газу для різання, його тиску і т.д [3].

Основна відмінність лазерних верстатів з АСК – це тип встановленої лазерної системи. Можна сміливо стверджувати, що найбільшу популярність дістали газові та твердотільні лазери.

Твердотільний лазер використовує в якості активної речовини кристалічні та аморфні діелектрики. Ці лазери в свою чергу теж поділяються на декілька видів, ановні з яких – це:

- волоконні;
- дискові;
- діодні;
- стрижневі;

Волоконні лазери.

Випромінювання генерується завдяки збудженню атомів активних домішок основного компонента волоконного лазера, який для ефективного охолодження виконаний у вигляді тонкого волокна і називається активним елементом. Генерація лазерного випромінювання стає можливою при використанні активного середовища, що збуджується, між дзеркалами резонатора, роль яких виконують області того ж волокна зі зміненими властивостями. Порухення атомів активних домішок (накачування) здійснюють шляхом опромінення активного елемента випромінюванням потужних світлодіодів, яке, у свою чергу, направляється до активного елемента від кожного діода за допомогою компактного юстирувального вузла і припаяного волокна [11].

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сечение волокна

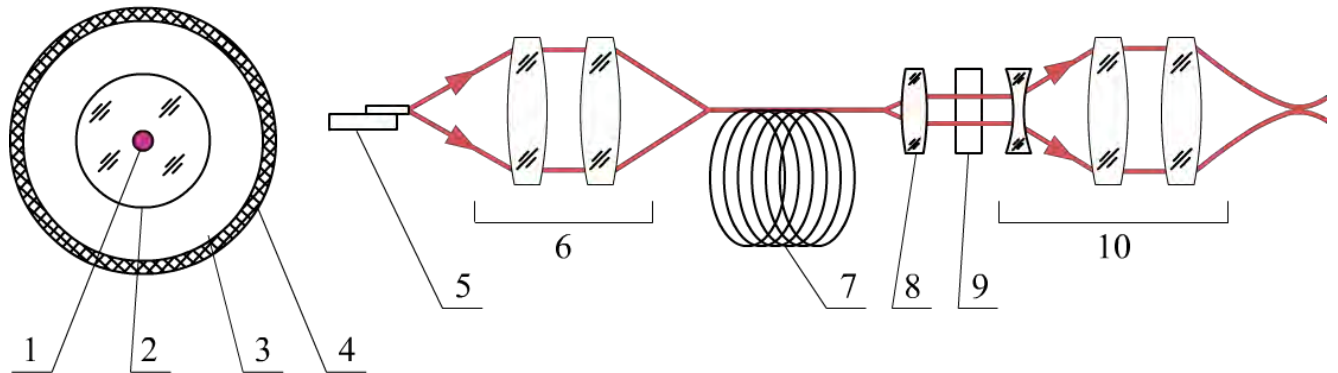


Рисунок 1.1 - Схема роботи волоконного лазера: [14]

1 – серцевина волокна з іонами рідкісноземельних металів; 2 – кварцове волокно (\varnothing 400-600 мкм); 3 – полімерна оболонка; 4 – зовнішнє захисне покриття; 5 – діоди накачування; 6 – оптична система накачування; 7 – оптоволокно; 8 – коліматор; 9 – модулятор; 10 – фокусуєча система.

Оскільки площа поперечного перерізу активного елемента волоконного лазера надзвичайно мала, щільність потужності потоку світлової енергії у ньому величезна, що викликає старіння матеріалу. Також згодом зменшується і світловіддача діодів накачування. Тому сучасні волоконні лазери оснащуються системами стабілізації потужності [12].

Дискові лазери.

Випромінювання дискових лазерів створюється за рахунок збудження атомів активної домішки середовища, в якості якої зазвичай використовується гранат, що активується іонами ітербію або неодиму. Мала товщина диска та висока теплопровідність граната обумовлюють надзвичайно високу температурну стабільність режимів дискових лазерів.

Накачування здійснюють потужні світлодіоди, випромінювання яких спрямовується на диск за допомогою параболічного дзеркала [11].

Нарощування потужності досягається послідовною установкою дискових модулів.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

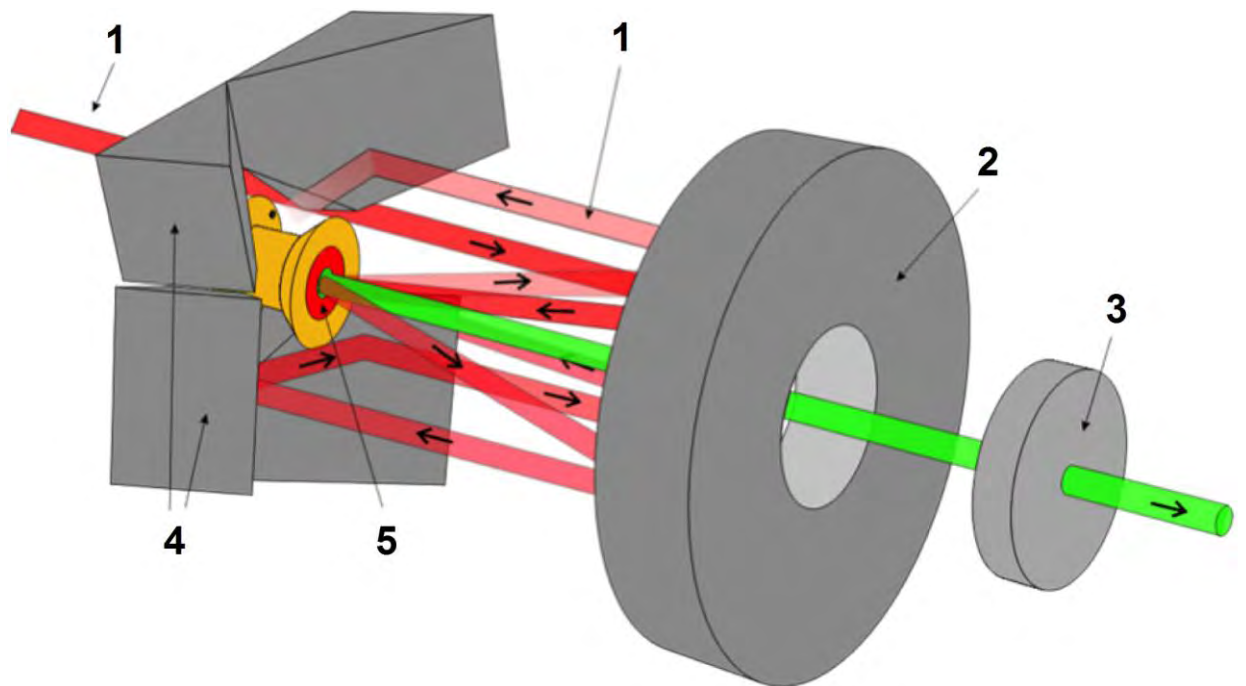


Рисунок. 1.2 - Схема роботи дискового лазера [14]

де 1 – промінь накачування; 2 – параболічне дзеркало; 3 – вихідне дзеркало; 4 – заломлюючі призми; 5 – дисковий кристал.

При необхідності потужність декількох дискових лазерів може сумуватися оптичним пристроєм, аналогічно застосовуваним для волоконних лазерів, проте при цьому якість випромінювання неминуче знижується, оскільки повністю поєднати пучки неможливо. Таке завдання виникає, наприклад, при необхідності виконання лазерного зварювання листів завтовшки до 20-30 мм, для чого потрібне випромінювання потужністю понад 30 кВт [12].

Діодні лазери.

Дані лазери перетворюють електричну енергію в енергію лазерного випромінювання безпосередньо в обсязі р-п-переходу. По суті, діодний лазер – це потужний світлодіод, виготовлений із особливих матеріалів та оснащений резонатором. Збільшення вихідної потужності здійснюється підсумовуванням пучків від кількох лазерних діодів.

Довжина хвилі діодних лазерів знаходиться в межах 0,9-1,1 мкм, що визначає високу ефективність поглинання такого випромінювання металевою поверхнею [11].

Стрижневі лазери.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Твердотільні лазери, у яких активний елемент має форму стрижня, мають особливості застосування, пов'язані з обмеженістю теплопровідності найактивнішого середовища, а також залежністю її коефіцієнта заломлення від температури. При роботі такого лазера температура перерізу стрижня змінюється нерівномірно, і її розподіл залежить від тривалості і потужності роботи, викликаючи перекручення хвильового фронту лазерного пучка, що важко передбачити. Тому твердотільні лазери, у яких активний елемент виконаний у вигляді стрижня, використовуються практично виключно при роботі з малим рівнем потужності, що не перевищує 200-500 Вт або в імпульсному режимі.

При роботі в імпульсному режимі кожен наступний імпульс генерується лише після того, як температура у перерізах стрижня вирівнюється.

Важливим фактором небезпеки лазерних твердотільних систем є використання волоконних систем транспортування випромінювання. При вигині волокна з радіусом менше граничного перестають виконуватися умови повного внутрішнього відображення, і лазерний пучок миттєво пропалює оболонку.

Таким чином, випромінювання твердотільних лазерів є надзвичайно небезпечним. З цієї причини всі сучасні системи, оснащені технологічними лазерами твердотільних, в обов'язковому порядку поставляються з герметичною кабіною. Спостереження за процесом допускається лише через спеціальний світлофільтр або за допомогою відеокамери [12].

В протипагу твердотільним існують газові CO_2 лазери. В генераторах випромінювання (газових трубках), використовується спеціальна суміш газів – вуглекислоти, азоту та гелію. Генерація випромінювання відбувається на переході між двома коливальними рівнями молекули вуглекислого газу, а гелій та азот використовується для підвищення ККД. Для генерації використовують накачування постійним струмом або струмами високої частоти. Газові CO_2 лазери розділяють на два основні види – лазери зі швидким прокачуванням і з дифузійним охолодженням.

CO_2 лазери зі швидким прокачуванням.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Для охолодження газової суміші застосовується турбіна, що здійснює примусову циркуляцію її зі швидкістю близько 1 км/с. Цей принцип охолодження визначає назву типу лазера «з швидким прокачуванням».

Ефективні сучасні лазери зі швидким прокачуванням мають турбіни з ротором на магнітній підвісці, які не вимагають обслуговування та працюють необмежено довго.

Вартість обслуговування газових лазерів з високочастотним накачуванням невисока і мало залежить від часу експлуатації. Лазери з високочастотним накачуванням та швидким прокачуванням мають просту конструкцію, невелику кількість дзеркал, легко ремонтуються в умовах замовника.

CO₂ лазери з дифузійним охолодженням.

Дані лазери відрізняються простотою конструкції та невисокою вартістю, оскільки для охолодження суміші не вимагають турбіни та не містять потужного вакуумного насоса. Як правило, мають лише два дзеркала. Охолодження газової суміші здійснюється за рахунок прямої теплопередачі водоохолоджуваних електродів газорозрядної камери. Накачування - тільки високочастотне, оскільки тільки при такому накачуванні можна уникнути корозії електродів і відповідного забруднення суміші газів. Витрата суміші лазерних газів становить 1 літр на рік.

Якісні характеристики випромінювання завжди є оптимальними для обробки переважно тонких заготовок (одномодове випромінювання).

ККД даних лазерних систем - трохи нижче, ніж у лазерів із швидким прокачуванням.

Випромінювання газових лазерів повністю поглинається прозорими для видимого світла екранами із звичайного або органічного скла, а також усіма відомими полімерами. Крім того, рогівка людського ока зовсім не прозора для випромінювання з довжиною хвилі 10,6 мкм, що виключає пошкодження склери та очного дна навіть за значної та тривалої експозиції. При попаданні розсіяного лазерного випромінювання з довжиною хвилі 106 мкм, що викликає теплову дію, око рефлекторно захищається повікою. Тому системи з газовими лазерами безпечні у використанні [11, 12, 13].

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

З метою детального аналізу різних типів лазерного устаткування, нами сформовано таблицю 1.2. У ній наведено основні характеристики лазерів для верстатів з автоматизованою системою керування.

Таблиця 1.2 - Основні характеристики типів лазерів для верстатів з автоматизованою системою керування

	ККД	Товщина заготовки різну	Довжина хвилі випромінювання	Середня потужність	Вартість роботи
Волоконний лазер	24-30%	1 мкм – 3 мм	1 мкм	від 1кВт	2 – 4 євро на год.
Діодний лазер	≈ 50%	1 мкм – 3 мм	0.9 – 1.1 мкм	5 кВт	2 – 4 євро на год.
Дисковий лазер	24-30%	1 мкм – 3 мм	1 мкм	4 кВт	2 – 4 євро на год.
Стрижневий лазер	24-30%	1 мкм – 3 мм	1 мкм	200-500 ВТ	2 – 4 євро на год.
СО ₂ лазер	≈ 10%	1-50мм	10.6 мкм	3 кВт	0.5 – 1 євро на год.

На основі опрацьованих матеріалів можна зробити наступні висновки. Безумовно системи з твердотільними лазерами мають ряд переваг над СО₂ лазерами, такі як:

- висока продуктивність при обробці тонколистових металевих заготовок;
- здатність ефективно обробляти заготовки із сплавів на основі алюмінію та міді;
- можливість доставляти випромінювання від одного лазера до кількох технологічних комплексів;
- можливість розміщувати лазер у більш сприятливих умовах, ніж умови у цеху підприємства;
- можливість створення лазерних мереж, до яких за допомогою керованих комутаторів підключаються кілька лазерів та кілька технологічних модулів;

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

- економічність [12],

Але все це нівелюється високою ціною таких установок, високою вартістю та складністю в обслуговуванні.

В протипагу можна стверджувати, що найрозповсюдженішим лазерним устаткуванням для верстатів з автоматизованою системою керування є CO₂ лазер. Такі верстати дозволяють нарізати великий спектр різних матеріалів (в основному неметалічних). Також вони мають порівняно з твердотільними лазерами простішу та надійнішу конструкцію, яка є набагато дешевшою в обслуговуванні. Тому велика кількість підприємств, як і малих, так і великих, обирають верстати з лазерним CO₂ устаткуванням.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

1.3 Типи лазерних верстатів та сфери їх застосування

Приблизно ще в середині минулого століття були створені перші верстати з АСК (автоматизованими системами керування). Така система працює під керуванням комп'ютера за наглядом кваліфікованого оператора. Згодом таке устаткування почали обладнувати лазерними установками, в наслідок чого появились лазерні верстати з автоматизованою системою керування.

Переваги технології лазерної обробки перед обробкою різанням призвели до появи лазерно-гравірувальних верстатів. Конструкції лазерного та фрезерного верстатів мають багато спільного: стійка АСК, станина, портал та каретка з механізмами переміщення. Головна відмінність – це конструкція робочого органу. Замість шпинделя з фрезою або гравером лазерний верстат оснащений трубкою та оптичною системою.

Більшість лазерних різаків та граверів – двовісні, і всі переміщення виконуються по осях X та Y. Переміщення по осі Z під час виконання верстатом команд керуючої програми не потрібно. Існують верстати з додатковою поворотною віссю, які виконують гравірування на поверхнях тіл обертання.

У верстатах використовуються лазери з різними робочими середовищами: напівпровідникові, твердотільні та газорозрядні. Останні в силу своєї дешевизни та порівняно високого ККД найчастіше використовуються у розкроювально-гравірувальних верстатах. Оптична система складається з трьох дзеркал та лінзи. Перше дзеркало закріплено нерухомо до лазерної трубки, інші - переміщаються по осях X і Y. При зустрічі з кожним з них промінь змінює напрямок на 90 °.

Після відбиття від третього дзеркала промінь потрапляє у лінзу, що фокусує, яка збирає світловий потік у вузький пучок і концентрує енергію в одній точці. Ключові характеристики цього елемента оптики:

Діаметр. Його вибирають, виходячи з розмірів робочого поля верстата. Чим більший шлях доводиться проходити пучку світла від лазерної трубки до лінзи, тим більше він розсіюється.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Матеріал. Більшість CO2 лазерів добре працюють із лінзами з покриттям ZnSe або GaAs. Селенід цинку та арсенід галію не поглинають випромінювання з довжиною хвилі 10 мкм.

Фокусна відстань. За цим параметром лінзи умовно поділяють на короткофокусні та довгофокусні. Перші дозволяють досягти кращого фокусування. Вони використовуються для різання плівок та тонкого листа, а також для гравірування. Другі служать для різання товстих листових матеріалів.

Сучасні лазерні машини з АСК успішно справляються з обробкою заготовок із практично будь-яких матеріалів (дерева, металу, пластику, скла, шкіри, гуми, паперу, поліетилену, каменю тощо). Але, незважаючи на значну універсальність, кожна модель (або лінійка моделей) має свою спеціалізацію [15]. На рисунках 1.3 та 1.4 наведені приклади сучасних моделей дискових та волоконних лазерних верстатів [13,19].



Рисунок 1.3 - Дисковий лазерний верстат TRUMPF

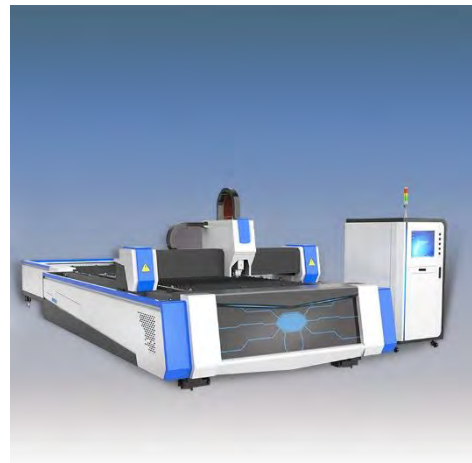


Рисунок 1.4 - Волоконний лазерний верстат з АСК відкритого типу MSFL1530

Лазерно-гравірувальні верстати бувають як у настільному виконанні, так і стаціонарні, представлені дуже великою різноманітністю габаритів робочих столів - від півметра до півтори-двох і вище. Верстати розраховані на встановлення у спеціальному приміщенні та призначені для наднормової роботи в умовах виробництва. Кожен верстат має монолітний корпус, що забезпечує стійкість

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

конструкції та ефективно гасить вібрації, що виникають при роботі. Основним призначенням таких моделей є лазерне різання, розкрій матеріалів (у тому числі широкоформатних на великій швидкості) та високоякісне гравірування поверхонь заготовок. Для підвищення продуктивності та якості обробки лазерні верстати мають спеціальні конструктивні рішення. Наприклад, паралельну установку двох лазерних трубок - для одночасної обробки двох заготовок, або розміщення лазерної трубки на рухомому порталі - для виключення втрат потужності променя при його розсіюванні на шляху до випромінювача і т.д.

Всі верстати лазерного різання та гравірування з автоматизованою системою керування, незалежно від режиму роботи, типу лазера та призначення мають спільну структурну схему та складаються з ряду аналогічних функціональних вузлів. Приклад схеми наведено на рисунку 1.5

де лазерне випромінювання (2) від випромінювача (1) формується оптичною системою (7), через пристрій дозування енергії (5), в світловий пучок з певними просторовими та часовими характеристиками і направляється на об'єкт обробки. За допомогою оптичної системи (7) можуть здійснюватися візуальний контроль положення об'єкта, спостереження за ходом обробки та оцінки її результату. За допомогою пристрою (9) об'єкт обробки фіксується на двокоординатному столі, який контролюється блоком автоматизованої системи керування (10). З блоком керування також зв'язані система контролю випромінювання (6) та система вимірювальний перетворювачів контролю параметрів технологічного процесу (11), на підставі інформації, яка з них надходить, поступають команди керування джерела живлення випромінювача (3) і дозуючої системи (5). В деяких технологічних процесах таких, як газо-лазерна різка, лазерно-іскрова обробка і т.д., установка може бути доповнена пристроєм подачі в робочу зону технологічного середовища (13) та джерелами додаткової енергії 12 (механічної, електромагнітної та ін.). Вимірювальний перетворювачі параметрів технологічного процесу (11) можуть контролювати температуру зони обробки, стан поверхні, яскравість світіння плазмового факела і давати сигнали керуючому пристрою для зміни параметрів випромінювання або припинення операції.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>27</i>

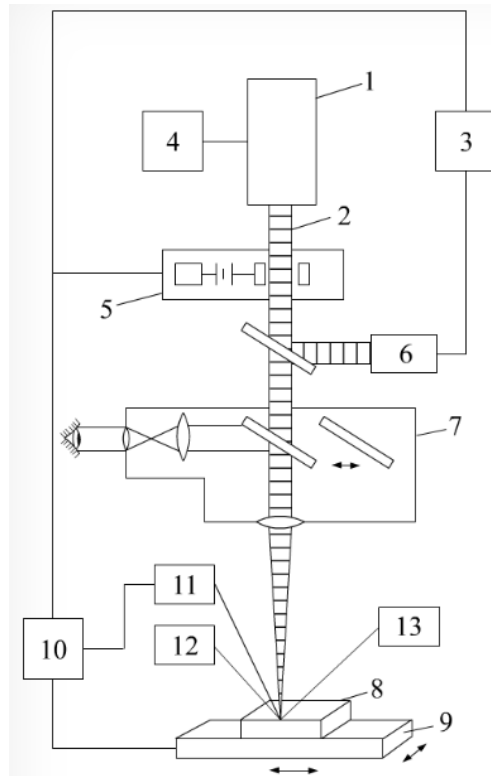


Рисунок 1.5 - Узагальнена схема верстата лазерного різання та гравірування з автоматизованою системою керування [16].

В сучасному світі сфера застосування лазерного різання та гравірування з автоматизованою системою керування дуже широка. Лазерні верстати різних типів успішно використовуються як для промислового серійного виробництва, так і для індивідуальних замовлень. Залежно від типу лазерного устаткування на ньому виконують операції різки, гравірування, перферації та маркування різних матеріалів, включаючи:

- метали (алюміній, мідь, нержавіюча сталь, і тд.);
- дерево, хдф, фанеру;
- тканину (шкіра, джинс, хутро);
- скло;
- гірські породи (мармур, граніт);
- паперові матеріали;
- пластик (поліпропілен, акрил, абс-пластик, поліетилен).

Лазерний верстат з АСК здатний працювати з різними матеріалами, але щодо металообробки – це ідеальне рішення для таких галузей, як:

- приладобудування;
- автомобілебудування;
- військова промисловість;
- ракетно-космічна галузь;
- суднобудування;
- авіабудування;
- сувенірний бізнес (нагороди, зброя тощо).

Лазерна обробка металу актуальна для всіх галузей, де потрібна максимальна точність роботи [17].

Також велику популярність верстати лазерного різання і гравірування набули в сфері малого та середнього бізнесу. Асортимент товарів, які можна виготовити на них практично не обмежений:

- виготовлення сувенірів та декору (кухонне приладдя, декоративні елементи інтер'єру, канцелярські товари, дизайнерські прикраси, подарункові упаковки, набори для творчості, дерев'яні пазли, рухомі дерев'яні конструктори);
- виготовлення рекламної продукції (таблички, вивіски, нанесення логотипів та маркування товарів);
- столярні вироби (модульні стелажі та меблі, полиці, фігурні стільниці, елементи для оригінальних дизайнерських проектів);
- ювелірна справа (виготовлення воскових моделей прикрас) [18].

Отже, беззаперечною перевагою лазерної обробки є дуже тонкий зріз при малій «ділянці втручання» в матеріал (у тому числі з мінімальним температурним навантаженням та деформацією), завдяки чому обробка заготовки здійснюється з дуже високою якістю. Крім того, лазер здатний обробляти практично будь-які конструкційні матеріали та заготовки різних форм і габаритних розмірів (у тому числі найтонші або м'які, що не піддаються через це обробці фрезою - наприклад, папір, гуму, поліетилен тощо).

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЛАЗЕРНИМИ ВЕРСТАТАМИ З АСК

2.1 Характеристика параметрів лазерного різання

З точки зору сьогодення лазерне різання при обробці різних матеріалів стало незамінним у промисловості. Але лазерне різання - це складний процес з великою кількістю фізичних параметрів і налаштувань. Перш ніж лазер зможе різати будь-який матеріал, потрібна велика кількість складних процесів налаштування та регулювання. У цьому питанні ми дослідимо низку важливих параметрів лазерного різача, щоб зрозуміти, що без відповідної автоматизації лазерний різальний інструмент навряд чи можна було б використовувати в промислових умовах для якісної обробки матеріалів. У системах лазерного різання використовується різноманітна автоматизація, за допомогою якої можна зручно налаштувати параметри лазерного процесу.

Автоматизація багатьох машин для лазерного різання просунулася настільки далеко, що лазерне різання матеріалів можна зосередити лише на кількох простих кроках, які можуть виглядати так: вибір необхідної програми АСК, перевірка верстата та його запуск.

Сучасні лазерні різачи самостійно забирають необхідний матеріал зі складу, завантажують і очищають стіл, самі встановлюють оптимальне положення фокуса, перевіряють режим і самі замінюють або чистять насадку. Потрібно лише встановити всі параметри процесу відповідно до матеріалу.

Оператор на сучасному лазерному різачу підбирає програму, налаштовує лазерний різач, контролює процес лазерного різання, забезпечує поповнення матеріалу, перевіряє якість і запобігає перебою роботи обладнання.

Процес лазерного різання вимагає управління та налаштування великої кількості параметрів, які настільки складні, що навряд чи будь-який оператор може їх освоїти за короткий час. Час налаштування був би надто довгим і зробив би

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процес лазерного різання не вигідним. Ось чому за це значною мірою відповідають бази даних матеріалів і вимірювальний перетворювачі системи керування та компоненти автоматизації системи лазерного різання. Однак інші процеси різання, такі як плазмове різання або різання полум'ям, ще далекі від такого високого рівня автоматизації.

Інструмент лазерного променя залишається незмінним навіть після 100 розрізів, він не змінюється, якщо параметри правильні. Лазерний різак - це інструмент, який практично не затуплюється, не зношується і тому особливо підходить для обробки будь-якого матеріалу. Зовсім інша ситуація зі зносом сопел під час кисневого, плазмового та водострумного різання. Відрізок різання, а отже, точність і якість деталей залежать від часу роботи відповідного процесу різання. Однак, коли йдеться про лазерне різання, лазерний інструмент демонструє відносно високий ступінь безперервності у виробничому процесі і, таким чином, є ідеальною відправною точкою для високого ступеня автоматизації та оцифрування лазерного різачка.

Процес лазерного різання характеризується рядом важливих показників, таких як безперервна робота, потужність лазерного променя, інтенсивність, оптичні властивості лінзи, продуктивність лазерного верстата [20].

Безперервна робота означає, що незмінно висока вихідна потужність доступна для різання без перерви. Майже вся енергія лазера використовується для різання матеріалу. У разі складних, філігранних контурів, внутрішніх вирізів або зміни напрямку системи різання може накопичуватися тепло, яке перегріває матеріал і, таким чином, призводить до погіршення якості різання.

Крім того, імпульсна потужність використовується при вирізанні філігранних контурів або при проколюванні більш товстого матеріалу. Промінь пульсує з більш високою частотою через короткі проміжки часу, таким чином середня потужність лазера значно знижується, а швидкість різання, як наслідок, знижується до 10% від нормального значення при безперервній роботі.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Потужність лазерного променя описується у ватах або кВт. Якщо вказана потужність за секунду, то йдеться про енергію, у цьому випадку мається на увазі випромінювана енергія, випромінювана за секунду.

Інтенсивність описує потужність лазерного променя по відношенню до ділянки, на яку він впливає.

Чим вища інтенсивність лазерного променя, тим:

- швидше нагрівається ріжучий матеріал;
- менше теплової енергії надходить у крайові зони різку;
- більш висока швидкість різання;
- більш товстий матеріал можна розрізати;
- більш висока якість різання.

Висока інтенсивність i , отже, максимальна товщина матеріалу, яку можна розрізати, можуть бути досягнуті як при високій потужності в безперервному режимі, так і в імпульсному режимі.

Оптичні властивості лінзи змінюють діаметр фокусної плями та її глибину фокусування. Лінза з короткою фокусною відстанню створює малу фокусну пляму з малою глибиною фокусування.

Оскільки оптика не може бути виготовлена на 100% ідеально, положення фокуса необхідно повторно калібрувати щоразу, коли змінюється оптика.

Чим менша глибина фокусування, тим меншу товщину матеріалу необхідно розрізати.

З іншого боку, швидкість різання залежить від потужності лазера. Чим вище потужність, тим швидше лазер може розділити. Для розуміння: лазер високої потужності не має автоматично високої інтенсивності. Навпаки, ріжуча лінза з її фокусною відстанню та положенням фокуса є важливим елементом, коли йдеться про швидкість різання. Залежно від товщини матеріалу, типу та його покриття, система лазерного різання з АСК вирішує розмір фокусної плями та довжину Релея. Велика довжина Релея підходить для більшої товщини матеріалу. Фокус можна регулювати за допомогою лінзи таким чином, щоб він знаходився перед, на, усередині або позаду матеріалу - з кожною зміною точки фокусування також

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		32

змінюються параметри та властивості різання. Однак більша глибина фокусування також означає більшу фокусну пляму, а отже, нижчу інтенсивність і, отже, меншу швидкість різання, якщо менша інтенсивність не компенсується більшою потужністю лазера.

Волоконні, діодні та дискові лазери мають чудову здатність до фокусування навіть на великих відстанях. Це використовується в так званій техніці "різання на відстані", за якої лазерний промінь особливо швидко направляється на ріжучий матеріал через рухомі дзеркала. Відстані більші, але в межах довжини Релея волоконного лазера та в дозволеному діапазоні.

Продуктивність лазерного верстата в режимах різання та гравірування спирається на значення робочого ходу та потужності лазерної трубки, які обмежені технологічними параметрами обробки матеріалу. Важливо також врахувати швидкість холостого ходу, так як його величина обмежена технічними параметрами верстата, але при цьому має велике значення на час виробництва виробу. Швидкість холостого ходу може бути в 5-10 разів вища, що, при правильному налаштуванні, скорочує час виробництва на 30-60%.

Нами проаналізовано та згруповано в таблиці 2.1 основні параметри налаштування лазерної CO₂ трубки потужністю 100 Вт для різання та гравірування різних матеріалів. Оскільки саме ця потужність лазера є найбільш поширеною та застосовуваною на виробництві, за рахунок оптимальної продуктивності та вартості.

На процес та ефективність різання впливають змінні та фіксовані параметри. Як приклад, нижче наведено перелік важливих параметрів, які необхідно налаштувати для кожного конкретного завдання різання. Інші параметри, які не можна змінити, є результатом конструкції лазера.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Таблиця 2.1 - Основні параметри налаштування лазерної CO2 трубки потужністю 100 Вт для різання та гравірування різних матеріалів

Матеріал	Товщина, (мм)	Режим	Швидкість (мм/сек)	Потужність, (%)
Фанера	4	Різання	30	40-45
Фанера	6	Різання	20	50-55
Фанера	10	Різання	5	90-95
Фанера	12	Різання	3	90-95
Дерево	3	Різання	12-18	50-60
Дерево	6	Різання	8-13	55-60
Дерево	10	Різання	15-18	80-95
Дерево	18	Різання	5	90-95
Акрил	2	Різання	30	75-80
Акрил	3	Різання	25	75-80
Акрил	4	Різання	12	75-80
Акрил	5	Різання	15	75-80
Акрил	8	Різання	10	80-85
Акрил	10	Різання	5	90-95
Акрил	12	Різання	3	90-95
Акрил	20	Різання	0.3 - 0.7	50-65
Полістирол	2	Різання	25-30	40-45
Полістирол	4	Різання	15	60-65
Гофрокартон	1-4	Різання	60	40
Шкіра натуральна	0.5-1	Різання	100	25
Шкіра натуральна	1.5	Різання	150	30
Камінь	-	Гравірування	300	15-25
Скло	-	Гравірування	300	15-25
Зеркало	-	Гравірування	300	15-25
Кераміка	-	Гравірування	300	15-25
Фарбований метал	-	Гравірування	250	15

До змінних параметрів відносять:

- режим роботи: безперервна робота (безперервна хвиля) проти імпульсної потужності;
- діаметр фокусної плями та довжина Релея (глибина фокусу);
- інтенсивність, яка пропорційна потужності лазерного променя Вт та обернено пропорційна площі фокусної плями;
- фокуруюча лінза - визначає фокусну пляму і глибину фокусу;
- режим лазерного променя: одномодовий, багатомодовий;

- розташування фокусної плями відносно поверхні заготовки;
- діаметр сопла;
- відстань сопла до матеріалу і, таким чином, вплив на ефективний тиск газу;
- тип газу, чистота газу та тиск газу;
- швидкість різання;
- потужність лазера;
- компенсація зрізу;
- ступінь поляризації променя CO₂-лазера.

Волоконні лазери, з іншого боку, мають постійний напрямок поляризації променя відносно напрямку різання і, таким чином, забезпечують постійну якість різання незалежно від напрямку різання.

До фіксованих параметрів можна віднести:

- довжина хвилі лазера - визначається його конструкцією і не може бути змінена;
- максимальна потужність лазерного променя;
- продуктивність верстата, наприклад максимальна швидкість позиціонування, максимальна швидкість різання та прискорення;
- розміри машини, корисна площа;
- функціональність [21].

Існує чотири основних режими роботи для лазерного різання, які можна вибрати залежно від бажаного результату різання та матеріалу, який потрібно розрізати [22].

Сублімаційне різання: тут лазерний промінь використовується для випаровування матеріалу. В якості технологічного газу переважно використовують гелій, азот або аргон. Сублімаційне різання підходить для особливо філігранних завдань із високою якістю ріжучої кромки.

Полум'яне різання - часто використовується для різання більш товстих матеріалів, переважно м'якої сталі. Включається технологічний газ - кисень.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Кисень реагує з металом і відповідає за його окислення. Процес окислення прискорює процес плавлення в матеріалі, завдяки чому можна досягти вищої швидкості різання та більшої товщини різання.

Різання плавленням: під час різання плавленням аргон або азот використовуються як технологічний газ, який іноді вдувається в пропили під високим тиском до 20 бар, таким чином виганяючи розплав із пропилу. На відміну від кисню в процесі полум'яного різання, інертні гази аргон або азот не реагують з металом, тому кромки залишаються вільними від оксидів, мають мало задирок і потребують незначної обробки.

Тонка обробка. При тонкій обробці короткі імпульси лазера майже не нагрівають матеріал, тому можна різати особливо філігранні або термочутливі матеріали.

Важливим параметром лазерного різку є його чистота (шорсткість). Шорсткість на краях різку значно більша в деталях, вирізаних волоконним лазером, ніж у різках, виготовлених з CO₂. Однак виробники машин для лазерного різання намагаються значно покращити шорсткість обрізаних країв за допомогою процесу волоконного лазера за допомогою нещодавно розроблених технологій, таких як певні налаштування газу, фокусування променя, динамічне формування променя тощо, навіть у товстому листі з діапазоном матеріалів понад 20 мм. Однак, коли справа доходить до товщин менше 10 мм, CO₂ лазер має перевагу. На даний момент волоконний лазер (станом на 2021 рік) ще не вирішив проблему шорсткості плазмового або полум'яного різання. Незважаючи на те, що в цій галузі проводиться величезна кількість досліджень, щоб усунути цей недолік волоконного лазера.

Проте потенціал розвитку лазера залишається досить високим і це, ймовірно, лише питання часу, коли недолік зменшення шорсткості буде компенсовано.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

2.2 Блок керування процесом лазерного різання і гравірування

Блок керування процесом лазерного різання і гравірування є важливою складовою лазерного верстата. Він забезпечує управління рухом лазерної головки, яка виконує різання або гравірування на різних матеріалах.

Принцип роботи полягає в тому, що за допомогою спеціального програмного забезпечення створюються команди, які задають рух механічного обладнання в потрібному напрямку та з потрібною швидкістю.

Блок АСК містить мікропроцесор, який отримує дані від комп'ютера через спеціальний порт. За допомогою програмного забезпечення здійснюється обробка даних, що надходять, і перетворює їх в сигнали та команди для механічної системи. Команди зберігаються в пам'яті блоку керування та виконуються в потрібний момент.

Завантажену інформацію з пристрою, що запам'ятовує або внутрішньої пам'яті контролер перетворює в зрозумілі для верстата дії. Таким чином, під час роботи забезпечується потрібний дозвіл, глибина гравірування, швидкість різання, опрацювання кутів і криволінійних деталей. За допомогою програмного забезпечення задані параметри обробки передаються на лазерний гравер, практично, як на звичайний принтер. Керуюча програма задає необхідний маршрут лазерної головки, за допомогою якої здійснюється виконання завдання [23].

Команди, які передаються до механічної системи, включають в себе інформацію про координати руху, швидкість, напрямок, рівень потужності, час роботи тощо. Відповідно до цих команд механічна система виконує потрібний рух, що дозволяє здійснювати точне різання або гравірування матеріалів за допомогою лазерів.

Блок АСК дозволяє забезпечити високу точність різання та гравірування матеріалів, що робить його важливим елементом в сучасних механічних системах. Крім того, блок керування АСК забезпечує швидку зміну програм та просту

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

настройку системи, що дозволяє значно підвищити продуктивність роботи. Приклад зображення блока керування наведено на рисунку 2.1



Рисунок 2.1 - Приклад керуючого блока в лазерному верстаті [24]

Основні функції блока керування:

- керування рухом лазерної головки: блок керування забезпечує точне переміщення лазерної головки по робочій поверхні матеріалу. Керування може бути здійснене за допомогою CNC-системи (комп'ютерного чисельного керування), яка розраховує координати точок різання або гравірування на основі введеного користувачем дизайну;
- керування потужністю лазерної головки: блок керування забезпечує регулювання потужності лазерного променя. Це дозволяє контролювати глибину різання або гравірування на матеріалі, що обробляється;
- керування частотою лазерної головки: блок керування забезпечує регулювання частоти лазерного променя. Це дозволяє змінювати швидкість різання або гравірування на матеріалі, що обробляється;
- керування або контроль за охолодженням лазерної головки: блок керування контролює охолодження лазерної головки. Охолодження забезпечує стабільну роботу лазера і підтримує ефективність різання або гравірування;

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

- керування безпекою: блок керування забезпечує безпечну роботу лазерної головки, у тому числі вимикання лазера у випадку помилкової роботи, виявлення перешкод на шляху руху лазерної головки.

Основні особливості блоку керування лазерного устаткування включають наступні пункти :

- наявність мікропроцесора. Більшість сучасних лазерних верстатів оснащені мікропроцесорами, які забезпечують швидкий та точний контроль руху лазерної головки;

- цифрове керування. Блок керування лазерного верстата зазвичай працює з використанням цифрових сигналів, що дозволяє досягти високої точності та швидкості роботи;

- сенсори. Блок керування зазвичай містить вимірювальний перетворювачі, які дозволяють контролювати положення лазерної головки, вимірювати розміри матеріалу та виконувати інші вимірювання;

- програмне забезпечення. Щоб забезпечити оптимальну роботу лазерного верстата, блок керування повинен мати спеціальне програмне забезпечення, яке дозволяє налаштовувати різноманітні параметри та виконувати різні операції з матеріалом;

- інтерфейс користувача. Блок керування повинен мати зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє користувачеві легко налаштовувати параметри та керувати роботою лазерного верстата;

- можливість зв'язку з комп'ютером. Блок керування повинен мати можливість зв'язку з комп'ютером, що дозволяє використовувати спеціальне програмне забезпечення для настройки параметрів та керування роботою лазерного верстата.

Автоматизована система керування лазерного різання та гравірування складається з декількох основних частин: плата з контролером живлення, набір вимірювальний перетворювачів для контролю системи, головна керуюча плата.

Контролер живлення лазерного верстата забезпечує контроль та регулювання живлення лазерної труби в лазерному верстаті. Контролер живлення зазвичай

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

складається з електронних компонентів, таких як транзистори, діоди, резистори, конденсатори та інші елементи. Крім того, контролер містить мікроконтролер або програмовану логічну матрицю (ПЛІС), яка забезпечує керування процесом живлення лазерної труби.

Контролер живлення регулює напругу, струм та імпульси живлення лазерної труби відповідно до потреби для забезпечення ефективної роботи лазерного верстата. Крім того, контролер забезпечує захист лазерної труби від перенапруги, перевантаження та перегріву. За допомогою контролера живлення можна налаштувати параметри лазерного верстата, такі як потужність лазера, швидкість різання та гравірування, а також вибрати різні режими роботи в залежності від матеріалу, який оброблюється. Узагальнену структурну схему блока живлення можна розглянути на рисунку 2.2

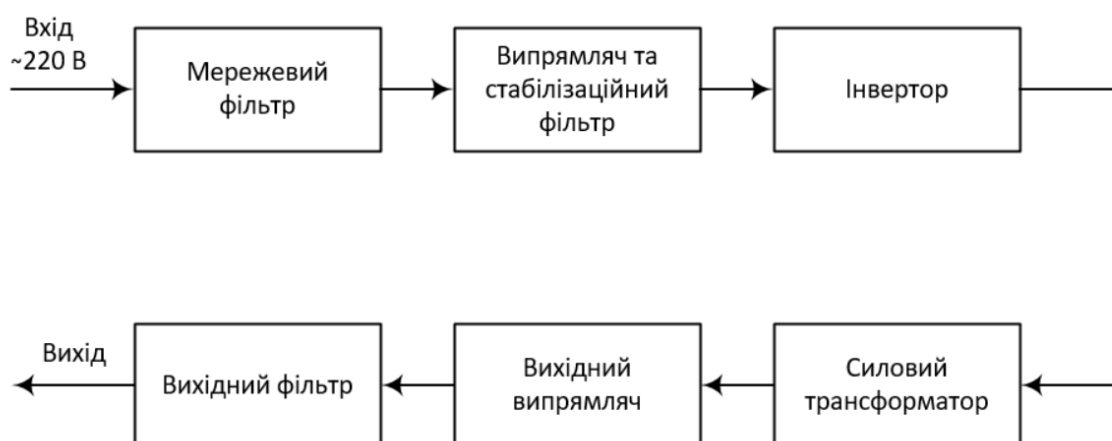


Рисунок 2.2 - Узагальнена структурна схема блока живлення для лазерного верстата з АСК

Вимірювальний перетворювач в лазерному верстаті використовуються для контролю різних параметрів роботи лазерного верстата, зокрема позиції різального інструмента, швидкості переміщення інструмента, а також параметрів матеріалу, який обробляється.

Основні вимірювальний перетворювачі для контролю роботи лазерного верстата включають наступні:

- вимірювальний перетворювачі положення - використовуються для визначення точного положення різального інструмента в просторі. Ці

вимірювальний перетворювачі можуть бути оптичними, магнітними або індуктивними;

- вимірювальний перетворювачі швидкості - використовуються для вимірювання швидкості переміщення різального інструмента. Ці вимірювальний перетворювачі можуть бути оптичними, енкодерами або вимірювачами тиску;

- вимірювальний перетворювачі тиску - використовуються для вимірювання тиску, який необхідний для ефективного різання матеріалу. Ці вимірювальний перетворювачі можуть бути механічними або пневматичними;

- вимірювальний перетворювачі товщини матеріалу - використовуються для вимірювання товщини матеріалу, який обробляється. Ці вимірювальний перетворювачі можуть бути оптичними або ультразвуковими;

- вимірювальний перетворювачі температури - використовуються для вимірювання температури лазерної труби та матеріалу, який обробляється. Ці вимірювальний перетворювачі можуть бути термопарними або термісторними;

- за допомогою даних вимірювальний перетворювачів контролер лазерного верстата може регулювати параметри роботи верстата, щоб забезпечити ефективну та безпечну роботу лазерного верстата.

Основна керуюча плата лазерного верстата - це центральний елемент, що керує всіма функціями лазерного верстата. Ця плата відповідає за обробку команд від оператора та виконання потрібних дій на лазерному станку, щоб забезпечити правильну обробку матеріалу.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

3.1 Розрахунок елементів привода

Щоб розрахувати елементи приводу автоматизованої системи керування лазерного різання та гравірування знадобиться інформація про вимоги і характеристики верстата. Розглянемо декілька кроків, які слід виконати для розрахунку та вибору елементів приводу:

- визначити потрібну механічну потужність. З максимального навантаження та швидкості руху, визначається потрібна механічна потужність для приводу;
- вибрати тип приводу: Враховується тип руху верстата та вибирається відповідний тип приводу. Наприклад, для лінійного руху вздовж осей X, Y можна використовувати кульково-гвинтові приводи, лінійні мотори або приводи зі штанговими механізмами. Для обертового руху можуть бути використані крутильні механізми, крокові або сервоприводи;
- визначити обертовий момент. Розрахунок обертового моменту, необхідного для приведення в рух осей або рухомих елементів;
- вибрати необхідний двигун. Врахування обертового моменту та вимоги до точності позиціонування. Залежно від потреб, можливо використовувати крокові двигуни, сервоприводи або інші типи, які задовольняють вимоги до потужності та точності.

Після детального аналізу вітчизняної та зарубіжної літератури, було прийнято рішення вибрати двигун постійного струму (ДПС) з графітовими щітками. Ось переваги такого типу двигунів:

Переваги ДПС з графітовими щітками:

- не змінюють режими роботи при пікових навантаженнях струмом;
- забезпечують стабільний частий пуск, зупинку або реверс.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Разом з цим слід зазначити, що двигуни з щітками із благородних металів на відміну від графітових мають свої переваги:

- добре справляються з малим струмом;
- добре справляються з малою напругою;
- легко справляються з безперервною роботою;
- мають незначні розміри;
- характеризуються низьким рівнем шуму і тертя.

Отже, при виборі між двигунами з графітовими щітками та щітками з благородних металів, слід враховувати специфічні потреби і вимоги системи.

Причини зменшення строку служби ДПС:

- робота в критичних режимах, тобто довго і при максимальному навантаженні призводить до руйнування щіток, що суттєво впливає на строк служби двигуна;
- постійна робота на високій швидкості призводить до швидкого руйнування підшипникових опор;
- робота з великим навантаженням призводить до пришвидшеного зносу підшипників.

Вигляд ДПС представлено на рисунку 3.1

Через те, що в схемі установки двигуни будуть розміщені таким чином, що на них буде діяти осьове і радіальне навантаження, рекомендується використовувати двигуни з посиленими підшипниками ковзання, які загартовуються в спеціальних печах під високими температурами.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

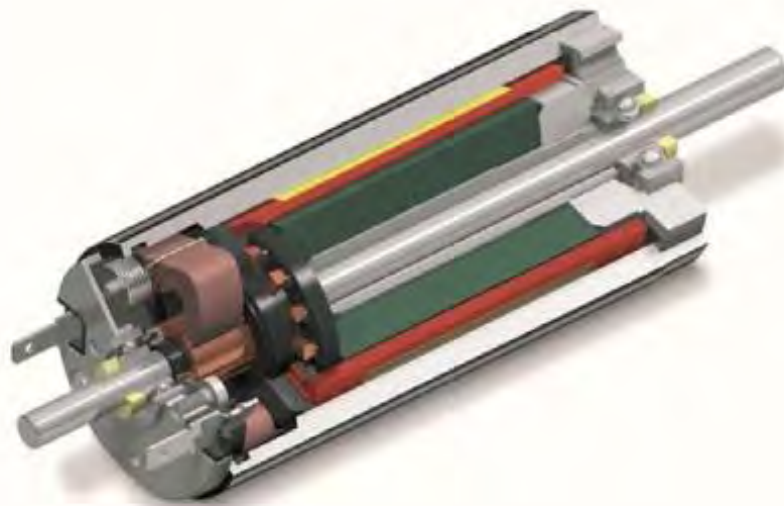


Рисунок 3.1 - Вигляд ДПС з графітовими щітками [25]

Загалом двигун постійного струму складається з наступних елементів: фланця, постійного магніта, корпусу, вала, обмотки статора, плати колектора, колектора, графітових щіток, електричних контактів, кулькових підшипників

Таблиця 3.1 - Параметри вибору двигуна

Параметр	Позначення
Передаточне число	i_p
Крок гвинта, м	t_b
Швидкість ходу, м	$V_{бх}$
Максимальна швидкість робочої подачі, м	$V_{роб\ max}$
Мінімальна швидкість робочої подачі, м	$V_{роб\ min}$
ККД коробки подач	η_1
ККД гвинтової пари	η_2
Маса рухомого вузлу станка, кг	$m_{уз\ ст}$
Коефіцієнт тертя в напрямних	$f_{тр}$
Діаметр гвинта, м	$D_{гв}$
Довжина гвинта, м	$l_{гв}$
Час розгону до $V_{бх}$, с	$t_{пп}$

В таблиці 3.1 наведені основні параметри вибору двигуна [26-30], серед яких передаточне число, крок двигуна, максимальна та мінімальна швидкості подачі, час розгону, діаметр та довжина гвинта та ін. Орієнтуючись на дані параметри та

методи їх обчислення нами проведено розрахунки для вибору оптимального двигуна лазерного CO2 верстата.

Розрахунок швидкостей двигуна.

Для визначення швидкості двигуна потрібно взяти відношення між швидкістю переміщення виконавчого органу та передаточним числом гвинт-гайки.

Швидкість для передачі гвинт-гайки :

- Максимальна

$$n_{\text{дв}} = \frac{V_{\text{max}} i_p}{t_b} = \frac{10000 * 1}{2} = 5000 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (3.1)$$

- Робоча

$$n_{\text{дв}} = \frac{V_{\text{max}} i_p}{t_b} = \frac{4000 * 1}{2} = 2000 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (3.2)$$

- Мінімальна

$$n_{\text{дв}} = \frac{V_{\text{max}} i_p}{t_b} = \frac{10 * 1}{2} = 5 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (3.3)$$

Визначення моментів інерції.

Приведений до валу двигуна момент інерції поступально виконавчого елемента лазерної установки.

$$J'_{\text{мех}} = m_{\text{уз ст}} \left(\frac{t_b}{2\pi} \right)^2 \frac{1}{i_p} = \left(\frac{0.002}{2\pi} \right)^2 = 9.09 * 10^{-7} \text{ кг * м}^2 \quad (3.4)$$

Приведений момент інерції ходового гвинта до валу двигуна.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$J'_b = \frac{\pi D_{cp}^4 l_b \gamma}{32 i_p^2} = \frac{3.14 * 0.008^4 * 0.3 * 7.8 * 10^{-7}}{32} = 9.4 * 10^{-7} \text{ кг * м}^2 \quad (3.5)$$

Приведений до валу двигуна сумарний момент інерції механічної системи приводу.

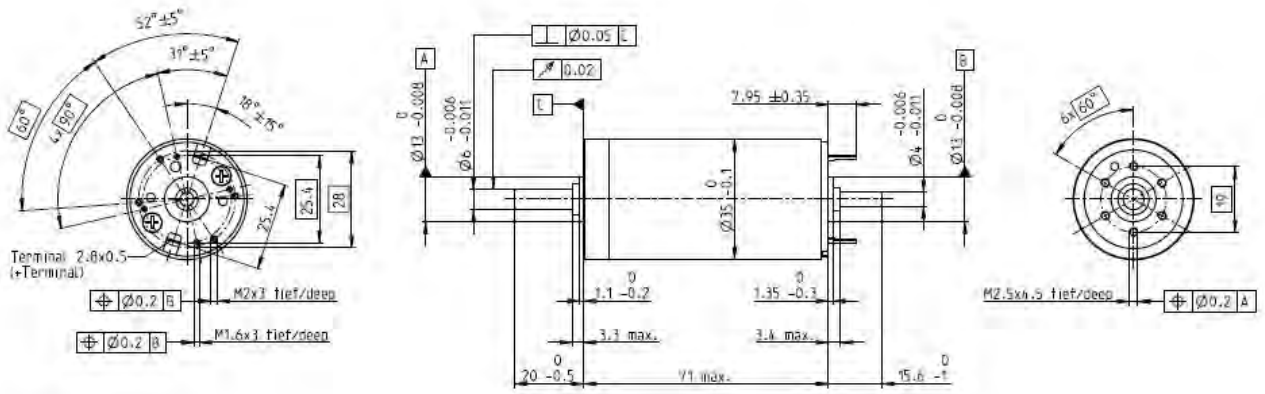
$$J'_\Sigma = J'_{\text{мех}} + J'_b = 9.09 * 10^{-7} + 9.4 * 10^{-7} = 18.49 * 10^{-7} \text{ кг * м}^2 \quad (3.6)$$

На основі проведених розрахунків за формулами (3.1-3.6) сформовано таблицю 3.2 з відповідними значеннями вибору оптимального двигуна для лазерного CO2 верстата.

Таблиця 3.2 - Розрахунок параметрів вибору оптимального двигуна для лазерного CO2 верстата

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
Маса	г	340
Максимальний ККД	%	84
Номінальна потужність	Вт	90
Номінальна напруга	В	30
Номінальне число обертів	об/хв	6420
Номінальний обертальний момент	mNm	92,4
Номінальна сила струму	А	2,5

Використовуючи отримані результати параметрів в таблиці 3.2 нами проведено аналіз техніко-технічних характеристик різних моделей та виробників двигунів. Найбільш точно отриманим розрахункам відповідає двигун Maxon motor RE35 (90 Вт), схема якого наведена на рисунку 3.2



М 1:2

Рисунок 3.2 - Двигун Maxon motor RE35 (90 Вт) [31]

Отже, у розділі було обрано двигун для приводу, що рухає головку лазерного верстата. В основному лазерні верстати з автоматизованою системою лазерного різання мають дві осі руху лазерного сопла (X, Y), тому потрібно два двигуна. Виходячи з аналітичної інформації і переваг, було розраховано мінімальну, середню та максимальну швидкості можливої роботи двигуна.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

3.2 Розрахунок параметрів головки лазера

Лазерний CO₂ верстат з АСК має головку, в якій фокусується лазерний промінь та направляється на заготовку, розплавляючи та розрізаючи її для надання потрібної форми .

Головка в лазерному верстаті з автоматизованою системою керування складається з корпусу, направляючого дзеркала, лінзи для фокусування лазерного променя та сопла. В корпусі є вхід для лазерного променя та підведення газу. Через сопло виходить сфокусований лазер та газ під тиском, який охолоджує лінзу та здуває випарений матеріал з місця різку.

Конструкцію лазерної головки зображено на рисунку 3.3



Рисунок 3.3 - Конструкція лазерної головки [32]

Основним елементом в лазерній головці є лінза для фокусування лазерного променя. Від її параметрів будуть залежати основні характеристики цієї головки. Тому далі проводяться розрахунки головних параметрів лінзи фокусування.

Одним із головних параметрів CO₂ лазера є розрахунок параметрів фокусувальної лінзи.

Вхідні дані для розрахунку лінзи:

- довжина хвилі – 9,4 мкм;
- діаметр лазерного пучка D – 12 мм;
- розбіжність випромінювання – 12 крат;
- матеріал лінзи – кварцове скло.

Для початку проведемо розрахунок фокусувальної лінзи, використовуючи відповідні формули [33,34] та виходячи з заданих параметрів таких, як діаметр випромінювання D=12 мм та довжина хвилі лазера $\lambda = 9,4$ мкм. Розбіжність випромінювання $\Theta = 12$ крат, тому емпіричний коефіцієнт ε , що враховує збільшення розбіжності в результаті не дифракційних причин, буде мати вигляд:

$$\varepsilon = \frac{\Theta * D}{1,22 * \lambda} \quad (3.7)$$

$$\varepsilon = \frac{12 * 10^{-3} * 12}{1,22 * 9,4 * 10^{-3}} = 12,56$$

Щоб вибрати оптимальну лінзу для забезпечення мінімальних аберацій, обчислюється параметр $C_{\text{опт}}$:

$$C_{\text{опт}} = \frac{2 * n^2 - n - 4}{2 * n^2 + n} \quad (3.8)$$

де n – це коефіцієнт матеріалу з якого виготовлена лінза. В нашому випадку $n=1,46$.

$$C_{\text{опт}} = \frac{2 * 1,46^2 - 1,46 - 4}{2 * 1,46^2 + 1,46} = -0,209$$

Далі розрахуємо абераційний параметр лінзи, який залежить від її показника переломлення n і співвідношення радіусів кривизни поверхонь:

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$\partial = \frac{1}{1 - \left(\frac{1}{n}\right)^2} * \left(\left(\frac{2}{n} + 1\right) * \alpha^2 - \left(2 + \frac{1}{n}\right) * \alpha + 1 \right) \quad (3.9)$$

де $\alpha = \frac{1}{1.46(1+0.209)} = 0.566$

Тепер підставивши значення в формулу отримаємо:

$$\partial = \frac{1}{1 - \left(\frac{1}{1.46}\right)^2} * \left(\left(\frac{2}{1.46} + 1\right) * 0.566^2 - \left(2 + \frac{1}{1.46}\right) * 0.566 + 1 \right) = 0.45$$

Далі потрібно визначити оптимальну фокусну відстань:

$$F_{\text{опт}} = 0,37 * D * \sqrt[3]{\frac{\partial * D}{\epsilon * \lambda}}, \quad (3.10)$$

$$F_{\text{опт}} = 0,37 * 12 * \sqrt[3]{\frac{0.45 * 12}{12.56 * 9.4}} = 1,59 \text{ мм}$$

Знайдемо радіуси кривизни сторін лінзи.

Для першої сторони:

$$r_1 = \frac{D * (n - 1)}{2 * \partial * n}, \quad (3.11)$$

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$r_1 = \frac{12 * (1.46 - 1)}{2 * 0.566 * 1.46} = 3,34 \text{ мм}$$

Для другої сторони:

$$r_2 = \frac{r_1}{C_{\text{опт}}}, \quad (3.12)$$

$$r_2 = \frac{3,34}{0,209} = 15,98 \text{ мм}$$

Тепер розрахуємо мінімальний діаметр лінзи, яка підходить під задані параметри:

$$d_{\min} = 0.67 * D * \sqrt[3]{\delta} * \sqrt[3]{\left(\frac{\varepsilon * \lambda}{D}\right)^2}, \quad (3.13)$$

$$d_{\min} = 0.67 * 12 * \sqrt[3]{0.45} * \sqrt[3]{\left(\frac{12.56 * 9.4}{12}\right)^2} = 28.28 \text{ мм}$$

Отримані результати розрахунків наведено в таблиці 3.3

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Таблиця 3.3 - Розрахунок параметрів фокусуєної лінзи CO2 лазера

Назва величини	Позначення	Значення
Емпіричний коефіцієнт	ε	12,56
Коефіцієнт оптимального положення площини аберації	$C_{\text{опт}}$	-0.209
Коефіцієнт аберації	∂	0,45
Оптимальна фокусна відстань	$F_{\text{опт}}$	1,59 мм
Радіус кривизни першої сторони лінзи	r_1	3,34 мм
Радіус кривизни другої сторони лінзи	r_2	15,98 мм
Мінімальний діаметр лінзи	d_{min}	28.28 мм

Наведені розрахунки допоможуть краще зрозуміти принцип роботи фокусуєної лінзи CO2 лазера та покращити її налаштування для різних умов та матеріалів обробки.

3.3 Розрахунок параметрів блоку керування

Для вирішення задачі даного пункту розглянемо об'єкт керування з його вхідними і вихідними даними, що зображений на рисунку 3.4.

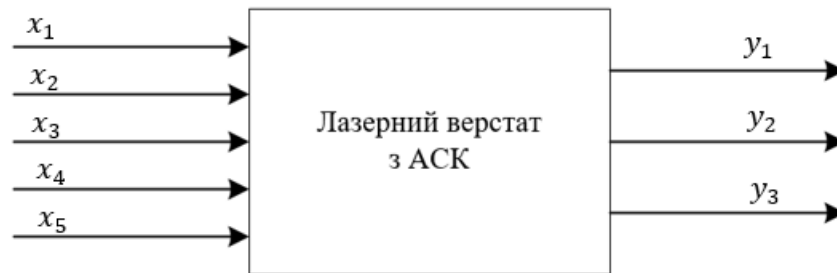


Рисунок 3.4 - Лазерний CO₂ верстат з АСК як об'єкт керування

Потужність лазера, яка визначає вибір матеріалу для гравірування та різання, максимальна глибина гравірування, швидкість лазера, що рухається вздовж поверхні і крок гравірування визначаються типом крокових двигунів (SM) і роздільна здатність лазера променя, який залежить від типу обраного лазера модуля, внаслідок чого необхідно налаштувати лазерний верстат з АСК для забезпечення якості різку та зображення гравірування [35] з вектором введення параметрів x_1 , x_2 , x_3 , x_4 і x_5 , а також вектор виходу параметрів y_1 , y_2 та y_3 , як показано на рисунку 3.4

Вектор вхідних параметрів включає кількість ліній зображення (лінії/мм), потужність і швидкість лазера (Вт), крок гравірування (мм) і роздільна здатність лазерного променя (dpi):

$$X = \{L, S, V, N, F\} \quad (3.14)$$

де L — кількість ліній, S — потужність лазера (Вт), V — швидкість лазера (м/с), N — крок гравірування (мм), F — роздільна здатність лазерного променя (dpi).

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Залежно від вимог до матеріалу, на якому буде виконуватися гравірування, параметри F і S можна змінити, встановивши більш потужний лазерний модуль. Всі інші параметри можна змінювати через систему керування верстатом.

Вектор вихідних параметрів включає щільність лінії на мм, час гравірування зображення та глибину прогорання, як показано в рівнянні наступним чином:

$$X = \{q, t, h\} \quad (3.15)$$

де q — щільність лінії;

t — час (с);

h — глибина прорізання (мм).

Аналіз зв'язку між вхідними та вихідними параметрами об'єкта керування дозволяють зробити наступні висновки в представленій роботі:

- кількість ліній L дозволяє досягти високої якості зображення в обхід лазера задану кількість разів;
- потужність лазера S встановлює діапазон роботи, пов'язаний зі швидкістю руху, щоб імітувати колір зображення, тобто глибина горіння = h ;
- швидкість руху лазера V залежить від апаратного забезпечення верстата, що впливає на час виконання завдання t ;
- крок гравірування N залежить від щільності отриманих ліній q , тобто щільності заповнення зображення;
- від роздільної здатності лазерного променя залежить рівень деталізації отриманого зображення, тобто якість виконання гравірування.

Щоб розрахувати параметри АСК лазерного верстата, спочатку необхідно вибрати такі компоненти, як плата керування, вимірювальний перетворювач температури, лазер та двигуни привода для переміщення лазерної головки. На основі аналізу зв'язку між вхідними та вихідними параметрами лазерного верстата пропонуємо структуру системи лазерного різання, як показано на рисунку 3.5

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54



Рисунок 3.5 - Структурна схема роботи автоматизованої системи керування процесом лазерного різання і гравірування.

Система керування лазерним верстатом з АСК та узагальнені основні параметри.

Відповідно до обраних елементів лазерного верстата з АСК та розробленої блок-схеми, зображеної на рисунку 3.5, необхідно надалі розробити систему керування для кожного елемента. Для цього пропонується використовувати теорію автоматизованого керування, де всі виділені елементи представлені у вигляді передавальних функцій. Передавальна функція є одним із способів математичного опису динамічної системи. У теорії автоматичного керування передавальна функція безперервної системи є відношенням перетворення Лапласа вихідного сигналу до перетворення Лапласа вхідного сигналу при нульовому початковому значенні [36], відповідно описана розроблена блок-схема керування верстака з АСК математично для кожного елемента через передаточну функцію [37].

Рівняння передавальної функції перетворювача має вигляд:

$$W_{sen} = \frac{0.4412}{0.2 * s^2} \quad (3.16)$$

Рівняння передавальної функції першого двигуна має вигляд:

$$W_{d1} = \frac{1}{0.1*s+1} \quad (3.17)$$

Рівняння передавальної функції другого двигуна має вигляд:

$$W_{d2} = \frac{1}{4.49*s+1} \quad (3.18)$$

Рівняння передавальної функції третього двигуна має вигляд:

$$W_{d3} = \frac{31.62}{0.4732*s+1} \quad (3.19)$$

Рівняння передавальної функції для лазерного модуля має вигляд:

$$W_l = \frac{4.49*s+1}{0.000398*s^2+0.01995*s+1} \quad (3.20)$$

Рівняння передавальної функції першого валу має вигляд:

$$W_{sh1} = 0.0335 * s + 1 \quad (3.21)$$

Рівняння передавальної функції другого валу має вигляд:

$$W_{sh2} = 0.1 * s + 1 \quad (3.22)$$

На основі розробленої структури, представленої на рисунку 3.5 і передавальних функцій, показаних у рівняннях (3.16-3.22), систему керування можна представити як структуру передавальних функцій, як показано на рисунку 3.5.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Наступним кроком є обчислення передавальної функції системи з відкритим і замкнутим контуром [37,38]

Передавальну функцію розімкненого контуру задано в наступному рівнянні:

$$W_p(s) = W_{mk}(s) * (W_{d1}(s) * W_{sh1}(s) + (W_{d2}(s) + W_{d3}(s)) * W_{sh2}(s)) * W_l(s) * W_{sen}(s) \quad (3.23)$$

В рівнянні нижче задано передавальну функцію замкнутого контуру:

$$W_3(s) = \frac{W_{mk}(s) * (W_{d1}(s) * W_{sh1}(s) + (W_{d2}(s) + W_{d3}(s)) * W_{sh2}(s)) * W_l(s)}{1 + W_{mk}(s) * (W_{d1}(s) * W_{sh1}(s) + (W_{d2}(s) + W_{d3}(s)) * W_{sh2}(s)) * W_l(s) * W_{sen}(s)} \quad (3.24)$$

Після підстановки рівнянь (3.16-3.22) у рівняння (3.23-3.24), загальна передавальна функція розімкненого контуру системи буде мати наступний вигляд:

$$W_p = \frac{2.098 * s^3 + 27.72 * s^2 + 69.71 * s + 13.95}{1.691 * 10^{-6} * s^7 + 0.0001902 * s^6 + 0.01062 * s^5 + 0.03212 * s^4 + 2.821 * s^3 + 5.103 * s^2 + s} \quad (3.25)$$

А функція замкнутого контуру:

$$W_p = \frac{2.098 * s^3 + 27.72 * s^2 + 69.71 * s + 13.95}{1.691 * 10^{-6} * s^7 + 0.0001902 * s^6 + 0.01062 * s^5 + 0.03212 * s^4 + 4.922 * s^3 + 32.82 * s^2 + 32.82 * s^2 + 69.71 * s + 13.95} \quad (3.26)$$

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

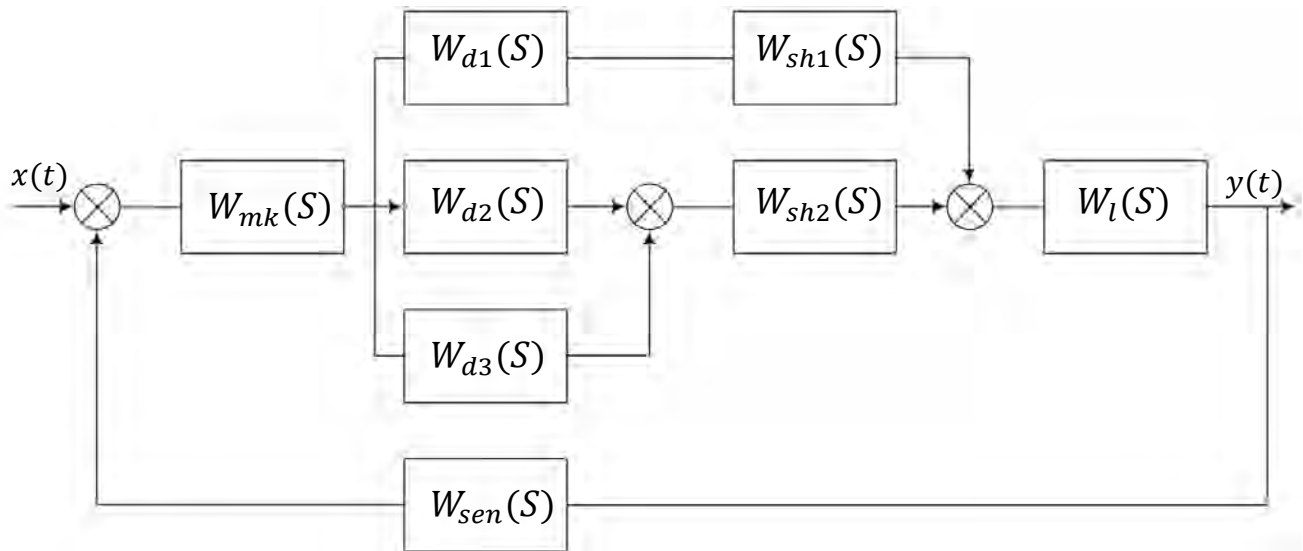


Рисунок 3.6 - Структура керування автоматизованої системи лазерного різання та гравірування

Наступним кроком є оцінка стабільності системи з відкритим контуром у коренях характеристичного рівняння. Для цього необхідно для передавальної функції замкнутої системи (3.26) вибрати знаменник у вигляді характеристичного рівняння (3.27) і знайти його корені рівняння (3.28). Якщо всі корені характеристичного рівняння мають однаковий знак (або всі від'ємні, або всі додатні), то система буде стабільною.

(3.27)

$$1.691 * 10^{-6} * \lambda^7 + 0.0001902 * \lambda^6 + 0.01062 * \lambda^5 + 0.03212 * \lambda^4 + 4.922 * \lambda^3 + 32.82 * \lambda^2 + 69.71 * \lambda + 13.95 = 0$$

$$\begin{cases} \lambda_1 = -25.3646 + 34.9229 * i; \\ \lambda_2 = -25.3646 - 34.9229 * i; \\ \lambda_3 = -24.0819 + 3.6019 * i; \\ \lambda_4 = -24.0819 - 3.6019 * i; \\ \lambda_5 = -10; \\ \lambda_6 = -3.3537; \\ \lambda_7 = -0.2227. \end{cases} \quad (3.28)$$

Рівняння (3.28) показує, що знак усіх коренів однаковий (негативний).

Це означає, що система стійка. Для побудови коренів характеристичного рівняння

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

(3.28) на комплексній площині використовується пакет додатків для вирішення технічних розрахункових завдань MatLab. Виходячи з умов стійкості лінійних систем автоматичного керування, які можна сформулювати так: система вважається стійкою, коли всі корені її характеристичного рівняння розташовані ліворуч від осі, тобто всі дійсні частини коренів від'ємні. Враховуючи, що достатньо мати одну дійсну частину будь-якого кореня в правій частині осі, щоб система була нестійкою.

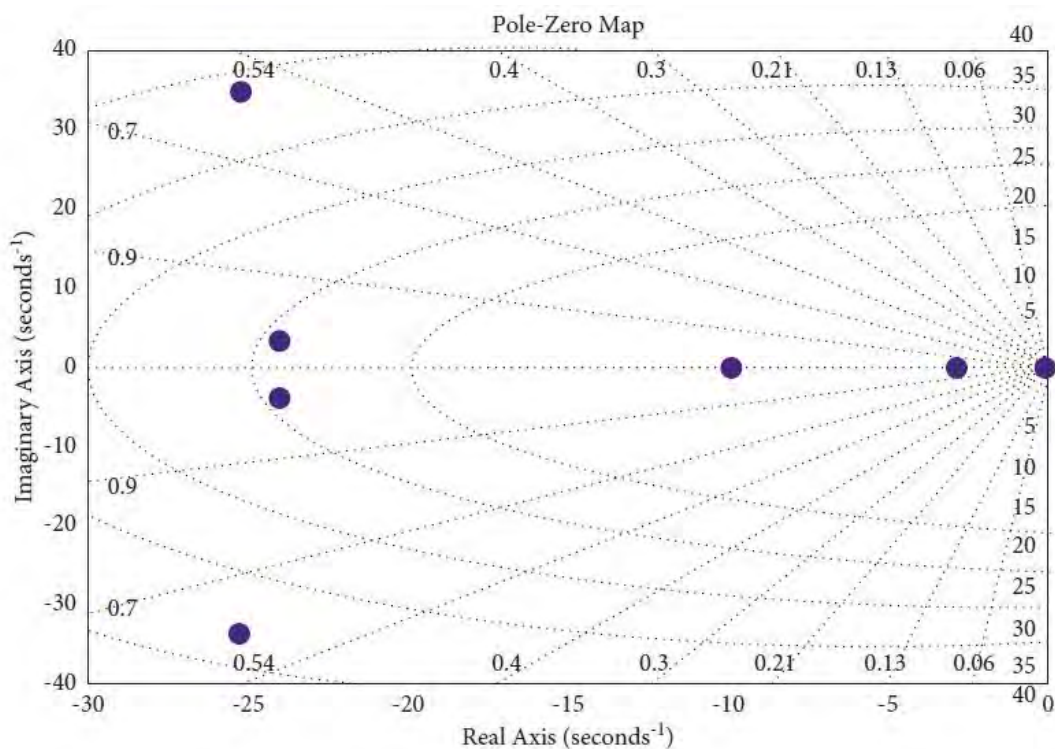


Рисунок 3.7 - Розташування коренів характеристичного рівняння

Як видно на рисунку 3.7 розташування коренів характеристичного полінома на комплексній площині розташоване вздовж осі u , де u — уявна частина, i вздовж осі x , де x — дійсна частина. Відповідно всі корені розташовані зліва від осі. Тому система вважається стабільною.

РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ЛАЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

4.1 Розрахунок швидкості лазерного різання

В даному пункті розраховується параметр «Швидкість різання» для матеріалів, що обробляються на лазерному верстаті з АСК.

Швидкість різання є одним з найважливіших параметрів в базі даних матеріалів, який вказується в одиницях вимірювання: мм/с.

Параметр швидкості описує рух лазерної головки. Високі швидкості призводять до короткої експозиції, повільні – до тривалої. Наприклад, коли TroLase гравірує великі площі, матеріали гравіруються на високих швидкостях від 80 до 100%. Для фотогравірування з великою кількістю деталей, наприклад, на дереві, швидкість не повинна перевищувати 10%. Цей параметр також впливає на якість лазерного різання.

Швидкість різання на лазерному верстаті з АСК залежить від багатьох параметрів, основні з яких – це: потужність лазерного променя, товщина заготовки та тип матеріалу який обробляється.

Параметр потужності лазера описує вихідну потужність лазера. При 100% продуктивність є максимальною. В основному висока потужність потрібна для різання щільних матеріалів, тоді як низькі значення використовуються, наприклад, для різання картону.

З формулою (4.1) проведемо розрахунок швидкості різання для різних матеріалів з різною товщиною та проаналізуємо результати.

$$V_p = \frac{P}{D * t} * A \quad (4.1)$$

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

де V_p – швидкість різання, P – потужність лазера, D – питома енергія різання, t – час опромінення, A – коефіцієнт поглинання матеріалу.

В свою чергу питому енергію різання можна розрахувати за наступною формулою:

$$D = \frac{E_{\text{лп}}}{h \cdot S} \quad (4.2)$$

де $E_{\text{лп}}$ – енергія лазерного променя;

h – товщина матеріалу, що обробляється;

S – площа місця прорізання.

Проведемо розрахунки та сформуємо таблицю з результатами для деяких типів матеріалів, які обробляються на лазерних верстатах з АСК таких, як дерево та акрил.

Для початку розраховуємо питому енергію різання значень для товщини оброблюваного матеріалу в межах від 1 мм до 10мм .

Енергія лазерного променя різання має значення $E_{\text{лп}} = 1$ Дж [39].

Площа місця прорізання розраховується за наступною формулою:

$$S = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (4.3)$$

де d – товщина різання, значення якої вказана у вхідних даних до дипломного проекту і дорівнює 0,76 мм.

$$S = 3,14 * \left(\frac{0,76}{2}\right)^2 = 0,45 \text{ мм} \quad (4.4)$$

Далі виконано обчислення питомої енергії різання, час тривалості опромінення та занесення розрахованих значень в таблиці 4.1 та 4.2.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Наступним кроком розраховуємо параметр швидкості лазерного різання для дерева та записуємо отримані значення в таблицю 4.1. Для цього використовуємо формулу (4.1). Записуємо коефіцієнт поглинання для дерева $A = 0,007$. Також з вхідних даних дипломного проекту беремо значення максимальної потужності лазера P .

Таблиця 4.1 – Розрахункові значення для швидкості різання дерев'яної заготовки

V (мм/с)	24,105	16,033	11,905	10,069	8,085	5,952	4,028
P (Ватт)	100	100	100	100	100	100	100
D (Дж/мм ³)	2,2	0,74	0,56	0,44	0,37	0,28	0,22
t (с)	0,0132	0,059	0,105	0,158	0,234	0,42	0,79
A	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
h (мм)	1	3	4	5	6	8	10

Розглянувши таблицю 4.1, бачимо, що при різанні дерев'яної заготовки різної товщини, змінюється і швидкість різання, натомість потужність лазера не змінюється. Це зумовлено тим, що при різанні такого матеріалу як дерево, параметру потужності лазера здебільшого задають високе значення, для максимальної ефективності на різних швидкостях різання. Дану залежність зображено на рисунку 4.2

На базі значень параметрів з таблиці 4.1 побудуємо графік залежностей швидкості різання від товщини дерев'яної заготовки та питомої енергії різання.

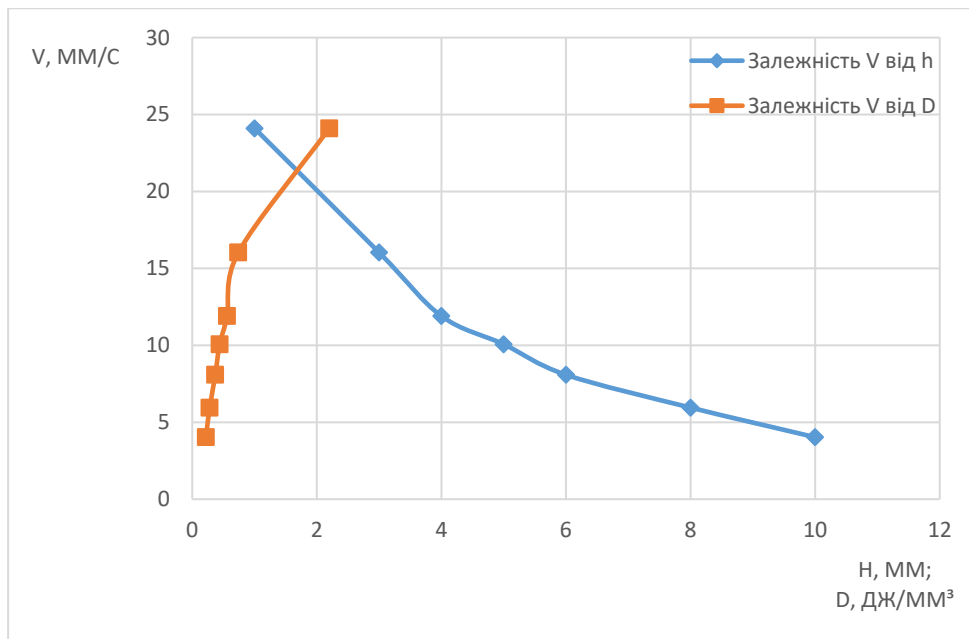


Рисунок 4.1 - Залежність швидкості різання лазера від товщини дерев'яної заготовки та питомої енергії різання.

Проаналізувавши рисунок 4.1 розуміємо, що залежність швидкості різання V від товщини заготовки h , є оберненою. Можна зробити висновок, що при збільшенні товщини заготовки з дерева, потрібно більше часу на прорізання матеріалу, це і зумовлює зниження швидкості різання. Натомість залежність питомої енергії різання до швидкості різання, є лінійною, оскільки процес різання матеріалу відбувається на максимальній потужності досліджуваного лазерного верстата.

Залежність швидкості різання від потужності лазера для різання дерев'яної заготовки відображено на рисунку 4.2.

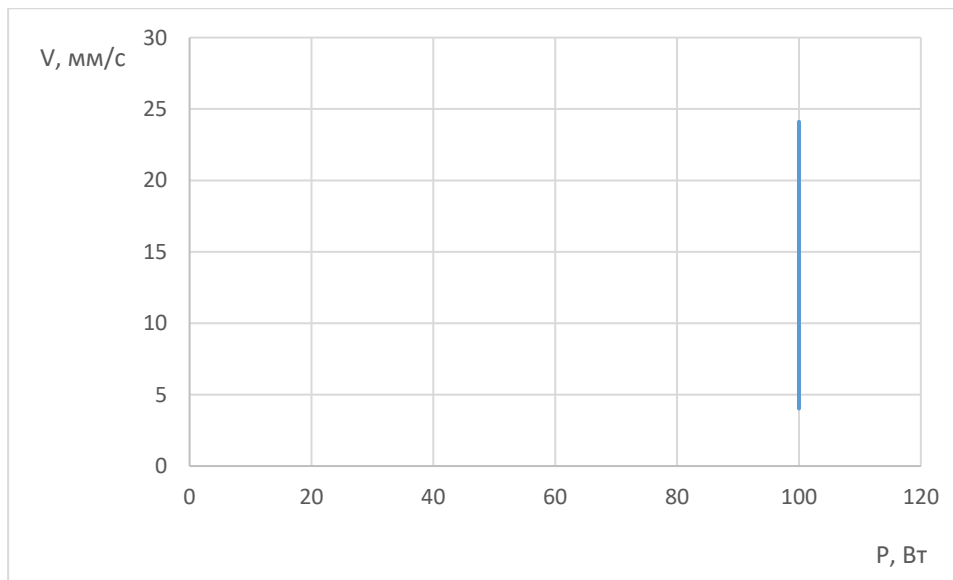


Рисунок 4.2 - Залежність швидкості різки від потужності лазера для різання дерев'яної заготовки

За аналогією розраховано параметри для різання акрилової заготовки та заносимо значення в таблицю 4.2. З довідкових таблиць визначаємо коефіцієнт поглинання для акрилу $A = 0,01$.

Таблиця 4.2 - Розрахункові значення для швидкості різання акрилової заготовки

V (мм/с)	34,091	25,338	11,905	10,953	10,199	5,060	3,788
P (Вт)	75	75	80	80	80	85	100
D (Дж/мм ³)	2,2	0,74	0,56	0,44	0,37	0,28	0,22
t (с)	0,01	0,04	0,12	0,166	0,212	0,6	1,2
A	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
h (мм)	1	3	4	5	6	8	10

Розглянувши таблицю 4.2 стає зрозуміло, що на відміну від різки дерева'яної заготовки під час різання акрилової, також змінюється і потужність лазера P.

Як і для дерева також побудовано графічну залежність швидкості різання лазера від товщини акрилової заготовки та питомої енергії різання.

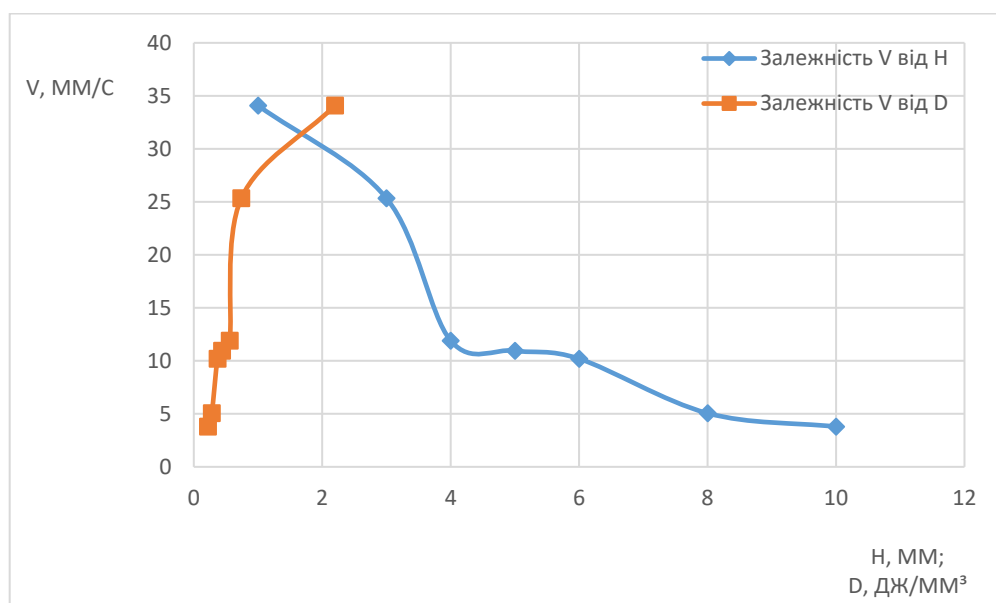


Рисунок 4.3 - Залежність швидкості різання лазера від товщини дерев'яної заготовки та питомої енергії різання

Після аналізу рисунка 4.3 можна сказати, що форма кривих змінилася в порівнянні з аналогічними кривими залежностей для дерев'яної заготовки, але характер залежностей залишився незмінний.

Залежність швидкості різання від потужності лазера для різання акрилової заготовки зображена на рисунку 4.4. Видно, що графік залежності має вигляд не прямої. Це означає, що для різної швидкості різання та товщини заготовки, існує оптимальна потужність лазера.

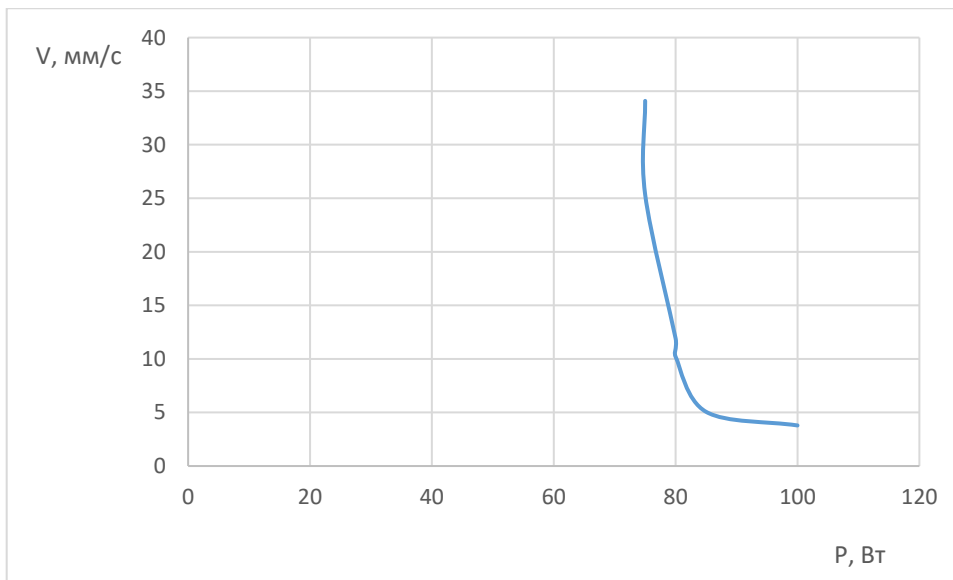


Рисунок 4.4 - Залежність швидкості різки від потужності лазера для різання акрилової заготовки.

Отже, у даному питанні було розраховано швидкість лазерного різання, а також, проаналізувавши отримані результати, були побудовані графіки залежностей швидкості різки лазера від товщини оброблюваного матеріалу та питомої енергії різання, також залежність швидкості різки від потужності лазера для різання заготовки та визначено залежності впливу на швидкість різки досліджуваних параметрів.

4.2 Розрахунок товщини матеріалу різання

Глибина різку лазерним верстатом з АСК визначається як максимальна, до якої проникає лазерний промінь в оброблюваний матеріал під час процесу різання. Ця глибина залежить від різних факторів, таких як потужність лазера, тип матеріалу, швидкість різку та інших параметрів елементів верстата.

У процесі лазерного різання, промінь концентрується на поверхні матеріалу, де відбувається його нагрівання. Під впливом тепла, матеріал може розплавлятися або випаровуватися, що дозволяє проникнути лазерному променю глибше в матеріал.

Глибина різку регулюється за допомогою налаштувань наступних параметрів лазерного верстата, зокрема потужності лазера та швидкості лазерної головки. Збільшення потужності дозволяє лазерному променю проникнути глибше в матеріал. Також різна швидкість руху головки суттєво впливає на глибину різку, наприклад низька швидкість руху дозволяє лазеру більше часу діяти на одну область, що також збільшує глибину різку в матеріалі.

Також варто враховувати, що глибина різку залежить від властивостей матеріалу, таких як його теплопровідність і поглинаюча здатність. Деякі матеріали можуть краще поглинати лазерний промінь і досягати більшої глибини різку.

Для розрахунку глибини різання лазерного верстата з АСК використовуємо формулу (4.5) [40].

$$H = \frac{2 \cdot A \cdot P}{(\rho \cdot v \cdot d \cdot \sqrt{\pi}) \cdot (C_p \cdot (T_v - T) + L_f)} \quad (4.5)$$

де A – поглинаюча здатність матеріалу;

P – потужність лазера;

ρ – щільність матеріалу

v – швидкість руху головки лазерного верстата;

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

d – товщина різку;

C_p – питома теплоємність оброблюваного матеріалу;

T_v – температура області різку;

T – температура навколишнього середовища.

Розрахунки проведено для двох типів матеріалів: дерево та акрил. В першу чергу обчислюємо глибину різку для дерев'яної заготовки. Вихідні данні [41] та результат обчислень за формулою (4.5) зображено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Розрахункові значення для глибини різку дерев'яної заготовки

H (мм)	1,130	1,695	2,260	2,712	3,391	4,521	6,781
A	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
P (Вт)	100	100	100	100	100	100	100
ρ (Г/мм ³)	0,00154	0,00154	0,00154	0,00154	0,00154	0,00154	0,00154
v (мм/с)	24	16	12	10	8	6	4
d (мм)	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
C_p ($\frac{Дж}{г \cdot ^\circ C}$)	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
T_v ($^\circ C$)	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
T ($^\circ C$)	19	19	19	19	19	19	19
L_f (Дж/г)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Проаналізувавши таблицю 4.3 стає зрозуміло, що при сталому значенні потужності лазера, зміна глибини різку в основному залежить від зміни швидкості руху лазерної головки. На основі даних даної таблиці побудовані графіки залежностей, які зображені на рисунках 4.5 та 4.6.

На рисунку 4.5 видно, що при незначних змінах низьких швидкостей роботи лазерного верстата значно змінюється допустима товщина оброблюваного матеріалу. Високій, при малій швидкості крива залежності рухається до горизонтального положення.

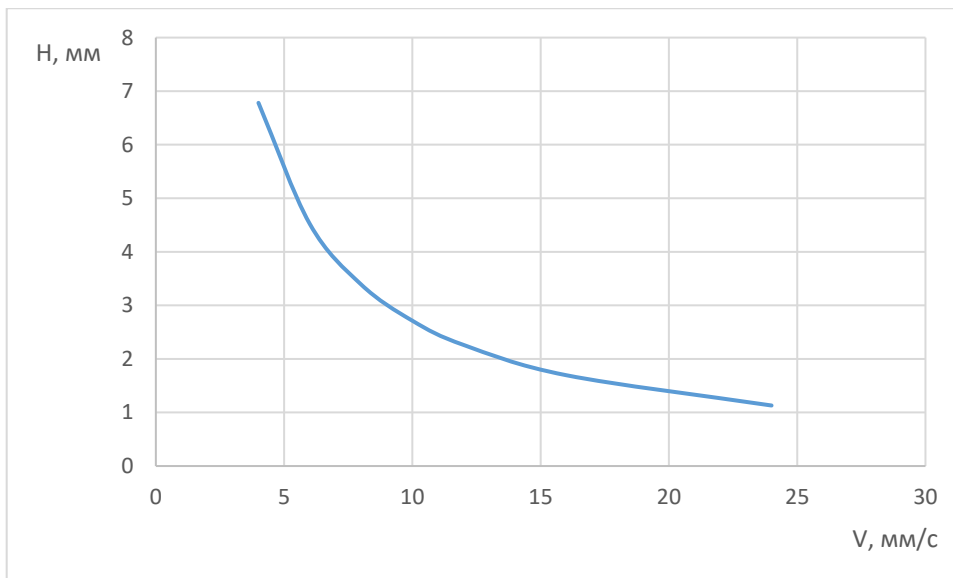


Рисунок 4.5 - Залежність глибини різку від швидкості руху головки лазерного верстата для дерев'яної заготовки.

На рисунку 4.6 зображено залежність глибини різку від потужності лазера для різання дерев'яної заготовки. З даного графіка випливає, що для дерев'яної заготовки, при зміні її товщини, потужність лазера залишається максимальною.

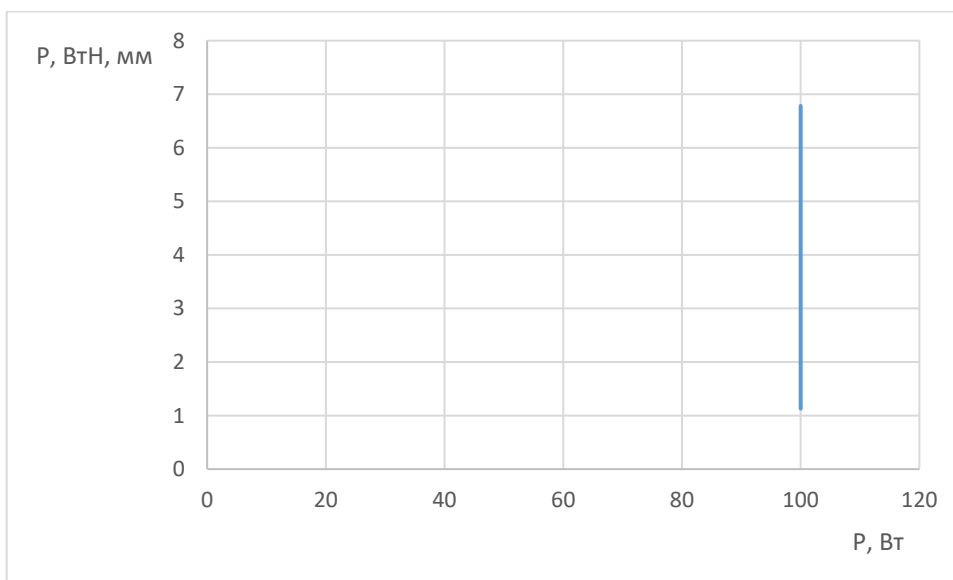


Рисунок 4.6 - Залежність глибини різку від потужності лазера для різання дерев'яної заготовки

Аналогічно до розрахунків для дерев'яної заготовки проводимо обчислення параметрів для акрилу. З довідників визначаємо необхідні параметри для акрилу, робимо розрахунок глибини різку та записуємо всі дані в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 - Розрахункові значення для глибини різку акрилової заготовки.

H (мм)	1,413	2,12	3,015	3,618	4,806	7,162	10,742
A	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
P (Вт)	75	75	80	80	85	95	95
ρ (г/мм ³)	0,00165	0,00165	0,00165	0,00165	0,00165	0,00165	0,00165
v (мм/с)	24	16	12	10	8	6	4
d (мм)	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
C_p ($\frac{Дж}{г \cdot ^\circ C}$)	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
T_v ($^\circ C$)	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
T ($^\circ C$)	19	19	19	19	19	19	19
L_f (Дж/г)	35	35	35	35	35	35	35

У таблиці 4.4 представлені результати розрахунків глибини різку акрилової заготовки. В першому рядку вказані результати обчислення формули (4.5) для різної швидкості руху головки лазерного верстата. Також, проаналізувавши дані таблиці, стає відомо, що під час різання акрилу також потрібно регулювати значення потужності лазера P . Це потрібно для контролю якості різку. Графіки даних залежностей зображено на рисунках 4.7 та 4.8

Крива залежності, яка зображена на рисунку 4.7 відрізняється від аналогічної для дерев'яної заготовки, але характер в них ідентичний.

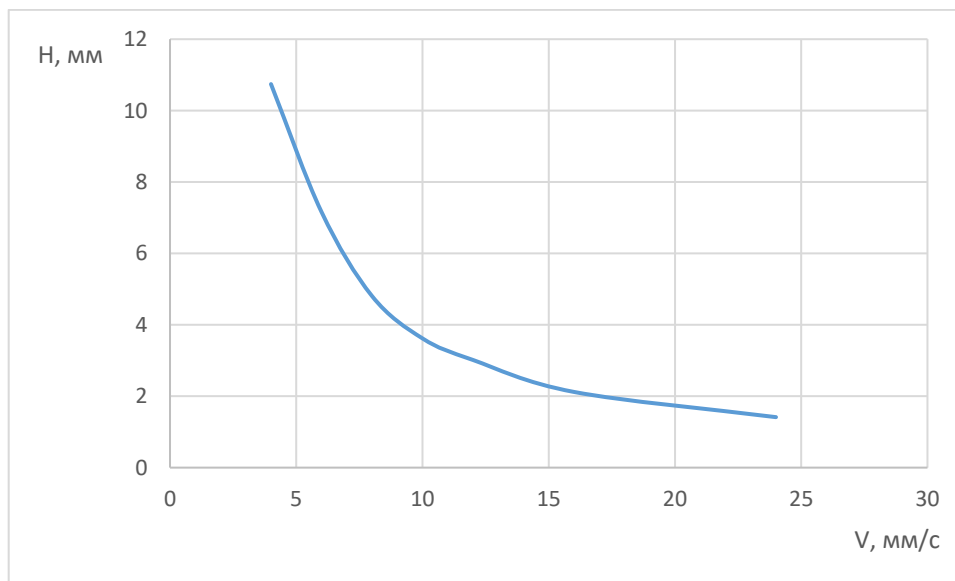


Рисунок 4.7 - Залежність глибини різку від швидкості руху головки лазерного верстата для акрилової заготовки.

Розглянувши залежність зображену на рисунку 4.8, можна побачити, що на відміну від дерева, при лазерному різанні, акрил потребує певного контролю потужності лазера.

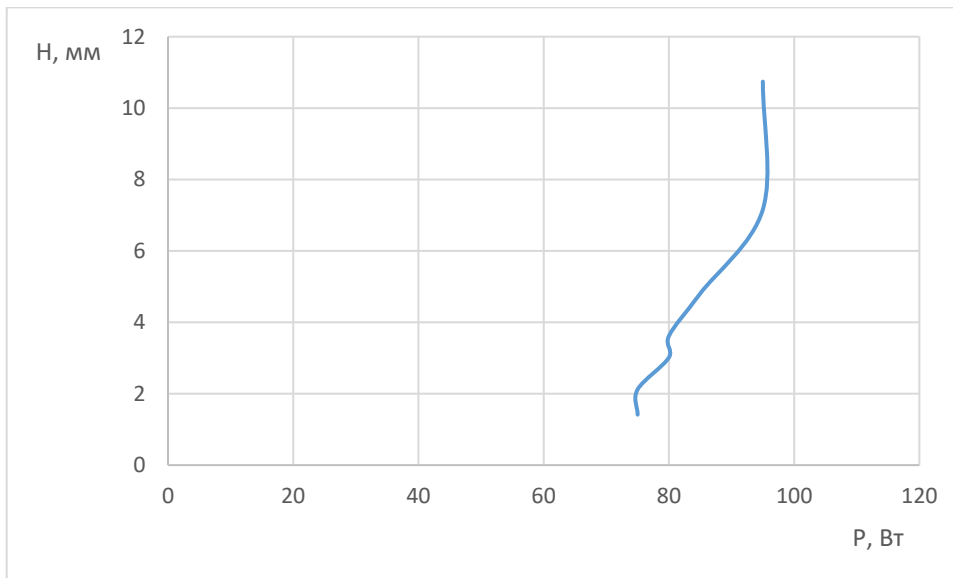


Рисунок 4.8 - Залежність глибини різання від потужності лазера для різання акрилової заготовки.

Отже, у розділі було розраховано глибину лазерного різання. Також, проаналізувавши отримані результати, були побудовані графіки залежностей глибини різання оброблюваного матеріалу від швидкості руху головки лазерного верстата, також залежність глибини різання від потужності лазера. Проаналізувавши дані таблиць 4.3 та 4.4 робимо висновок, що глибина різання залежить не тільки від налаштувань лазерного верстата з АСК, а і від властивостей оброблюваного матеріалу. Тобто можна зробити висновок, що для різних типів матеріалів існують свої оптимальні значення товщини заготовки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Автоматизація вплинула як на всі аспекти нашого суспільства, так і на майбутнє промислової автоматизації. Інтеграція штучного інтелекту у промислову автоматизацію означає, що виробничі системи можуть розпізнавати, аналізувати та приймати рішення самостійно, а інвертори забезпечують важливий зв'язок між системою управління та виконавчими механізмами.

Аналіз теоретичних джерел дозволяє стверджувати, що найрозповсюдженішим лазерним устаткуванням для верстатів з автоматизованою системою керування є CO₂ лазер. Такі верстати дозволяють нарізати великий спектр різних матеріалів (в основному неметалічних). Також вони мають порівняно з твердотільними лазерами простішу та надійнішу конструкцію, яка є набагато дешевшою в обслуговуванні. Тому велика кількість підприємств, як і малих, так і великих, обирають верстати з лазерним CO₂ устаткуванням.

У 3 розділі, на основі проведених розрахунків, було обрано двигун для приводу, що рухає головку лазерного верстата. В основному лазерні верстати з автоматизованою системою лазерного різання мають дві осі руху лазерного сопла (X, Y), тому потрібно два двигуна. Виходячи з аналітичної інформації і переваг, було розраховано мінімальну, середню та максимальну швидкість можливої роботи двигуна.

Також у цьому розділі було розраховано оптимальні параметри лінзи. Наведені розрахунки допоможуть краще зрозуміти принцип роботи фокуруючої лінзи CO₂ лазера та покращити її налаштування для різних умов та матеріалів обробки.

Щоб розрахувати параметри АСК лазерного верстата, спочатку необхідно вибрати такі компоненти, як плата керування, вимірювальний перетворювач температури, лазер та двигуни приводу для переміщення лазерної головки. На основі аналізу зв'язку між вхідними та вихідними параметрами лазерного верстата, запропоновано структуру системи лазерного різання.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

У четвертому розділі було розраховано швидкість лазерного різання, також проаналізовано отримані результати, були побудовані графіки залежностей швидкості різання лазера від товщини оброблюваного матеріалу та питомої енергії різання, також залежність швидкості різання від потужності лазера для різання заготовки та визначено залежності впливу на швидкість різання досліджуваних параметрів.

Крім того у четвертому розділі було розраховано глибину лазерного різання. Також проаналізувавши отримані результати, були побудовані графіки залежностей глибини різання оброблюваного матеріалу від швидкості руху головки лазерного верстата, залежність глибини різання від потужності лазера. Проаналізувавши дані таблиць 4.3 та 4.4 робимо висновок, що глибина різання залежить не тільки від налаштувань лазерного верстата з АСК, а і від властивостей оброблюваного матеріалу. Тобто можна зробити висновок, що для різних типів матеріалів існують свої оптимальні значення товщини заготовки.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Evolution in Der Industrieautomatisierung: [Електронний ресурс].–Режим доступу: <https://acim.nidec.com/de-de/drives/control-techniques/news-and-media/blog/insights/evolution-in-the-industrial-automation-industry>
2. Лазерна порізка металу: особливості та переваги. [Електронний ресурс].– Режим доступу: <https://nestandart.laris.ua/lazerna-porizka-metalu>
3. Лазерные технологические установки: [Електронний ресурс].–Режим доступу: https://online.mephi.ru/courses/new_technologies/laser/data/lecture/9/p2.html
4. M. Weck, C. Brecher: Werkzeugmaschinen. 5. Auflage. Band 1, S. 17.
5. A. Hirsch: Werkzeugmaschinen. Springer Vieweg, Wiesbaden 2000, S. 412.
6. Reimund Neugebauer (Hrsg.): Werkzeugmaschinen: Aufbau, Funktion und Anwendung von spanenden und abtragenden Werkzeugmaschinen. Springer, 2012, S. 16f
7. Доля В. М. Програмування, введення та відпрацювання управляючих програм для верстатів з ЧПУ та РТК: Навчальний посібник. - Харків: НТУ „ХПІ”, 2003. - 169 с.: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://web.kpi.kharkov.ua/cutting/wp-content/uploads/sites/143/2018/04/KLPRTK .pdf](http://web.kpi.kharkov.ua/cutting/wp-content/uploads/sites/143/2018/04/KLPRTK.pdf)
8. Steuerungssysteme Was ist das? Typen, Funktion und mehr: [Електронний ресурс].–Режим доступу: <https://trucoteca.com/de/Kontroll-systeme/>
9. Що таке лазер?: [Електронний ресурс].–Режим доступу: https://seltokphotonics.com/info/articles/shcho_take_lazer/
10. Революція в програмному забезпеченні ЧПУ: [Електронний ресурс].– Режим доступу: <https://sitelab-15.dss-bi.com.ua/index.php/statti/5-revoliutsiia-v-prohramnomu-zabezpechenni-chpu>
11. Технологические лазеры: вчера, сегодня и завтра. Журнал «Оборудование и инструмент для профессионалов. Металлообработка». Харків, 2015. №2. -

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

- С. 32-41: [Электронный ресурс].–Режим доступа: https://www.informdom.com/uploads/metal/15_2/32_TRUMPF_2015_2.pdf
12. Волоконно лазерный верстат MSFL1530: [Электронный ресурс].–Режим доступа: <https://mirstankov.com/uk/catalog/volokonno-lazernij-verstat-msfl1530/>
13. Дисковый лазер: [Электронный ресурс].–Режим доступа: https://www.trumpf.com/ru_RU/produkcija/laser/diskovyi-lazer/
14. Виды лазерных станков ЧПУ: [Электронный ресурс].–Режим доступа: https://lasergu.ru/novosti-akcii/vidy_lazernykh_stankov/
15. Принцип действия и основные типы лазерных станков с ЧПУ: [Электронный ресурс].–Режим доступа: <https://infolaser.ru/stati/printsip-dejstviya-i-osnovnye-tipy-lazernykh-stankov-s-chpu/>
16. Лазерні верстати з ЧПК: [Электронный ресурс].–Режим доступа: <https://abplanalp.ua/listoobrobni-lazerni-verstaty-chpu/>
17. Печалов О. Лазерный верстат як бізнес: [Электронный ресурс].–Режим доступа: <https://mirstankov.com/uk/lazernij-verstat-yak-biznes/>
18. Jeff Hecht «Laser instrument»: [Электронный ресурс].–Режим доступа: <https://www.britannica.com/technology/laser>
19. Лазерные технологические установки на основе CO₂-лазеров: [Электронный ресурс].–Режим доступа: https://online.mephi.ru/courses/new_technologies/laser/data/lecture/11/p2.html
20. Єнс Блідтнер, Хартмут Мюллер, Андреа Барц: «Лазерна обробка матеріалів», Hanser-Verlag, ISBN: 978-3-446-42168-4
21. J. Eichler, H. J. Eichler: «Laser designs, beam guidance, applications», Springer-Verlag, ISBN: 978-3-540-30149-3
22. Laserschneiden von Blechen - Laserschneider in der Materialbearbeitung: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.schneidforum.de/schneidwissen/laserschneiden/bleche-lasern>

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

23. Системи управління для лазерних граверів: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mirstankov.com/uk/shop/komplektuyuchi-dlya-chpu/komplektuyuchi-dlya-lazeriv/sistema-upravlinnya/>
24. Как работает лазерный станок, станок для лазерной резки: [Електронний ресурс].–Режим доступу: <https://virand.ru/2018/11/21/kak-rabotaet-lazernyj-standok-standok-dlya-lazernoj-rezki/>
25. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л., «Энергия», 1974. 840 с.
26. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов : учебник для вузов / О.П. Михайлов. – М. : Машиностроение, 1990. – 304 с.
27. Теорія автоматичного керування: Лінійні системи: Розрахунково-графічна робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Інжиніринг автоматизованих електротехнічних комплексів»/ Л. Я. Кулаковський, А.В. Босак; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,08 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 23 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/26330>
28. Теорія автоматичного керування: Методичні вказівки до виконання розрахункових робіт для студентів напрямку підготовки 6.051003 – Приладобудування; спеціальностей 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, денної та заочної форми навчання, електронне видання [Текст] / Уклад.: Н.І. Бурау, С.А. Мураховський, Д.О. Півторак. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 34 с.
29. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування : підруч. для студ. вищ. техн. навч. закл. – К. : Либідь, 2007.– 656 с.
30. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

31. Ключев В.И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов : учебник для вузов / В.И. Ключев, В.М. Терехов. – М. : Энергия, 1980. – 360 с.
32. Коваленко В.С., Котляров В.П., Дятел В.П. и др. Справочник по технологии лазерной обработки (Под общей редакцией Коваленко В.С.). – К.: Техника, 1985 – 167с.
33. What is it laser cutting?: [Электронний ресурс].– Режим доступу: http://engineerstudent.co.uk/laser_cutting.html
34. Справочник по технологии лазерной обработки (Под общей редакцией Коваленко В.С.). – К.: Техника, 1985 – 167с.
35. R. H. A. Hellsen, G. Z. Angelis, M. J. G. van de Molengraft, A. G. de Jager, and J. J. Kok, «Grey-box modeling of friction: an experimental Case-study», European Journal of Control, vol. 6, no. 3, pp. 258–267, 2000.
36. S. A. Frank, «Control theory Tutorial», in SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology, p. 112, Springer, Cham, 2018.
37. F. Golnaraghi and B. C. Kuo, Automatic Control System, p. 994, John Wiley&Sons.Inc, 2009.
38. W. Bolton, Control Systems Newnes, p. 192, 2002.
39. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Апаратно-програмне та медико-технічне забезпечення імплантів та медичних апаратів» для студентів спеціальності 163 - Біомедична інженерія освітня програма Інтелектуальні штучні імпланти та медичні апарати в біоінженерії / Уклад. С.В. Тимчик. Д.В. Гаврілов. – Вінниця : ВНТУ, 2020: [Електронний ресурс].– Режим доступу: https://bmi.vntu.edu.ua/bioart/program/APZ_pract.pdf
40. Physics of Laser Cutting: [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://alumni.media.mit.edu/~yarin/laser/physics.html>
41. Питома вага. Щільність деревини: [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://tehnopost.kiev.ua/drova/10-schlntst-derevini-pitoma-vaga.html>

					<i>ДПБ.ПМ-91.06.1720.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77