

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

# Проект верстату для лазерного гравіювання деталей та виробів

Галузь знань 14 Електрична інженерія  
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент  
4 курсу група ЕТ-21

  
Підпис

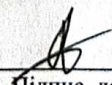
Даць М.О.  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

д.ф.,ст.викл. Поліщук А.О.  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

Пундик С.І.  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

Доцент, к.т.н. Неймак В.С  
Ініціали, прізвище

2 06 2025 р.

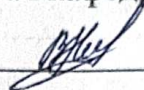
Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем  
Освітній рівень бакалавр  
Галузь знань 14 Електрична інженерія  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

  
\_\_\_\_\_

2. 06 2025

ЗАВДАННЯ  
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

**Даць Максим Олександрович**

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Проект верстату для лазерного гравіювання деталей та виробів**

Керівник роботи **Поліщук А.О., д.ф., ст.викл.**

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

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 25

2. Строк подання студентом роботи на кафедру \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: **типові верстати для лазерного гравіювання, технологічні характеристики процесу лазерного гравіювання.**

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ

2 ПРОЕКТУВАННЯ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ВЕРСТАТА

3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПРИСТРОЮ

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Аркуш 1. Огляд літературних джерел та аналіз конструкції лазерних вер

статів. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Блок-схема роботи пристрою

(A1). Аркуш 3. Структурна схема (A1). Аркуш 4. Функціональна схема

(A1). Аркуш 5. Конструкція верстата. Габаритне креслення (A1).

### 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1 Огляд та аналіз інформаційних джерел	11.05.25р.	
2 Проектування основних вузлів верстата	26.05.25р.	
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність пристрою	10.06.25р.	

Студент

Підпис

Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Ініціали, прізвище

## АНОТАЦІЯ

до бакалаврської роботи студента  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Даць Максим Олександрович
2. Тема бакалаврської роботи Проект верстату для лазерного гравіювання деталей та виробів
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 57

5. Ця робота присвячена вдосконаленню лазерного верстата для гравіювання, розширення його функціональних можливостей шляхом збільшення його робочої поверхні.

У роботі описується етапи розробки та реалізація конструкції вдосконаленого лазерного верстата для гравіювання.

В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам.

В першому розділі зроблено огляд та аналіз інформаційних джерел лазерів, історію розвитку лазерних технологій та характеристик параметрів лазерної різки та гравіювання.

В другому розділі розроблено блок-схему та описано алгоритм роботи пристрою, структурну схему та опис її елементів, функціональну схему, яка демонструє послідовність виконання операцій. Також було створено креслення лазерного верстата зі збільшеною робочою поверхнею та описано його компоненти. Було підбрано програмне забезпечення із урахуванням деяких факторів, таких як, простий інтерфейс та зручне завантаження зображень та інше.

В третьому розділі були проведені розрахунки, які підтверджують працездатність пристрою. Розрахунки проводились для вибору потужності крокового двигуна, швидкості гравіювання та системи охолодження.

Підпис студента

« 2 » 06 2025 р.

### РІШЕННЯ ЕК

Протокол 2 від «17» 06 2025 р.

Оцінка проєкту ЕК

5,0/А

Рекомендації ЕК

впровадження у виробництво




Особливі відмітки

Технічний секретар

«17» 06 2025 р.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ.....	6
1.1 Історія розвитку лазерних технологій .....	6
1.2 Огляд та аналіз інформаційних джерел лазерів .....	8
1.3 Характеристика параметрів лазерної різки та гравіювання.....	22
Висновок до першого розділу .....	27
2 ПРОЕКТУВАННЯ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ВЕРСТАТА .....	28
2.1 Створення блок-схеми верстата.....	28
2.2 Створення структурної схеми .....	30
2.3 Створення функціональної схеми .....	35
2.4 Опис лазерного верстата для гравіювання.....	37
2.5 Вибір програмного забезпечення .....	42
Висновок до другого розділу.....	46
3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПРИСТРОЮ .....	47
3.1 Розрахунок потужності крокового двигуна.....	47
3.2 Розрахунок швидкості гравіювання.....	49
3.3 Перевірка потужності вибраного лазера .....	50
3.4 Розрахунки системи охолодження .....	52
Висновок до третього розділу .....	53
ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	55
ДОДАТКИ.....	57

БРМА 25.00.00.000 ПЗ									
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проект верстату для лазерного гравіювання деталей та виробів	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Даць М.О						4	57
Перевір.		Поліщук А.О.							
Реценз.									
Н. Контр.		Пундик С.І.							
Затверд.								ХНУ зр. ЕТ-21-1	

## ВСТУП

Лазерна різка і гравіювання є однією з найсучасніших і найбільш ефективних технологій обробки різноманітних матеріалів, які сьогодні активно застосовуються у багатьох галузях. Лазерні верстати набули широкого поширення завдяки своїй здатності швидко й точно виконувати різноманітні завдання, від різки та гравіювання до маркування поверхонь, які вимагають складних і високоточних візерунків. Застосування лазерних верстатів охоплює такі галузі, як машинобудування, електроніка, меблеве виробництво, ювелірна справа, а також виготовлення рекламної продукції та сувенірів. З кожним роком зростає традиційно попит на високоточні лазерні технології, оскільки вони мають переваги над іншими методами обробки. Також, лазерні верстати забезпечують мінімальний тепловий вплив на матеріал, що дозволяє уникати його деформації, а також зменшують кількість відходів і підвищують швидкість обробки. В умовах швидкого розвитку промислових технологій все більш актуальним стає проектування лазерних верстатів з розширеною оброблюваною площею та вдосконаленими характеристиками точності й швидкості. Мета даного проекту полягає в розробці лазерного верстата для гравіювання та різки, яка буде забезпечена збільшеною оброблювальною площею, але зі збереженими технічними параметрами такі, як швидкість та якість обробки матеріалу.

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ

## 1.1 Історія розвитку лазерних технологій

Першим вченим, який заговорив про появу у фізиці абсолютно нового поняття – лазера, був Альберт Ейнштейн у 1916р. Ейнштейн довів, що атоми, перебуваючи в збудженому стані, можуть випромінювати світло при дії зовнішнього електромагнітного поля. Це випромінювання є когерентним, тобто всі фотони мають однакову фазу, напрям і частоту. Ця ідея заклала фундаментальні основи для створення лазерів, оскільки лазери працюють саме на принципі індукованого випромінювання. Але втілити теорію на практиці свого часу йому не вдалось.

Термін «лазер» є акронімом від англійського словосполучення Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, що перекладається як «підсилення світла за допомогою вимушеного випромінювання». Лазер - це пристрій, який генерує та підсилює вузький, інтенсивний осередок когерентного світла. В залежності від виконуваних функцій лазери можуть відрізнятися розмірами та своїми технічними характеристиками.

Перший крок до створення лазерів був зроблений через винахід мазерів. Мазер (мікрохвильовий підсилювач за допомогою індукованого випромінювання) був розроблений у 1954 році американським фізиком Чарльзом Таунсом та його колегами. Мазери працювали в мікрохвильовому діапазоні електромагнітного спектра і використовували принцип індукованого випромінювання для генерації когерентних мікрохвиль.

Мазери стали важливим науковим досягненням і проклали шлях до створення лазерів, хоча їхнє застосування було обмежене мікрохвильовим діапазоном. Важливо відзначити, що на той час фізики вже розуміли можливість застосування індукованого випромінювання для генерації когерентного

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

світла, що сприяло подальшим дослідженням у цій галузі.

Експериментальне підтвердження існування вимушеного випромінювання було доведено Р. Ладенбургом (Німеччина) і Г. Копферманном (Німеччина) у 1928 р. У 1960 році американський фізик Теодор Мейман вперше продемонстрував роботу оптичного квантового генератора – лазера, в якому як активне середовище використовувався кристал синтетичного рубіна. Цей лазер випромінював світло в червоному видимому діапазоні. Він використовував імпульсну енергію для стимуляції атомів у кристалі рубіну, що викликало когерентне випромінювання.[1]

Рубіновий лазер став першим пристроєм, який реалізував принцип індукованого випромінювання для генерації світлових хвиль. Це відкриття відкрило нові перспективи у сфері оптики, комунікацій та квантової фізики. Лазери мали величезний потенціал для використання у найрізноманітніших галузях, і ця технологія почала швидко розвиватися.

Після створення першого лазера почалася ера інтенсивних досліджень і розробок нових типів лазерів.

У 1962-1963 роках створюються перші напівпровідникові лазери. Цей тип лазера виявився надзвичайно важливим для розвитку мініатюрних лазерних пристроїв, особливо в сфері телекомунікацій. Напівпровідникові лазери швидко знайшли застосування в оптичних комунікаціях та оптоволоконних системах.

У середині 1960-х років також були розроблені лазери на барвниках, які мали можливість працювати в широкому спектрі частот, дозволяючи регулювати довжину хвилі випромінювання. Це зробило їх універсальними для використання в наукових експериментах та технологічних процесах.

У 1964 р. також розроблено та випробувано аргоний іонний лазер неперервної дії з випромінюванням у синьо-зеленій ділянці спектра (довжина хвилі 488 нм).[1]

Гелій-неонові лазери стали одними з перших, що отримали масове по-

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ширення у комерційному використанні. Завдяки можливості налаштування на випромінюванняу видимому червоному діапазоні, вони швидко знайшли практичне застосування у сфері побудови візуальних напрямних – для вирівнювання, геодезичних робіт, будівництва та іригаційних систем. Незабаром після цього рубінові лазери почали використовувати в офтальмології. Імпульсне випромінювання дозволило хірургам проводити операції із з'єднанням відшарованої сітківки без необхідності розрізування тканин ока – що стало революційним проривом у лазерній мікрохірургії.

Першим широкомасштабним застосуванням лазерів був лазерний сканер для автоматизованих кас у супермаркетах, який був розроблений у середині 1970-х років і став поширеним через кілька років. Незабаром з'явилися аудіо програвачі компакт-дисків(CD) і лазерні принтери для персональних ком'ютерів. Лазери стали стандартними інструментами в різноманітних застосуваннях. Наприклад, у лабораторії лазери допомогли фізикам охолодити атоми до мізерної частки градуса абсолютного нуля .[2]

У 1970-1980-х роках лазери почали активно впроваджуватися у різні галузі. В промисловості лазери використовувалися для різання та зварювання металів, оскільки дозволяли працювати з високою точністю і швидкістю. У медицині лазери стали незамінним інструментом для хірургічних операцій, корекції зору та косметологічних процедур.

Важливим напрямком стала оптична комунікація. Оптичнi волоконні лазери забезпечили швидку передачу інформації на великі відстані, що стало фундаментом для розвитку сучасного Інтернету та глобальних телекомунікаційних мереж.[3]

## 1.2 Огляд та аналіз інформаційних джерел лазерів

Лазер – це дивовижний пристрій, здатний генерувати високоенергетичні світлові промені з унікальними властивостями. З моменту свого винаходу

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

в середині двадцятого століття лазери завоювали широкий спектр застосування - від медичної хірургії до промислового виробництва і наукових досліджень. Їх монохроматичність, когерентність і здатність фокусувати світло в надзвичайно малі плями зробили їх незамінним інструментом у багатьох галузях промисловості. Сьогодні існує велика різноманітність лазерів з різними принципами роботи, довжинами хвиль коливань, вихідними потужностями та іншими параметрами. Розглянемо докладніше, які типи лазерів існують і де вони застосовуються.

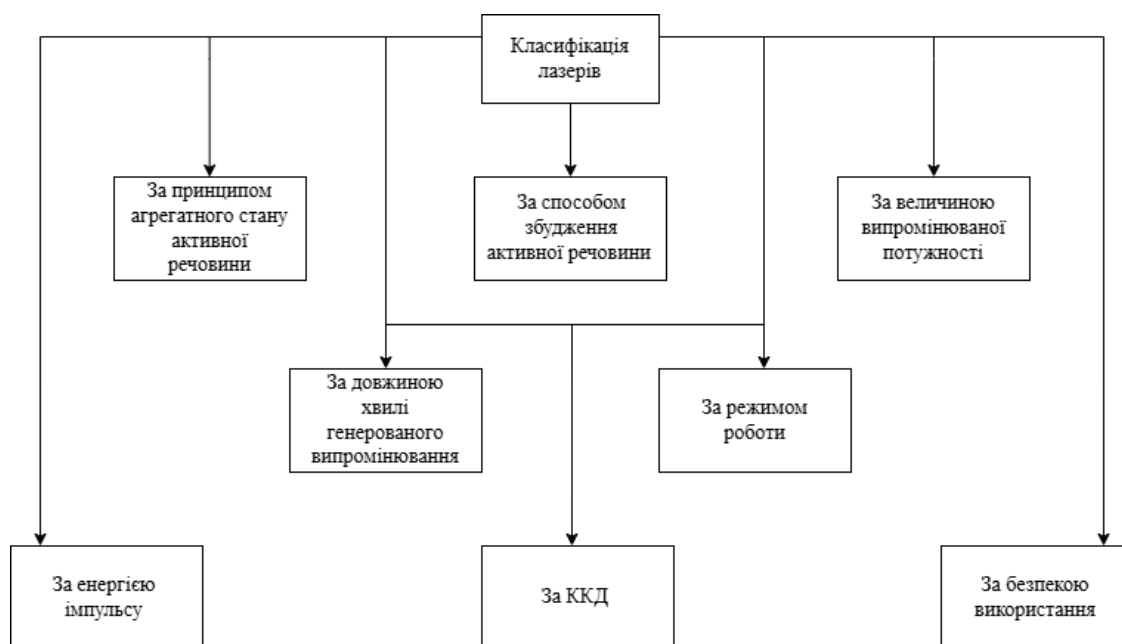


Рисунок 1.1 – Схема класифікації лазерів

Існуючі різновиди лазерів класифікують за такими основними ознаками:

1) за агрегатним станом активного середовища:

- твердотільні;
- рідинні;
- газові ;
- лазери на вільних електронах.

2) за методом збудження активного середовища (за способом накачування):

- з оптичним накачуванням;
- з електронно-променевим накачуванням;
- газорозрядні;
- діодні лазери;
- хімічні;
- лазери з використанням ядерної енергії;
- лазери з використанням сонячної енергії та інші.

3) за вихідною потужністю випромінювання:

- низько потужні (від 1 мВт до 10Вт);
- середньої потужності (від 1 кВт до 100 кВт);
- висопотужні (понад 1 МВт, до кількох десятків МВт).

4) за довжиною хвилі випромінювання: у межах від 1 нм до 1 мм;

5) за режимом роботи:

- безперервний,
- імпульсний,
- однократний;

6) за енергією імпульсу;

7) за коефіцієнтом корисної дії (ККД):

- від часток відсотка ( у деяких твердотільних лазерах);
- до 60% і більше (у діодних).

8) за рівнем безпеки при експлуатації.[3]

Серед усіх перерахованих типів найбільш поширеними, включаючи машинобудування, залишаються твердотільні лазери (рисунок 1.2).[4]



Рисунок 1.2 – Частка різних типів промислових лазерів

Активне середовище в класичних твердотільних лазерах зазвичай має форму стрижня – циліндричного або призматичного, виготовленого з люмінесцентних матеріалів. У переважній більшості випадків це штучно вирощені монокристали, зокрема синтетичний рубін, активований іонами хрому, або скло, доповнене неодимом та іншими активними домішками.

Найбільш поширеним методом збудження активного середовища є оптичне накачування. Воно здійснюється за допомогою інтенсивного світлового потоку, який створюється газорозрядними лампами (для імпульсної роботи), дуговими лампами ( у безперервному режимі), а також напівпровідниковими діодами або іншими лазерними джерелами.

Твердотільні лазери можуть функціонувати як в у режимі імпульсної генерації, так і в режимі безперервного випромінювання. Хоча раніше вони працювали лише в одному з цих режимів, сучасні ж модифікації забезпечують універсальність і дозволяють перемикання залежно від завдань.

Діапазон довжин хвиль, у якому працюють твердотільні лазери, охоплює видиму та ближню інфрачервону частини спектра. Сфера їх застосування надзвичайно широка: від технологій обробки матеріалів (для потужностей 50...500 Вт), лазерної спектроскопії, сенсорних систем, вимірювальної техніки до медицини та фундаментальних наукових досліджень. У тому числі твердотільні лазери використовуються у сфері термоядерного синтезу, де застосовують пристрої з надвисокими потужностями до  $10^7$  Вт.[3]

У твердотільних лазерах процес накачування реалізується за рахунок поглинання оптичного випромінювання у широкому енергетичному діапазоні спектра.[5] Після первинного збудження зазнають надзвичайно швидких переходів до рівнів, які мають не велику ширину, які мають визначення метастабільних. Основною їхньою особливістю є тривалий час життя, що значно перевищує відповідний параметр тривалості життя для інших збуджених станів. Конструкція твердотільних лазерів використовує моделі енергетичних рівнів. Вони можуть включати три або чотири стани, звідки і походить назва

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

три- і чотирирівневі системи енергетичних рівні (показано на рисунку 1.3).

Під час оптичного накачування атоми (квантові частинки) переходять у широкий спектр поглинання. Рівень  $E_3$  або  $E_4$  у випадку чотирирівневої системи. Далі вони швидко релаксують до метастабільного рівня  $E_2$  (або  $E_3$  у системі з чотирма рівнями), на якому можуть затримуватись на тривалий час. За умови достатньої потужності накачування виникає інверсія населеності – різниця в кількості частинок між основним та метастабільним рівнем. Саме завдяки цьому стану забезпечується можливість виникнення вимушеного випромінювання, яке реалізується через перехід з рівня  $E_2$  на основний (у випадку трирівневої системи) або з рівня  $E_3$  на допоміжний  $E_2$  (у випадку чотирирівневої системи).

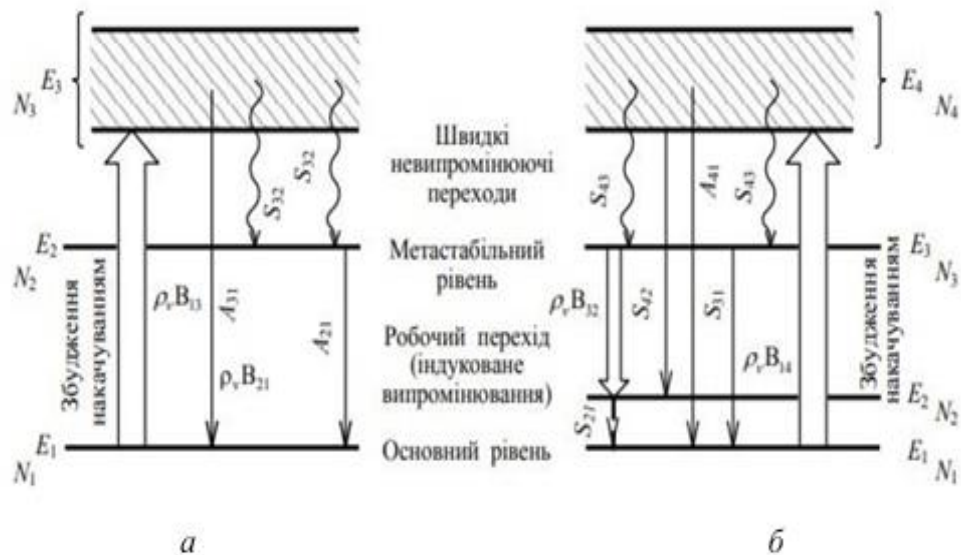


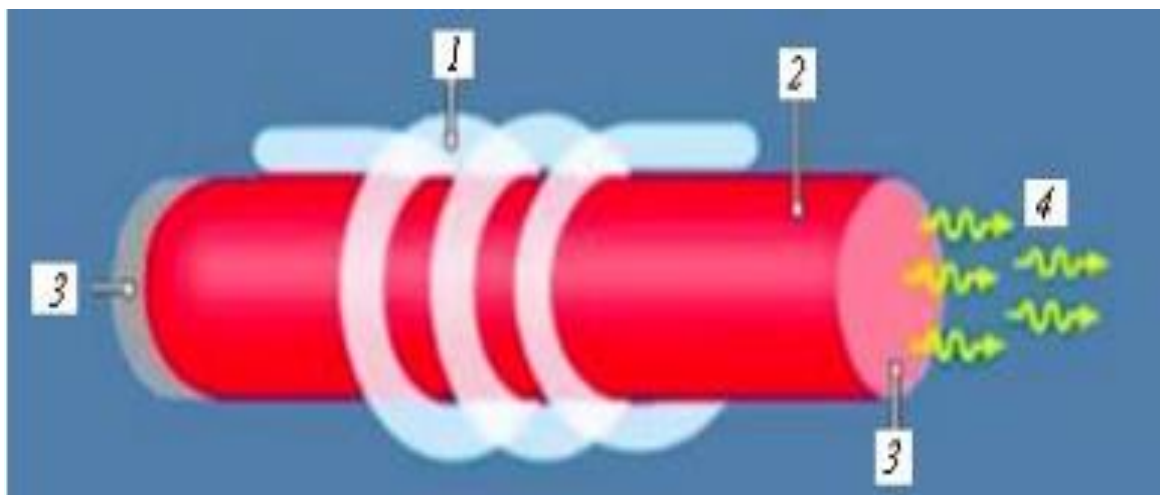
Рисунок 1.3 – Схеми квантових переходів: а – у трирівневому лазері; б – у чотирирівневому лазері

Заміна населеності енергетичних рівнів у лазерних системах відбувається завдяки трьом основним квантовим процесам: спонтанними переходами на нижні рівні, індукованим (вимушеним) випромінюванням і поглинанням, а також не випромінюючими переходами, які спричиняються тепловими коливаннями або взаємодіями з коливаннями кристалічної решітки. Хорошим прикладом трирівневої лазерної моделі є рубіновий лазер. Його голов-

ним недоліком вважається те, що для досягнення інверсії населеності необхідно перевести понад половину квантових частинок, що переходять із основного рівня на метастабільний. В результаті цього значна частина енергії, яку поглинають атоми, а це близько 80-85%, витрачається на нагрів активного середовища внаслідок не випромінюваного переходу з рівня E3 на E2.

У чотирирівневих системах, які лежать в основі сучасних твердотільних лазерів (наприклад, на склі, активованому рідкоземельними йонами, актинідами або YAG-матрицею та ін.), досягнення інверсії населеності відбувається між рівнями E2 і E3 за нижчих потужностей, що в свою чергу значно підвищує їхню ефективність.[4]

Одним із перших лазерів реалізованих на практиці був рубіновий лазер (рисунок 1.4). Як активне середовище в ньому використовують синтетичний монокристал рубіну – оксиду алюмінію  $Al_2O_3$ , легованого 0,05 вагових % 3-валентних іонів хрому –  $Cr^{3+}: Al_2O_3$ . При роботі в умовах кімнатної температури цей тип лазера випромінює в червоній (видимій) зоні спектра хвилі з довжиною близько 0,6943 мкм (694,3 нм).



1 – пристрій накачування; 2 – активний елемент з рубіну; 3 – неперозоре і напівпрозоре дзеркала; 4 – випромінювання.

Рисунок 1.4 – Схема отримання лазерного випромінювання за допомогою рубінового лазера

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лазери на основі рубіну належать до тривірневих систем, яким характерна необхідність подачі значної потужності для подолання порогу генерації лазерного випромінювання. Їхній коефіцієнт корисної дії зазвичай коливається в межах від 0,1 до 1%, це зумовлює обмежене застосування таких лазерів переважно в імпульсному режимі.[3]

Оскільки більшість класичних твердотільних лазерів демонструють низький енергетичний коефіцієнт корисної дії, перспективним напрямком є розробки лазерних систем на основі напівпровідникових (діодних) структур. Діодні лазери, як показують дослідження, можуть досягати ефективності понад 60%, що робить їх надзвичайно привабливими як у промисловому, так і в побутовому використанні.

Формально ці пристрої також відносяться до категорії твердотільних лазерів, однак мають ряд специфічних особливостей, тому вони розглядаються як окремий клас джерел випромінювання. Серед переваг діодних лазерів варто відзначити компактність, простоту виробничого процесу та їх високу економічність. Їхня технологія виготовлення є досить добре відпрацьована та широко застосовується в багатьох країнах.

Завдяки цим властивостям діодні лазери мають широке застосування – від високоточних методів обробки матеріалів і вимірювальних приладів до медичного обладнання, побутової техніки та індустрії розваг.

Їхня конструкція, а саме компактність, дозволяє легко інтегрувати їх у автоматизовані виробничі лінії.

У ролі активного елемента в таких лазерах виступають напівпровідникові кристали, наприклад, арсенід галію, арсенід індію, фосфат галію, кремній з домішками індію, селенід цинку, або сполуки свинцю.

Основу лазерної дії становить р-п перехід, через який проходить електричний струм. Саме у вузькій активній зоні, розташованій на межі між шарами р- та n- провідності, відбувається генерація лазерного випромінювання (рисунок 1.5).

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Як і в традиційних твердотільних лазерах, ця активна зона поміщається між двома відбивними поверхнями (наприклад, між дзеркалами), роль яких зазвичай виконують природні грані напівпровідникового кристалу, формуючи внутрішній оптичний резонатор.



Рисунок 1.5 – Схема формування випромінювання діодного лазера (а) та його загальний вигляд (б)

З метою збільшення вихідної потужності окремі діодні лазери поєднують у лінійні матриці (рисунок 1.6, а), які надалі компонуються в багатокомпонентні лазерні блоки – пакети або модулі (рисунок 1.6, б). Така конфігурація дозволяє досягати високих значень інтегральної потужності, яка наближається до значень близько 100кВт.

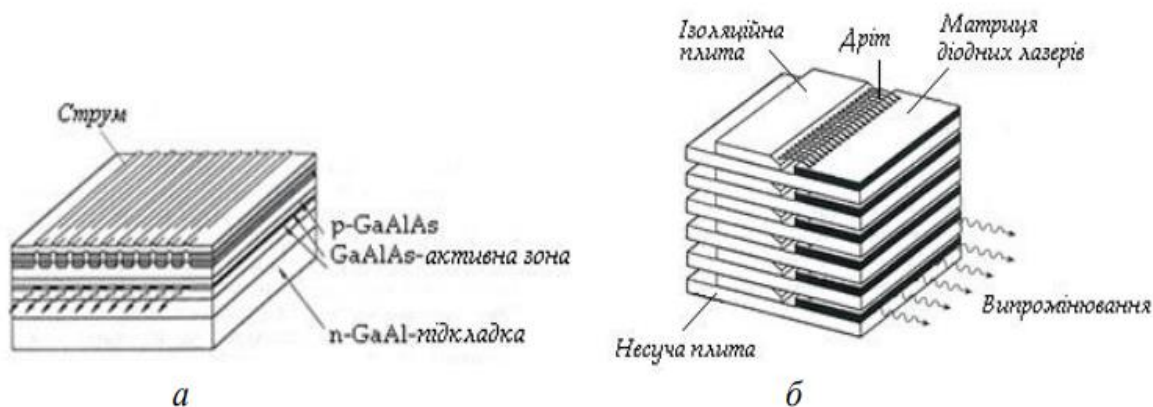


Рисунок 1.6 – Матриця (решітка) з декількох паралельно розташованих смужок лазерних діодів (а) та пакет (модуль) лазерних матриць (б)

Діодні лазери також активно використовуються як джерело накачування для класичних твердотільних лазерів, поступово витісняючи традиційні лампові системи накачування. Це значно підвищує загальну ефективність роботи твердотільного лазерного обладнання.[3]

Наступним етапом у розвитку лазерної техніки стало створення волоконних лазерів, в основі яких лежить використання активних елементів з волоконної оптики.

Особливістю таких лазерів є те, що процес збудження випромінювання відбувається у вузькому внутрішньому волокні (серцевині), діаметр якого може становити від кількох нанометрів до 100 мікрометрів. Ця серцевина виготовляється з оптично прозорого матеріалу – скла або полімеру – та розташовується всередині зовнішнього волокна-оболонки більшого діаметру (рисунок 1.7)

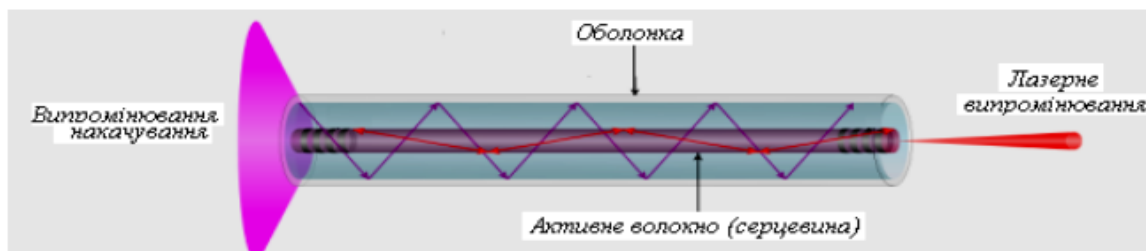


Рисунок 1.7 – Схема формування лазерного випромінювання у волоконних лазерах

Матеріал оболонки має мати нижчий показник заломлення порівняно із серцевиною, що забезпечує виникнення явища повного внутрішнього відбиття: світлове випромінювання не виходить за межі серцевини, а багаторазово відбивається від її меж і зберігається всередині волокна.

На практиці різницю між показниками заломлення серцевини та оболонки регулюють шляхом введення легуючих добавок. У типовому оптичному волокні ця різниця складає близько 1%.[3]

Для збудження волоконних лазерів зазвичай застосовують діодні дже-

рела випромінювання. Їхнє випромінювання вводиться у кварцове оптичне волокно завдовжки до кількох десятків метрів, на виході якого формується лазерне випромінювання необхідних параметрів (рисунок 1.8).

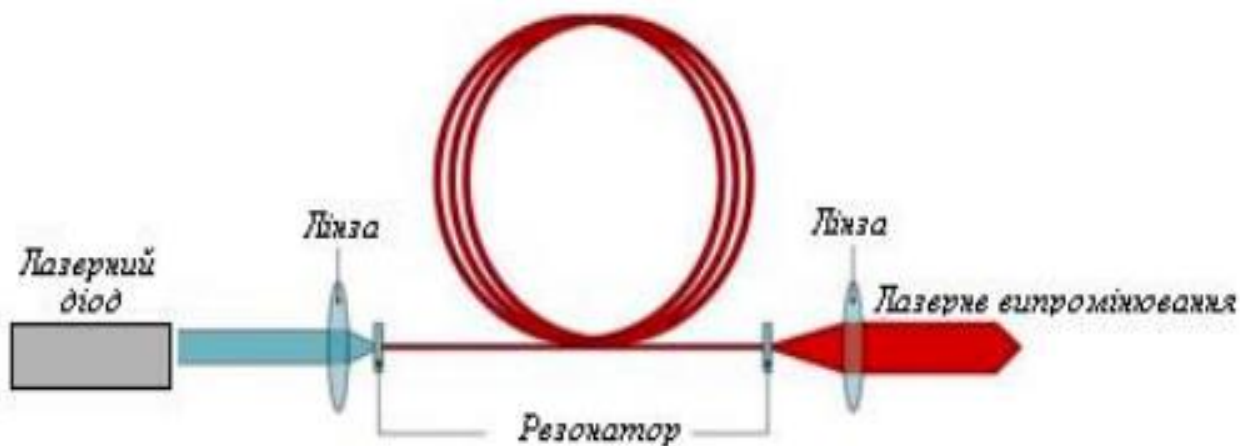


Рисунок 1.8 – Оптична система з волоконним лазером

Застосування активних середовищ на основі волоконної оптики забезпечує високу якість формування променя та високий коефіцієнт корисної дії енергетичного перетворення.

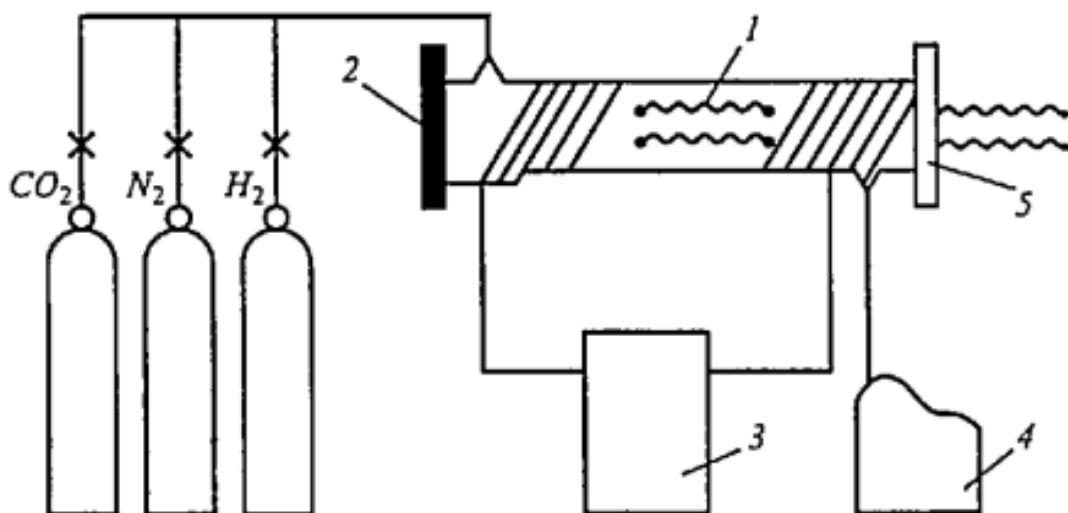
Волоконні лазери виявляють особливу ефективність у роботах з обробки матеріалів у важкодоступних місцях, у тому числі під час зварювальних процесів або в медичних застосуваннях.[3]

До класу газових лазерів відносяться пристрої, де активне середовище утворюється за допомогою газу, газовими сумішами або парами металів.

Їх характерною рисою активного середовища, яке знаходиться газовій фазі, є висока оптична однорідність, яка дозволяє використовувати резонатори великої довжини. Це сприяє отриманню випромінювання з високою спрямованістю та монохроматичністю.

Одним із найпоширеніших типів таких лазерів є вуглекислотний CO<sub>2</sub>-лазер (рисунок 1.9), що активно застосовується в промисловості, медицині та наукових дослідженнях. Газові лазери знаходять застосування в різних сфе-

рах: від машинобудування, будівництва й голографії до телекомунікацій, оборонної промисловості, космічних та медичних технологіях.



1 – заповнена газом розрядна трубка (активний елемент); 2, 5 – непрозоре та напівпрозоре дзеркала; 3 – джерело живлення; 4 – система відкачування для створення розрідження

Рисунок 1.9 – Схема газового лазера

У порівнянні з твердо тільними та напівпровідниковими аналогами, газові лазери вирізняються такими властивостями:

- 1) більшими габаритами;
- 2) вищою якістю випромінюваного променя;
- 3) високою потужністю в безперервному режимі;
- 4) високою стабільністю частоти генерації;
- 5) широким спектральним діапазоном генерації.

CO<sub>2</sub>-лазери функціонують на газовій суміші, яка зазвичай включає вуглекислий газ, азот і гелій (CO<sub>2</sub> + N<sub>2</sub> + He). Процес генерації полягає в переході молекул CO<sub>2</sub> між коливальними енергетичними рівням. При цьому азот забезпечує ефективне збудження верхнього лазерного рівня, а гелій – теплове відведення та розвантаження нижнього рівня завдяки енергетичним зіткнен-

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ням. Вміст гелію, як правило, становить від 60 до 80% газової суміші, хоча він безпосередньо не бере участі у генерації випромінювання.[3]

У рідинних лазерах як активне середовище використовуються молекули органічних барвників або неорганічні розчини.[6]

Використання рідин має низку переваг:

- 1) можливість легкого підбору складу активного середовища;
- 2) проста та швидка зміна робочих характеристик;
- 3) здатність прокачування середовища для стабільної роботи;
- 4) просте охолодження;
- 5) оптична однорідність.

Рідинні лазери, в яких активне середовище базується на органічних барвниках у воді чи органічних розчинниках, забезпечують безперервне перебудування довжини хвилі випромінювання.

Завдяки зміні барвника ці лазери здатні генерувати у надзвичайно широкому спектральному діапазоні – від ближнього ультрафіолету до інфрачервоного (від 320 до 1260 нм), тобто у всій видимій області спектра.

Лазери на неорганічних рідинах, які працюють як в імпульсному, так і безперервному режимі, демонструють вищу питому потужність порівняно з твердо тільними аналогами завдяки ефективнішому охолодженню активної речовини. У таких системах активними елементами часто виступають сполуки рідкісноземельних елементів.[3]

Типи лазерних ріжучих головок та їх застосування.

Лазерна ріжуча головка є ключовим функціональним елементом установки для лазерного різання, що забезпечує фокусування променя безпосередньо на поверхні оброблювального матеріалу. Вона, як правило, включає в себе модуль лінзи та сопловий вузол, змонтовані на мобільному порталі або кронштейні, який точно позиціонує промінь у задану точку розрізу. Крім того, в конструкції ріжучої головки присутня система дзеркал, які слугують для спрямування й точного фокусування лазерного випромінювання. Тип голов-

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ки може змінюватись залежно від фізичних характеристик оброблювального матеріалу, а також від специфіки технологічного процесу.[12]

Лазерна ріжуча головка є ключовим компонентом системи лазерного різання та гравіювання. Вона направляє лазерний промінь на матеріал і відіграє значну роль у визначенні якості та ефективності різу.

Основними компонентами є:

- сопло: направляє допоміжний газ (наприклад, кисень, азот) на зону різання, щоб видалити розплавлений матеріал та запобігти окисненню;
- лінза: фокусує лазерний промінь у точці для точного різання;
- датчики: визначають відстань між ріжучою головкою та матеріалом, щоб підтримувати оптимальний фокус і умови різання.

Здатність ріжучої головки точно й послідовно фокусувати лазерний промінь впливає на якість, швидкість і точність різання.

Види лазерних ріжучих головок.

1) Ріжучі головки з фіксованим фокусом.

Ці ріжучі головки мають фіксовану фокусну відстань, тобто відстань між лінзою та матеріалом є постійною. Найкраще підходить для матеріалів постійної товщини.

2) Ріжучі головки з автофокусом.

Ці головки автоматично регулюють фокусну відстань залежно від товщини матеріалу. Ідеально підходить для різання матеріалів різної товщини, цим самим підвищуюючи ефективність і якість різання, при цьому зберігаючи оптимальний фокус.

3) Ріжучі головки з ручним фокусуванням.

Фокусну відстань необхідно налаштовувати вручну відповідно до товщини матеріалу. Підходить для операцій з менш частими змінами товщини матеріалу. Часто використовується в невеликих майстернях або менш автоматизованих установках.

4) Ємнісні сенсорні ріжучі головки.

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Оснащений ємнісними датчиками для підтримки постійної відстані між ріжучою головкою та поверхнею матеріалу. Застосовуються у високоточному різанні, де критично важливо підтримувати постійну відстань різання.

5) Волоконно-лазерні ріжучі головки.

Спеціально розроблені для волоконних лазерних систем, які ефективно ріжуть відбиваючі матеріали, такі як алюміній і мідь. Широко використовуються в галузях промисловості, які обробляють відбиваючі метали завдяки їх високій ефективності та точності.

6) CO<sub>2</sub> лазерні ріжучі головки.

Призначена для лазерних систем CO<sub>2</sub>, які можуть різати, як метали, так і неметали. Має різноманітне призначення для різання металів, дерева, акрилу, пластику.

7) Потужні ріжучі головки.

Підходить для високопотужних лазерних систем (до 20 кВт і більше) призначених для різання товстих матеріалів на високих швидкостях. Застосовується в промисловості, де вимагається швидке та ефективне різання товстих матеріалів.

8) Ріжучі головки малої потужності.

Призначена для лазерних систем малої та середньої потужності. Ідеально підходить для різання тонких матеріалів і застосувань, які вимагають тонких деталей і точності.

9) Ріжучі головки з регульованим соплом.

Ці головки оснащені регульованим соплом для оптимізації швидкості потоку газу для різних умов різання.

10) Багатоосьові ріжучі головки.

Мають можливість переміщення по кількох осях для виконання складних розрізів і тривимірних форм.

Основні характеристики та технології.

- Технологія авто фокусування: використовує датчики для визначення

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

товщини матеріалу та автоматичного налаштування фокусної відстані. Забезпечує оптимальне фокусування для різної товщини матеріалу, покращує якість різання та скорочує час налаштування.

- Ємнісні датчики: підтримує постійну відстань між ріжучою головкою та матеріалом шляхом визначення ємності. Підвищує точність і запобігає пошкодженню ріжучої головки та матеріалу.

- Системи охолодження: запобігає перегріву ріжучої головки та оптики. Можуть бути з повітряним або водяним охолодженням, залежно від потужності лазера.

- Захисні вікна: захист лінзи та іншої оптики від сміття та забруднення. Зменшує частоту технічного обслуговування та продовжує термін служби компонентів ріжучої головки.

- Розумне зондування та моніторинг: можливість моніторингу умов різання в реальному часі та автоматичні налаштування. Покращує точність та ефективність різання, скорочує час простою.

- Високошвидкісне та точне різання: досягається завдяки вдосконаленню серводвигунів та систем керування для досягнення високих швидкостей та точних рухів. Перевагами є вища продуктивність та якість різання.[13]

### 1.3 Характеристика параметрів лазерної різки та гравіювання

Лазерне різання та гравіювання належать до сучасних методів обробки матеріалів, які базуються на використанні високо потужного сфокусованого лазерного випромінювання.[11]

Серед численних технологічних процесів, пов'язаних із застосуванням лазерів, різання є одним із найрозповсюдженіших – його частка становить близько 30-35% у структурі промислових застосувань лазерної техніки. Цей метод активно впроваджується в багатьох секторах – від авіаційної, суднобудівної та автомобільної промисловості до мікроприладобудування та медич-

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

них технологій.[7]

У традиційних системах переважали механічні способи різання, однак вони мають суттєві обмеження: низьку продуктивність, швидке зношення інструменту, а також труднощі або навіть неможливість виконання різання складних контурів – криволінійних або круглих.

Порівняно з традиційними методами, лазерне різання має низку переваг. Воно дозволяє працювати з найрізноманітнішими матеріалами, забезпечує надзвичайну точність за рахунок вузької фокусної області променя, мінімізує термічних вплив на зону обробки, не створює механічних навантажень на заготовку, характеризується екологічною чистотою процесу та високою загальною продуктивністю.[8]

Технологічно процес базується на локальному впливі лазерного променя, який спричиняє нагрівання, плавлення та випаровування матеріалу у зоні контакту. Лазерне різання може реалізовуватись у вигляді наскрізного прорізання, нанесення розміток, створення пазів, канавок тощо.

Застосування лазерної технології для різання як металевих, так і неметалевих матеріалів має низку переваг у порівнянні з традиційними методами механічної обробки:

- широкий спектр матеріалів, які піддаються лазерному різанню. Це можуть бути вуглецеві та леговані сталі, а також нержавіючі; кольорові метали – алюміній, титан, мідь та їхні сплави; а також неметалічні матеріали – скло, гума, деревина, кераміка, графіт, фанера, щільний картон, шкіра, різні полімери й мінерали;

- можливість отримання складних контурів з високою деталізацією – тонкі прорізи, фігурні вирізи з гострими кутами, вузькими перемичками та переходами без округлень;

- мінімальний тепловий вплив на зону обробки. У більшості випадків механічні характеристики оброблювального металу залишаються незмінними, а утворення окалини зведене до мінімуму;

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

- чистота процесу обробки, що дозволяє уникати додаткових хімічних або механічних впливів;

- можливість повної автоматизації, що забезпечує стабільну якість різання та високу продуктивність при серійному виробництві;

- обробка складних геометричних форм у двох та трьох вимірах, включаючи об'ємне різання. Обмежень щодо конфігурації деталей або рівня складності траєкторії практично не існує;

- висока точність і якість отриманих виробів, що особливо важливо при виготовленні складних деталей у дрібносерійному або штучному виробництві, де важлива кожна одиниця продукції.

У сучасному машинобудуванні спостерігається зростаючий попит на лазерне різання як металевих, так і неметалевих матеріалів. Найбільш оптимальні результати досягаються при роботі з такими товщинами матеріалу: для сталевих заготовок – від 0,2 до 30 мм; для алюмінієвих сплавів – в межах 0,2 мм – 20 мм; для мідних сплавів від 0,2 до 15 мм; для неметалів – до 50мм.

Ключовими технологічними параметрами режиму лазерного різання є:

- щільність потужності випромінювання  $q$ ;
- тиск і склад допоміжного газу;
- діаметр сфокусованої плями  $d$  і т. д.

У випадку імпульсному режимі до даних параметрів додаються:

- частота повторення імпульсів  $f$ ;
- тривалість імпульсів  $\tau$ .

Вказані параметри безпосередньо впливають на основні технологічні показники: точність, якість, продуктивність. Крім того, значення мають властивості самого матеріалу – його теплопровідність, здатність поглинати випромінювання, товщина, в'язкість тощо.

Рівень технологічної ефективності багато в чому залежить від ступеня автоматизації системи, стабільності параметрів та мінімізації похибок режиму обробки.

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

- Продуктивність процесу – характеризується швидкістю різання ( $V$ ), яка визначається потужністю випромінювання, властивостями матеріалу та робочими умовами. У багатьох випадках лазерна швидкість перевищує ту, що досягається при механічному різанні, і становить близько 1-10 м/хв для металу товщиною 0,25-0,5 мм. Для неметалевих матеріалів у сучасних лазерних системах швидкість може сягати 10-50 м/хв.

- Якість розрізу – визначається переважно рівнем шорсткості обробленої поверхні.[3]

Лазерне гравіювання – це сучасний метод нанесення графічної інформації на поверхню твердих або м'яких матеріалів шляхом локального термічного впливу сфокусованого лазерного випромінювання.[9]

Верстат для гравіювання складається з декількох елементів.

Корпус: визначає габаритні обмеження оброблювального матеріалу, забезпечує жорсткість конструкції та точне позиціонування. Також виконує захисну функцію, ізолюючи робочі компоненти від впливу зовнішніх факторів.

Механічна частина: відповідає за переміщення лазерної головки, точність відтворення контуру та стабільність роботи. Висока якість механічної частини – запорука надійної та довговічної експлуатації пристрою.

Лазерне джерело та система живлення: підбирається з урахуванням типу виконуваних завдань. Для обробки різних матеріалів можуть використовуватись джерела різної потужності або навіть дві лазерні головки.

Система охолодження: у простих моделях застосовуються водяні помпи, але вони вимагають постійного контролю. Надійнішим та ефективнішим вважаються системи повітряного або фреонового охолодження.

Система видалення продуктів обробки: повітряна помпа або витяжка запобігає потраплянню диму й часток продуктів обробки на оптичні компоненти, що особливо важливо під час гравіювання деревини, паперу або пластику.

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оптична система: включає у себе лінзи та дзеркала. Від правильного налаштування оптики залежить ефективність фокусування променя, точність та глибина гравіювання.

Контролер та програмне забезпечення: інтерфейс керування дозволяє зручно налаштовувати параметри обробки, вибирати режими роботи та завантажувати цифрові моделі.

Робоча поверхня (стілниця): обирається відповідно до габаритів оброблювальних деталей. Може бути оснащена елементами фіксації або магнітними тримачами, залежно від конструкції верстата.

Переваги лазерного гравіювання.

Серед основних переваг лазерного гравіювального обладнання виділяють наступні:

- висока швидкість обробки. Гравіювання зображень може здійснюватися зі швидкістю до 70 см/с, що значно перевищує показники традиційних механічних методів;

- підвищена якість результату. Завдяки точному фокусуванню променя зображення виходять чіткими, з високим рівнем деталізації, навіть при складній геометрії;

- об'ємне рельєфне гравіювання характеризується високою зносостійкістю. Контури зберігають чіткість навіть на м'яких матеріалах, які зазвичай деформуються при механічній обробці;

- універсальність матеріалів. Лазер здатний працювати практично з будь-якими типами матеріалів – як органічними, так і неорганічними;

- високий ступінь автоматизації. Процес повністю контрольований комп'ютером, що зводить до мінімуму помилку з людським фактором;

- чистота обробки. Навіть після одного проходу лазера утворюються рівні, гладкі краї зображення, які не потребують додаткової механічної обробки;

- безконтактний принцип дії. Відсутність механічного тиску дозволяє

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

обробляти крихкі, ніжні за своєю будовою деталі без ризику пошкодження;

- низький рівень шуму та запиленості. Обладнання функціонує практично безшумно, а кількість відходів під час роботи мінімальна;

- відсутність потреби у фіксації заготовки. Матеріал на робочому столі утримується без додаткових кріплень, що спрощує підготовку до роботи та скорочує час циклу.[10]

#### Висновок до першого розділу

У першому розділі дипломного проекту було розглянуто загальну інформацію про лазери та їх використання.

Підсумовуючи викладену інформацію можна сказати, що стрімкий розвиток лазерів розпочався у 80-х роках минулого століття і продовжує вдосконалюватись в наш час. Існує велика кількість типів лазерів завдяки яким вони використовуються у багатьох сферах. Ознайомившись з інформацією про лазери та їх види не можна виділити найкращий, оскільки кожен вид має свої переваги і недоліки відповідно до сфери застосування, але все ж таки найпоширенішими є твердотільні лазери.

Основна класифікація лазерів проводиться за принципом агрегатного стану активної речовини, способом збудження активної речовини, величиною випромінюваної потужності, довжиною хвилі генерованого випромінювання, режимом роботи, ККД

Основними перевагами лазерного гравіювання є висока швидкість та якість нанесення зображення на матеріал. У випадку лазерного різання висока точність різання, менші відходи та швидкість роботи. Також це зменшує ризик людського фактору виникнення помилок, оскільки процес автоматизований.

Отже, зробивши огляд та аналіз інформації про лазери, далі переходжу до проектування лазерного верстата для гравіювання.

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

## 2 ПРОЕКТУВАННЯ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ВЕРСТАТА

### 2.1 Створення блок-схеми верстата

Лазерний верстат складається з трьох основних частин, які показані на рисунку 2.1.

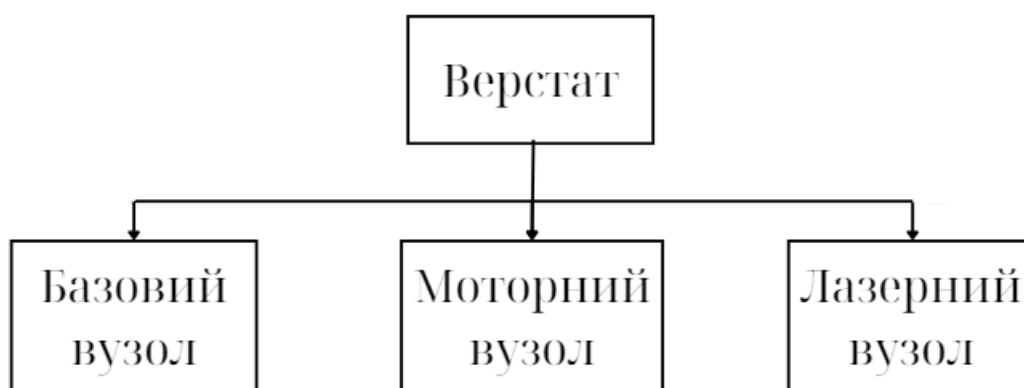


Рисунок 2.1 – Загальна схема верстата

1) Базовий вузол – основа верстата на якій монтуються усі інші компоненти потрібних для виконання призначених функцій.

2) Моторний вузол – призначений для кріплення крокових двигунів для руху по заданих осях.

3) Лазерний вузол – призначений для виконання заданих функцій, який керується контролером.

Для проектування верстата для початку потрібно розробити алгоритм його роботи. На рисунку 2.2 представлена блок-схема функціонування пристрою.

Алгоритм роботи даного пристрою наступний.

Для початку роботи потрібно відкрити програму на комп'ютері та підключити мікроконтролер за допомогою USB-кабелю.

Далі програма встановлює з'єднання з мікроконтролером та опрацьовує статус готовності до роботи.

На етапі введення даних користувач має змогу вибрати спосіб за допо-

могою якого він бажає вводити команди до гравера( введення команд вручну або налаштування за допомогою програми).



Рисунок 2.2 – Блок-схема лазерного верстата

При виборі користувачем налаштувань команд вручну вони можуть бу-

ти введені за допомогою клавіатури на інтерфейсі вводу, що надається командою.

Якщо режим введення за допомогою програми, для початку користувач повинен завантажити файл з вибраним зображенням для гравіювання. Далі гравер аналізує зображення та перетворює графічні дані на набір команд для виконання зображення лазером.

Також користувач повинен налаштувати параметри гравіювання, такі як, швидкість переміщення лазера, глибина гравіювання, розмір шрифту та інші.

Після цього програма генерує команди, які потрібно виконати (розрахунок координат, швидкість руху та регулювання потрібної потужності лазера).

Після цього етапу починається процес гравіювання.

При завершенні роботи верстат повертається в початкове положення.

## 2.2 Створення структурної схеми

В даному дипломному проєкті лазерний гравер розробляється на платформі Arduino.

Лазерний верстат живиться від імпульсного блоку живлення напругою 12В.

Структура схема пристрою представлена на рисунку 2.3 і містить наступні елементи:

- 1) платформа Arduino Nano;
- 2) блок живлення;
- 3) стабілізатор напруги;
- 4) драйвери крокових двигунів;
- 5) крокові двигуни;
- 6) лазерний модуль.

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

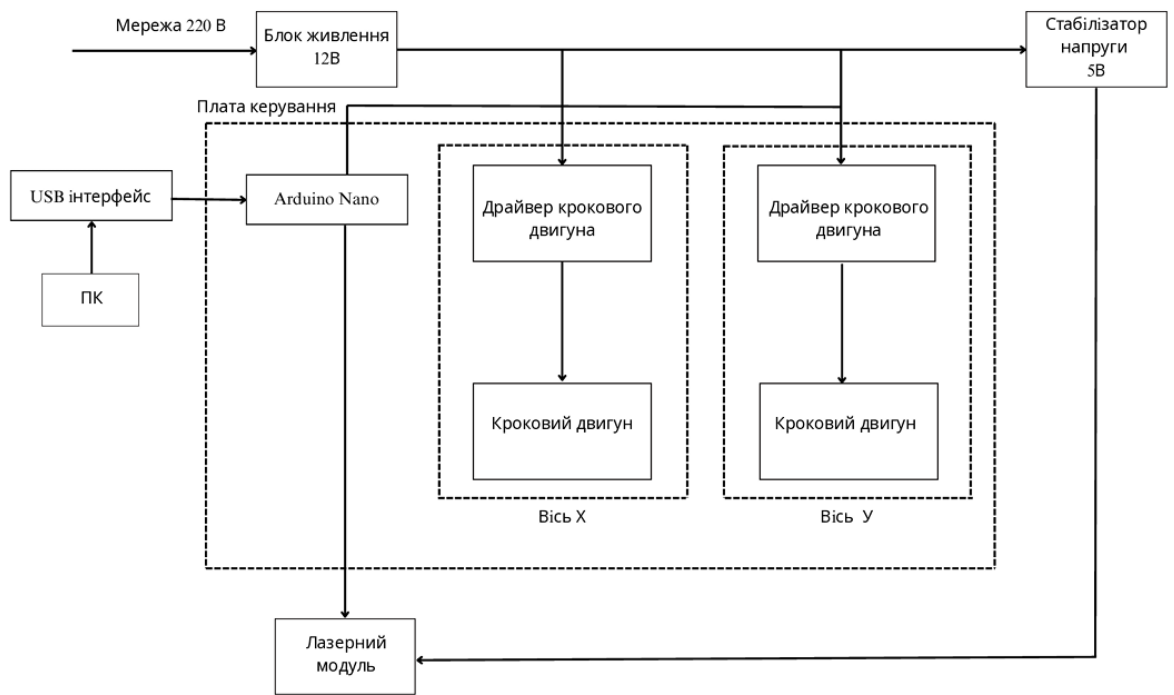


Рисунок 2.3 – Структурна схема лазерного верстата

Плата Arduino Nano з усіх плат Arduino була вибрана, оскільки є невеликою в порівнянні з іншими, але функціоналом не поступається. Також є відкритою у користуванні та легкою в освоєнні.

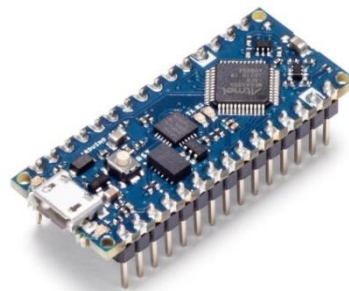


Рисунок 2.4 – Вигляд Arduino Nano

Призначена для опрацювання сигналів, які надходять з комп'ютера.

Основні характеристики Arduino Nano:

- 1) мікроконтролер функціонує на тактовій частоті 16 МГц та обладнаний флеш-пам'яттю обсягом 32 КБ, з яких 2 КБ використовується під завантажувач;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2) завдяки компактним розмірам, довжина 45 мм та ширина 18 мм – Arduino Nano є однією з найменших плат в лінійці Arduino. Вага пристрою становить лише 7 грам.

3) плата спеціально адаптована для використання на макетних платах – усі виводи забезпечені роз'ємами, що дає змогу легко встановлювати її у стандартну макетну схему без додаткових підключень.

Драйвер крокового двигуна (рисунок 2.5) призначені для забезпечення сумісності рівнів напруг або струму між Arduino і кроковими двигунами.



Рисунок 2.5 – Драйвер крокового двигуна

Основні технічні параметри драйвера:

- 1) робоча напруга живлення – у діапазоні від 8 до 35 В, що дозволяє використовувати пристрій у системах з різними джерелами живлення;
- 2) підтримка режимів мікрокрокового управління – 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, що забезпечує плавність і точність руху крокових двигунів;
- 3) рівень логічної напруги – від 3 В до 5,5 В, що забезпечує сумісність з різними мікроконтролерами;
- 4) наявність вбудованого захисту від перегріву, що підвищує надійність та безпечність експлуатації.

На рис.2.10 представлено функціональну схему, на якій присутня схема драйвера для крокових двигунів.

Призначення пінів драйвера:

- ENABLE – активує або деактивує роботу драйвера;

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

- MS1, MS2, MS3 – використовуються для налаштування режиму мікрокрокового управління;
- RESET – виконує скидання всіх внутрішніх налаштувань мікросхеми;
- SLEEP – вводить драйвер у режим зниженого енергозбереження. У цьому стані більшість функціональних блоків вимикаються. Після виходу з цього режиму двигун зберігає положення останнього мікрокроку;
- STEP – кожен імпульс на цьому вході викликає один мікрокрок двигуна;
- DIR – визначає напрямок обертання крокового двигуна;
- VMOT – джерело живлення силового ланцюга драйвера, а також самого двигуна;
- GND – земля для логіки та силової частини;
- 2B, 2A, 1A, 1B – виходи для підключення обмоток крокового двигуна;
- VDD – забезпечує живлення логічної частини драйвера (діапазон 3,5 - 5В).

Лазерний модуль для гравіювання – це пристрій, який генерує вузький пучок лазерного світла, призначений для точного впливу на різні матеріали, такі як дерево, пластик, шкіра, метал, акрил та інші. Лазерні модулі забезпечені напівпровідниковим лазером (лазерним діодом) і можуть мати різну потужність.



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд лазерного модуля

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Кроковий двигун – це безщітковий електродвигун постійного струму, що перетворює електричну енергію на механічну. Відмінною особливістю таких двигунів є їхня точність, швидкість і потужність. Стандартне значення кроків для одного повного обертового вала становить 200 кроків на 360°, тобто для завершення одного оберту двигун виконує 200 кроків.

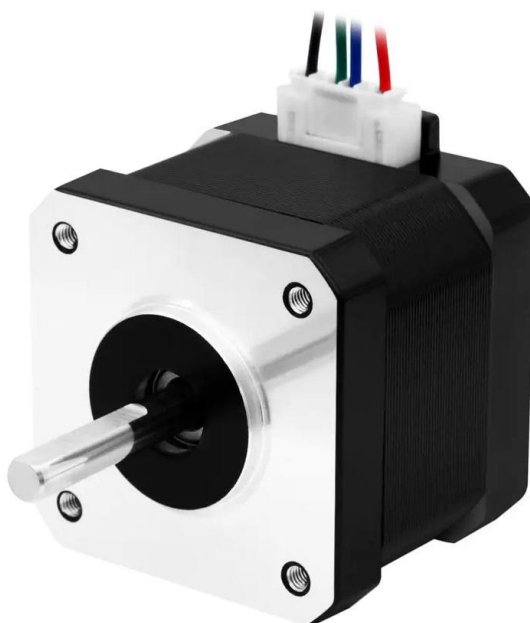


Рисунок 2.7 – Кроковий двигун

Крокові двигуни виконують функцію руху по заданих координатах.

Стабілізатор напруги вирівнює стрибки вхідної напруги, це потрібно, оскільки лазерний діод є дуже чутливим до стрибків напруги



Рисунок 2.8 – Стабілізатор напруги

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

34

Блок живлення – забезпечує живлення для драйверів двигуна і лазерного модуля.



Рисунок 2.9. – Блок живлення

### 2.3 Створення функціональної схеми

На основі структурної схеми було розроблено функціональну схему представлену на рисунку 2.10.

Дана схема представляє собою структуровану інформацію про методи реалізації конкретних функцій пристрою. Вона демонструє послідовність виконання операцій та дає можливість проаналізувати, якими діями закінчатся перетворення даних або сигналів.

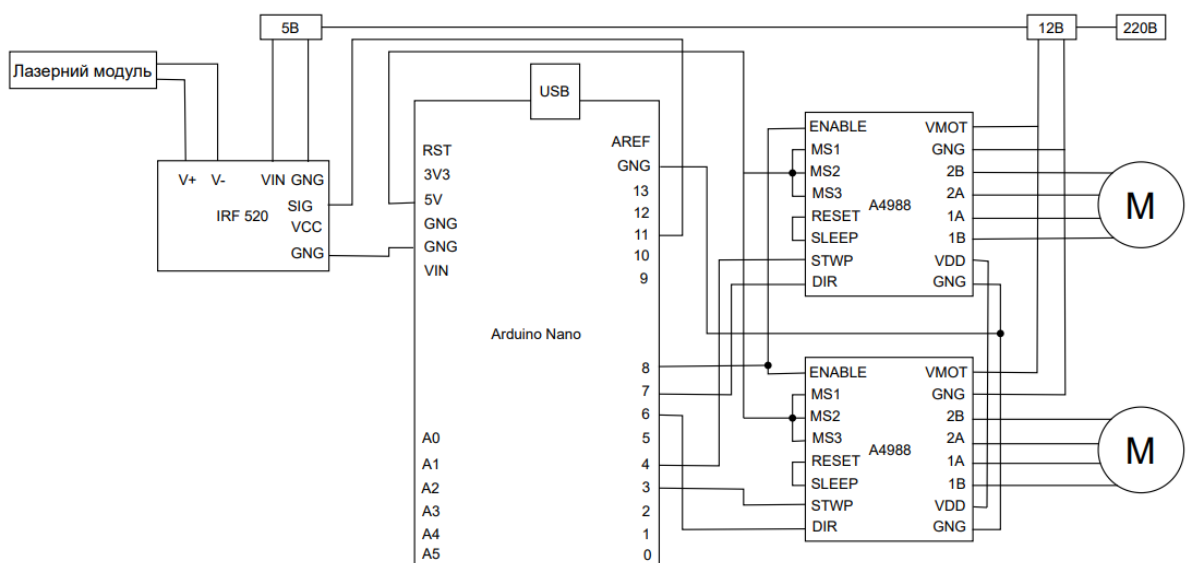


Рис.2.10 – Функціональна схема

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Кожен функціональний елемент у схемі забезпечений лише тими входами та виходами, що є необхідним для його коректного функціонування. Така оптимізація не тільки забезпечує надійність роботи елементів, але й спрощує їх підключення та забезпечує злагоджену роботу в загальній системі.

Компоненти схеми.

Arduino Nano – головний контролер, який обробляє команди і керує роботою всіх компонентів схеми, включаючи двигуни та лазерний модуль. Він отримує команди від комп'ютера або іншого пристрою і управляє роботою лазера та крокових двигунів, задаючи траєкторію для гравіювання.

IRF520 – транзистор, який використовується для комутації лазерного модуля. Arduino подає сигнал на контакт транзистора (SIG), який, у свою чергу, відкриває або закриває транзистор, дозволяючи або перериваючи живлення лазера. Це дозволяє вмикати і вимикати лазер відповідно до заданої програми.

Лазерний модуль – основний елемент, який генерує лазерний промінь для гравіювання. Коли Arduino подає сигнал на транзистор IRF520, лазер отримує живлення і починає роботу.

Драйвери A4988 – драйвери крокових двигунів, які забезпечують точне управління обертанням двигунів. Ці драйвери отримують сигнали від Arduino, що дозволяє контролювати рух двигунів по осях X та Y. Кожен драйвер має вхідні контакти, які дозволяють регулювати мікрокроки і напрямок обертання крокових двигунів, що забезпечує точність позиціонування лазера для створення бажаного зображення.

Крокові двигуни (M) – електродвигуни, які відповідають за переміщення лазера по осях X і Y. Їх обертання контролюється драйверами A4988, що дозволяє переміщувати лазерний модуль уздовж площини для нанесення малюнка або тексту.

Принцип роботи схеми.

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ініціалізація: після запуску Arduino Nano починає виконання програми, в якій зберігається траєкторія гравіювання і команди для роботи лазера.

Управління лазером: Arduino подає сигнал на транзистор IRF520, який відкриває або закриває ланцюг живлення лазерного модуля. Коли потрібно ввімкнути лазер для гравіювання, Arduino подає сигнал на контакт SIG транзистора, що дозволяє струму пройти через лазерний модуль, і той починає випромінювати промінь.

Переміщення по осях: Arduino подає сигнали на драйвери A4988, які керують кроковими двигунами. Драйвери отримують імпульси, що визначають кроки і напрямок руху двигунів. Один з драйверів відповідає за рух по осі X, а інший — по осі Y. Завдяки точному управлінню кроковими двигунами, лазерний модуль переміщується над робочою поверхнею, слідуючи заданій траєкторії.

Гравіювання: поєднання точного переміщення лазера і контрольованого ввімкнення-вимкнення лазерного модуля дозволяє створювати на поверхні чіткі і точні зображення. Коли лазер перебуває у потрібній точці для нанесення малюнка, Arduino вмикає лазер через транзистор. Коли потрібне переміщення до іншої точки без гравіювання, Arduino вимикає лазер.

Завершення роботи: після завершення процесу гравіювання, Arduino вимикає лазерний модуль, і крокові двигуни зупиняються.

## 2.4 Опис лазерного верстата для гравіювання

Лазерний верстат для гравіювання – це високотехнологічний пристрій, призначений для нанесення точних і довговічних зображень, символів або тексту на різні поверхні. Лазерне гравіювання активно застосовується в промисловості, ювелірній справі, рекламній продукції, а також для виготовлення сувенірів і декоративних виробів. Лазерний промінь, який створює верстат, дозволяє обробляти широкий спектр матеріалів, включаючи дерево, метал,

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

пластик, скло та інші.

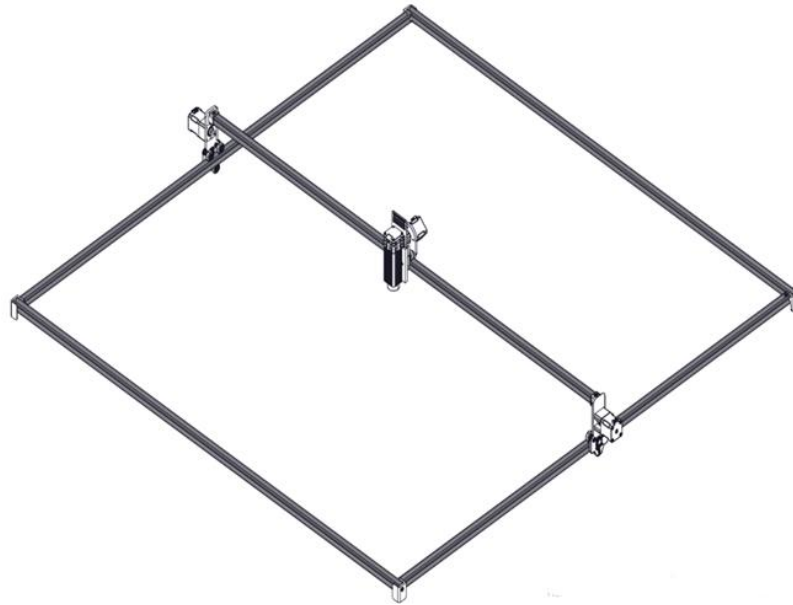


Рисунок 2.11 – Загальний вигляд верстата для гравіювання

Основні переваги лазерних верстатів для гравіювання включають високу точність, відсутність фізичного контакту з матеріалом, що знижує ризик його пошкодження, а також можливість автоматизації процесу.

Принцип роботи.

Лазерний верстат для гравіювання з діодним лазером використовує вузьконаправлений світловий промінь, який з високою точністю наносить малюнки, текст або візерунки на поверхню матеріалу. Принцип роботи такого верстата включає кілька основних етапів:

- генерацію лазерного променя;
- фокусування;
- управління положенням;
- обробки матеріалу.

Розглянемо ці етапи детальніше.

1) Генерація лазерного променя: діодний лазер генерує потужний світловий промінь з вузькою довжиною хвилі, який ідеально підходить для гра-

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

віювання. Діодні лазери відрізняються від CO<sub>2</sub> або волоконних лазерів меншою потужністю, але вони є ефективними для неметалевих матеріалів, таких як дерево, пластик, акрил, шкіра, папір та інші. Генерація променя відбувається в лазерному діоді, який випромінює вузькосмугове світло, що легко фокусується для обробки матеріалу.

2) Фокусування лазерного променя: лазерний промінь після генерації направляєється через систему лінз, що дозволяє сфокусувати його в точку надзвичайно малого діаметру. Це фокусування забезпечує високу густину енергії в місці контакту променя з матеріалом, що є ключовим фактором для точного і якісного гравіювання. Діаметр фокусувальної точки може досягати розміру декількох мікронів, що дозволяє верстату створювати дуже тонкі і чіткі лінії.

3) Управління положенням лазера: для виконання гравіювання лазерний промінь повинен точно переміщатися по поверхні матеріалу. Це досягається за допомогою привідної системи, яка включає крокові двигуни, ремені, направляючі профілі та систему шківів. Крокові двигуни забезпечують точне переміщення лазера уздовж осей X і Y (іноді і по осі Z для зміни висоти). Управління двигунами здійснюється за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке передає команди, щоб лазер рухався по заданій траєкторії.

4) Процес гравіювання: після налаштування положення і фокусування, лазер починає обробку матеріалу. Фокусуючись на поверхні, діодний лазер генерує інтенсивний тепловий імпульс у точці контакту, що призводить до локального випаровування або плавлення верхнього шару матеріалу. Оскільки діодний лазер має порівняно низьку потужність, він не може виконувати глибоке різання, але є ідеальним для поверхневого гравіювання. Глибина і контрастність гравіювання залежать від налаштувань потужності лазера, швидкості його переміщення, а також від типу і щільності матеріалу.

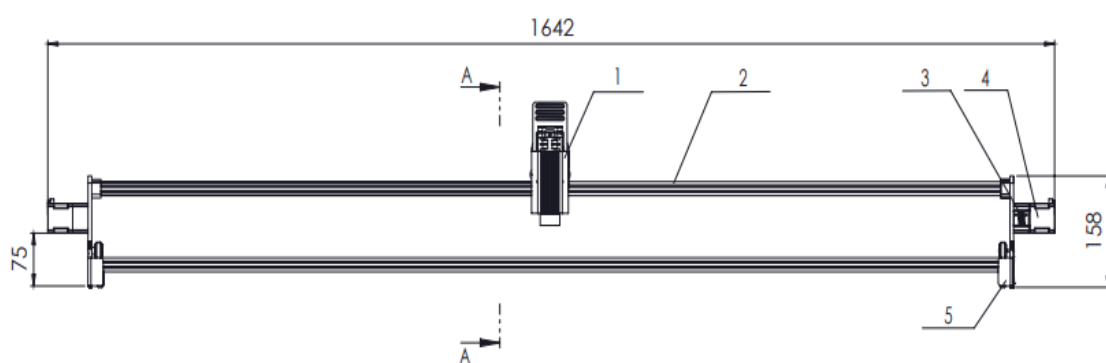
5) Система управління і програмне забезпечення: лазерний верстат для

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

гравіювання з діодним лазером зазвичай працює разом з програмним забезпеченням, яке дозволяє завантажувати зображення, текст або графіку для гравіювання. Після завантаження файлу оператор налаштовує параметри гравіювання, такі як потужність лазера, швидкість переміщення і роздільна здатність. Програмне забезпечення перетворює цифрові зображення в команди для крокових двигунів і лазера, що забезпечує точне і автоматизоване виконання гравіювання.

б) Охолодження і безпека: оскільки робота лазера супроводжується нагріванням, важливо забезпечити систему охолодження для діодного модуля. Зазвичай використовуються вентилятори або радіатори для відведення тепла. Це запобігає перегріванню та продовжує термін служби лазера. Крім того, при гравіюванні виділяються дими і пари, тому верстат може бути обладнаний витяжною або фільтром, які виводять продукти обробки з робочої зони.

Таким чином, лазерний верстат для гравіювання з діодним лазером поєднує точність, автоматизацію та ефективність для нанесення високоякісних зображень на різні поверхні. Він простий у використанні, має широке застосування і може бути налаштований для створення детальних зображень на різних матеріалах.



1 – лазер; 2 – профіль; 3 – шків двигуна; 4 – кроковий двигун; 5 – кріплення рами; 6 – ремінь; 7 – корпус для кріплення лазера; 8 – ролики.

Рисунок 2.12 – Габаритне креслення

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Опис компонентів лазерного верстата для гравіювання.

Лазер – основний елемент верстата, який виконує гравіювання на матеріалі. У цьому випадку використовується діодний лазер, що відрізняється компактністю та підходить для точного оброблення неметалевих матеріалів, таких як дерево, пластик або шкіра. Діодний лазер генерує промінь, який фокусується для точного нанесення зображень і тексту на робочу поверхню.

Профіль – несуча конструкція верстата, яка забезпечує підтримку і напрям для руху лазера та інших компонентів. Профіль, як правило, виготовлений з алюмінію або іншого легкого і міцного матеріалу, що дозволяє знизити вагу конструкції, не жертвуючи міцністю. Профіль забезпечує стабільність і точність при переміщенні лазера по осі.

Шків двигуна – частина системи приводу, яка передає обертальний рух від крокового двигуна на ремінь. Шків забезпечує стабільний контакт з ремінем, що дозволяє точно контролювати положення лазера під час гравіювання. Діаметр і конструкція шківа впливають на швидкість і точність руху.

Кроковий двигун – електричний двигун, який обертає шків і забезпечує поступальний рух лазера уздовж профілю. Кроковий двигун працює з високою точністю, рухаючись на малі «кроки», що дозволяє точно контролювати положення лазера на робочій поверхні. Цей компонент забезпечує можливість тонкого налаштування гравіювання і високу роздільну здатність зображень.

Кріплення рами – елементи, що з'єднують профіль з рамою верстата. Вони забезпечують стабільне кріплення всіх конструктивних частин і стійкість верстата, що є необхідною умовою для точного гравіювання. Кріплення рами зазвичай виготовляються з міцних матеріалів і забезпечують надійність конструкції.

Ремінь – частина привідної системи, яка з'єднує шків двигуна з лазерним модулем. Ремінь передає обертальний рух від шківа на лазер, що дозволяє переміщувати лазер уздовж профілю. Він повинен бути виготовлений з

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалів, що забезпечують високу міцність і низький коефіцієнт розтягання, щоб уникнути втрат точності.

Кріплення двигуна до рами – елементи, які забезпечують надійне кріплення крокового двигуна до рами. Це дозволяє уникнути вібрацій і зрушень двигуна під час роботи, що є важливим для досягнення високої якості гравіювання. Кріплення повинне бути достатньо міцним і забезпечувати надійне з'єднання двигуна з конструкцією верстата.

Ролики – елемент необхідний для переміщення лазерного модуля по робочій поверхні.

Кожен з цих компонентів відіграє важливу роль у забезпеченні точності та ефективності лазерного гравіювання. Завдяки взаємодії цих елементів, діючий лазерний верстат може точно наносити зображення та текст на різні матеріали, забезпечуючи високу якість кінцевого результату.

## 2.5 Вибір програмного забезпечення

Виконавши проектування конструкції верстату наступним кроком є вибір програмного забезпечення для його керування. Програмне забезпечення вибиралось із урахуванням кількох основних факторів:

- простий інтерфейс користувача;
- зручне завантаження зображень;
- перетворення їх у G-код;
- стабільне керування процесами гравіювання.

Враховуючи це було прийнято рішення використовувати LaserGRBL – це безкоштовне та ефективне програмне забезпечення, яке підтримує верстати на базі прошивки GRBL. Його вибір для реалізації цього проєкту є ідеальним, оскільки воно поєднує простоту використання з широкими функціональними можливостями.

LaserGRBL – одне з найкращих програм для лазерного гравіювання зо-

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бражень. LaserGRBL може завантажувати будь-яке зображення, малюнки та логотипи та надсилати їх на гравіювальний пристрій кількома клацаннями миші.

Інтерфейс користувача LaserGRBL.

1) Connection control: у цьому вікні можна вибрати послідовний порт та швидкість передачі даних для з'єднання, відповідно до конфігурації прошивки grbl.

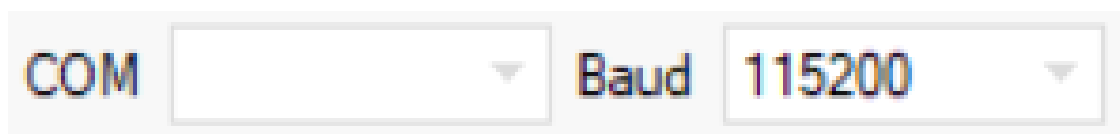


Рисунок 2.13 – Вікно керування з'єднаннями

2) File control: тут відображається ім'я завантаженого файлу та хід процесу гравіювання. Зелена кнопка “Play” розпочне виконання програми.

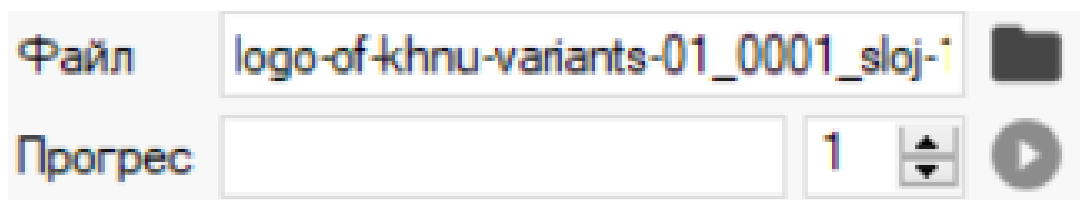


Рисунок 2.14 – Вікно керування файлами

3) Manual commands: у цьому вікні можна ввести будь-який рядок G-коду та натиснути “Enter”. Команди будуть додані до черги команд.

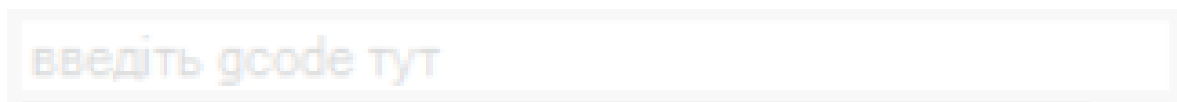


Рисунок 2.15 – Вікно вводу ручних команд

4) Command log and command returns codes: тут відображаються команди, що поставлені в чергу; їх статус виконання та помилки.

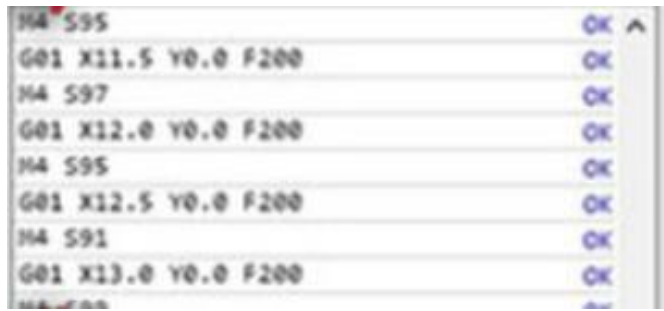


Рисунок 2.16 – Вікно журналу команд

5) Jogging control: дозволяє виконувати ручне позиціонування лазера. Лівий вертикальний повзунок керує швидкістю руху, а правий повзунок - розміром кроку.



Рисунок 2.17 – Вікно керування лазером

6) Engraving preview: у цій частині відображається попередній перегляд остаточної роботи. Під час гравіювання маленький синій хрестик показуватиме поточне положення лазера.

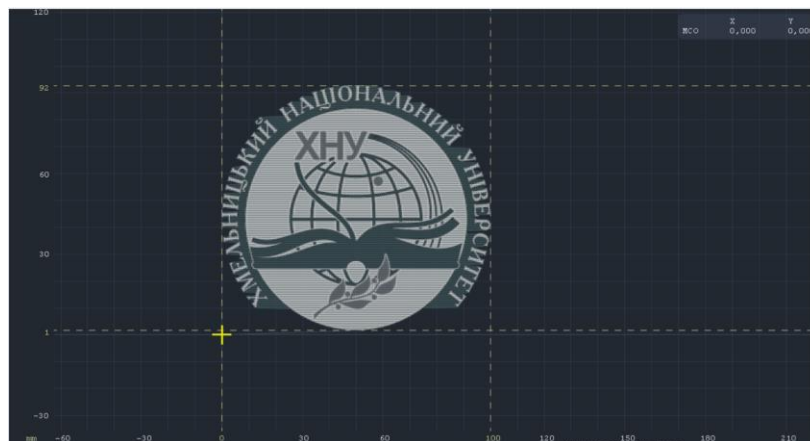


Рисунок 2.18 – Вікно попереднього перегляду гравіювання

7) Grbl reset/homing/unlock: ці кнопки подають на плату GRBL команди програмного скидання, переналаштування та розблокування. Праворуч від кнопки розблокування можна додати користувацькі кнопки.



Рисунок 2.19 – Вікно користувацьких кнопок

8) Feed hold and resume: ці кнопки дозволяють призупинити та відновлювати виконання програми, надсилаючи відповідний сигнал на плату.

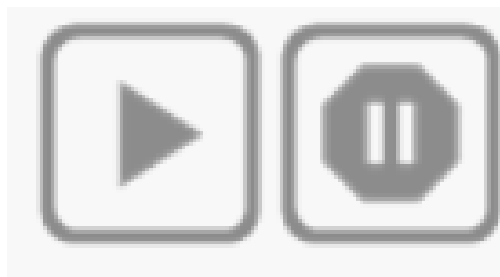


Рисунок 2.20 – Кнопки зупинки та відновлення виконання програми

9) Line count and time projection: LaserGRBL може оцінювати час виконання програми на основі фактичної швидкості та прогресу заданої програми.



Рисунок 2.21 – Вікно відображення фактичного часу виконання програми та кількості ліній

10) Overrides status an control: функція керування та перевизначення. Інтерфейс керування дозволяє пришвидшувати або уповільнювати ефективну швидкість гравіювання ( а також потужність лазера) в режимі реального часу під час гравіювання.[14]

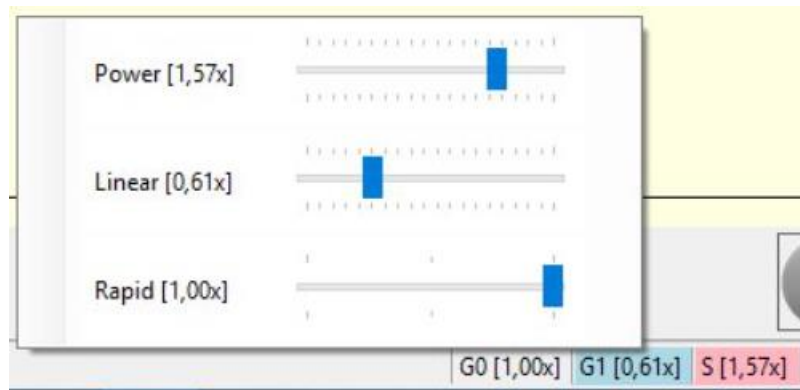


Рисунок 2.22 – Вікно перевизначення та керування

### Висновок до другого розділу

У другому розділі дипломного проекту були виконані роботи для проектування лазерного верстату. Для цього спочатку було розглянуто основні частини верстату для кращого розуміння дії принципу верстату. Після цього було створено блок-схему верстату для того, щоб знати його алгоритм роботи і в подальшому визначити необхідні елементи для працездатності пристрою. На основі цього було розроблено структурну схему, в якій показані основні компоненти, які забезпечують роботу лазерного гравера. Після створення структурної схеми було створено функціональну схему, яка дає можливість аналізувати, якими діями закінчуються перетворення даних або сигналів. Далі було спроектовано даний лазерний верстат та описаний принцип його роботи та основні компоненти.

У третьому розділі буду виконувати розрахунки, які підтвердять його працездатність або вкажуть на моменти, які потрібно виправити або вдосконалити.

### 3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПРИ-СТРОЮ

#### 3.1 Розрахунок потужності крокового двигуна

При проектуванні верстата для його коректної роботи необхідно провести розрахунки основних параметрів. Розрахунки проводяться на вибраному лазері потужністю 1 Вт.

Для розрахунку необхідної потужності крокового двигуна лазерного гравірувального верстата розміром 1.5 м на 1.5 м, вагою рухомих частин 9 кг та максимальною швидкістю переміщення до 100 мм/с, розглянемо такі основні параметри:

- 1) Вага рухомих частин: 9 кг.
- 2) Максимальна швидкість: 100 мм/с.
- 3) Прискорення: оцінимо максимальне на рівні  $5 \text{ м/с}^2$ .

Розрахунок сили для переміщення:

Щоб рухати кареткою масою  $m=9 \text{ кг}$  з прискоренням  $a=5 \text{ м}^2/\text{с}$  обчислимо силу:

$$F = m \cdot a, \quad (3.1)$$

де:  $m$  – маса рухомих частин;

$a$  – прискорення.

$$F = 9 \cdot 5 = 45 \text{ Н.}$$

Отже сила, необхідна для переміщення каретки становить 45 Н.

Розрахунок необхідного моменту сили:

Знаючи силу, обчислимо момент сили, який повинен створювати кро-

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ковий двигун.

Припустимо, що для приводу використовується ремінна передача з шківом радіусом  $r=0.01$  м.

Момент сили обчислюється за формулою:

$$M = F \cdot r, \quad (3.2)$$

де:  $F$  – сила, необхідна для переміщення каретки;

$r$  – радіус шківа.

$$M = 45 \cdot 0,01 = 0,45 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Щоб визначити потужність двигуна, врахуємо швидкість обертання, яка відповідає максимальній лінійній швидкості руху.

Лінійна швидкість переміщення становить  $V = 0.5$  м/с

Частота обертання  $\omega$  шківа визначається як:

$$\omega = \frac{V}{r}, \quad (3.3)$$

$$\omega = \frac{0,5}{0.01} = 50 \text{ рад/с}.$$

Обчислення необхідної потужності

Потужність  $P$  двигуна визначається за формулою:

$$P = M \cdot \omega, \quad (3.4)$$

де:  $M$  – момент сили;

$\omega$  – частота обертання шківа.

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P = 0,45 \cdot 50 = 22,5 \text{ Вт.}$$

Отже, мінімальна потужність двигуна повинна бути близько 22,5 Вт.

Рекомендується мати запас потужності для забезпечення стабільної роботи, оскільки під час запуску та зупинки можуть виникати додаткові навантаження. Зазвичай до мінімально розрахованої потужності додають запас 2-3 рази.

$$P = 22,5 \cdot 2 = 45 \text{ Вт.} \quad (3.5)$$

Отже, потужність двигуна повинна бути близько 45 Вт. Для коректної роботи верстата рекомендується вибрати кроковий двигун NEMA 17, який забезпечить необхідну потужність та компактність.

### 3.2 Розрахунок швидкості гравіювання

Швидкість гравіювання залежить від типу матеріалу, потужності лазера, а також від бажаної глибини гравіювання.

Формула для розрахунку швидкості:

Швидкість можна використовувати на основі часу експозиції лазера на певну точку, виходячи з необхідної глибини. Для забезпечення цієї залежності між потужністю лазера  $P$ , щільністю енергії на площу  $E$  і швидкістю  $V$ :

$$V = \frac{P}{E}, \quad (3.6)$$

де:  $V$  – швидкість гравіювання (мм/с);

$P$  – потужність лазера (Вт);

$E$  – енергія, необхідна для повного випаровування матеріалу (Дж/мм<sup>2</sup>);

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Енергія на  $\text{мм}^2$  для гравіювання на дереві  $E = 0,1 \text{ Дж/мм}^2$  (стале значення).

$$V = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ мм/с.}$$

Це швидкість, для якого лазер буде ефективно випаровувати матеріал.

Розрахунок максимальної глибини гравіювання:

$$h = \frac{P}{A \cdot C}, \quad (3.7)$$

де:  $P$  – потужність лазера;

$A$  – поглинальна здатність дерева ( $0,2 \text{ Вт/мм}^2$ );

$C$  – площа лазерної плями.

$$h = \frac{1}{0,2 \cdot 0,01} = 5 \text{ мм.}$$

### 3.3 Перевірка потужності вибраного лазера

Для розрахунку задамося деякими значеннями такими як:

1. Матеріал: дерево(фанера);
2. Глибина гравіювання: 2мм;
3. Діаметр лазерної плями:  $0,1 \text{ мм}^2$ ;
4. Швидкість гравіювання:  $10 \text{ мм/с}$

Розрахунок площі лазерної плями:

$$A = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2, \quad (3.8)$$

$$A = \pi \cdot \left(\frac{0,1}{2}\right)^2 = 0,0000785 \text{ см}^2.$$

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок об'єму матеріалу, який потрібно випарувати:

$$V = A \cdot h, \quad (3.9)$$

де:  $A$  – площа лазерної плями;

$h$  – глибина гравіювання.

$$V = 0,0000785 \cdot 0,2 = 0,0000157 \text{ см}^2.$$

Розрахунок енергії, необхідної для випаровування:

$$E = V \cdot E_{\text{матеріалу}}, \quad (3.10)$$

де:  $V$  – об'єм матеріалу для випаровування;

$E_{\text{матеріалу}}$  – енергія яка випаровується ( $15 \text{ Дж/см}^3$ ).

$$E = 0,0000157 \cdot 15 = 0,0002355 \text{ Дж}.$$

Розрахунок часу експозиції лазера:

При швидкості гравіювання  $10 \text{ мм/с}$  час експозиції для ділянки діаметром  $0,1 \text{ мм}$  складає:

$$t = \frac{0,1}{10} = 0,01 \text{ с}. \quad (3.11)$$

Розрахунок потужності лазера:

$$P = \frac{E}{t}, \quad (3.12)$$

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P = \frac{0,0002355}{0,01} = 0,02355 \text{ Вт.}$$

Отже розрахунки показали що для гравіювання деревини(фанери) потужність лазера є достатньою.

### 3.4 Розрахунки системи охолодження

Лазер потужністю 1 Вт генерує тепло на рівні 1 Вт, яке має постійно відводитися, щоб уникнути перегріву, яке може вплинути на точність роботи, стабільність конструкції та термін служби компонентів верстату.

У цьому випадку система охолодження повинна забезпечити безперервне видалення тепла як від самого лазера, так і від робочої зони, де відбувається контакт лазера з матеріалом.

У даному випадку доцільним та економічно вигідним охолодження є повітряне охолодження. Виконаєм розрахунки для підбору потрібної системи охолодження.

Для відведення теплового навантаження можна використовувати стандартні теплові розрахунки повітряного охолодження. Для відведення 1 Вт тепла потрібно забезпечити певний об'єм повітря.

Розрахуємо потужність охолоджувального вентилятора:

$$Q = \frac{P}{\rho \cdot C \cdot \Delta T} , \quad (3.13)$$

де:  $P$  – потужність лазера(Вт);

$\rho$  – густина повітря(1,2 кг/м<sup>3</sup>);

$C$  – теплоємність повітря(1005 Дж/кг·°С);

$\Delta T$  – різниця температури між вхідним і вихідним повітрям(°С).

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$Q = \frac{1}{1,2 \cdot 1005 \cdot 10} \approx 0,3 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Це мінімальний об'єм повітря який потрібно відвести. Для цього достатньо було б одного вентилятора, але враховуючи те, що робоча поверхня лазерного верстата для гравіювання є великою однією точки повітряного потоку недостатньо для ефективного охолодження. Щоб уникнути перегріву в окремих зонах робочої поверхні, необхідно рівномірно розподілити потік охолодження повітря. Використання декількох вентиляторів дозволяє створити потік, який циркулює навколо всієї робочої зони, тим самим забезпечуючи більш рівномірний розподіл температури.

#### Висновок до третього розділу

У третьому розділі дипломного проєкту були проведені розрахунки, які підтверджують працездатність пристрою. Були проведені розрахунки потужності двигунів, потужності лазерного променя та швидкості гравіювання. Розрахунок показав, що даний пристрій може виконувати гравіювання. Також проведений розрахунок системи охолодження, аби не допустити перегріву верстата.

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проєкта було розглянуто основні типи лазерів та їх застосування у гравіюванні. На основі цих теоретичних даних було розібрано принцип його роботи, ключові характеристики та галузі застосування. Це дало можливість проаналізувати вимоги до лазерного гравіювання, що стало основою для підбору оптимального типу лазера при розробці гравера.

У проєкті також було розроблено блок-схему для загального розуміння роботи лазерного гравіювального верстата. Далі було розроблена структурна та функціональна схема, які більш детально описують компоненти лазера та його роботу. Після цього було розроблено креслення гравіювального верстата із збільшеною площею гравіювання. У кінцевому результаті після проектування верстату було вибрано програмне забезпечення із урахуванням основних факторів.

Після проектування лазера були проведені розрахунки основних параметрів, які могли б підтвердити працездатність пристрою. З розрахунків випливає що створення такого лазера є можливим. Для кращого функціонування даного лазерного гравіювального верстата рекомендується вибрати потужнішу елементну базу, що в свою чергу підвищить швидкість гравіювання, або ж встановити більш потужніший лазерний модуль, який дозволить наносити гравіювання не лише на дерево, а більш міцніші матеріали (наприклад залізо). Встановлення потужнішого лазера дозволить також проводити лазерне різання різних видів матеріалів.

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Історія лазерних технологій. History\_of\_development\_of\_laser\_technologies\_in\_medicine. URL: <https://www.researchgate.net/publication/322072266> (date of access: 02.05.2025).
2. Перші лазери. Encyclopedia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/technology/helium-neon-laser> (дата звернення: 03.05.2025).
3. Класифікація лазерів. 12\_Pupan\_Navch\_posibnik\_Lazerni-tehnologiyi-u-mashinobuduvanni. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/49634> (дата звернення: 06.05.2025).
4. Лазерні технології. Практикум. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/50393/1/Lazerni\\_tekhnolohii\\_Praktykum.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/50393/1/Lazerni_tekhnolohii_Praktykum.pdf) (дата звернення: 06.05.2025).
5. Колесник Ю. І. Елементи та пристрої квантової електроніки : навч. посіб. / Ю. І. Колесник, А. В. Кіпенський. – Харків : НТУ «ХП», 2016. – 320 с. – (Серія «Фізична та біомедична електроніка»).
6. Величко С. П., Слободяник О. В., Сірик П. В., Слесаренко М. В. Лабораторний практикум зі спецкурсу «Застосування навчального лазера у викладанні шкільного курсу фізики» / за ред. С. П. Величка. – Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2011. – 140 с.
7. Афанасьєва О. В., Лалазарова Н. О. Сучасні технології лазерного різання матеріалів / О. В. Афанасьєва, Н. О. Лалазарова // Матеріалознавство та технології : матеріали міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 22–23 верес. 2022 р.) / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, 2022. – С. 164–170.
8. Кайдалов А.А. Сучасні технології термічного та дистанційного різання конструкційних матеріалів. - К.: «Екотехнологія», 2007. -456 с.
9. Лазерне гравіювання. URL: <https://gravirovka.ua/about-engraving/> (дата звернення: 07.05.2025).
10. Принцип лазерного гравіювання. Принцип роботи та переваги гравіювального верстата. URL: <https://pro.com.ua/blog/printsip-lazernoї-gravirovki->

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

100/?srsltid=AfmBOorpxfazeVwJJBMfwiBbMg2zczTobyOp2Za-Wq7SkruQCPyGx1Vp (дата звернення: 07.05.2025).

11. Розумов-Фризюк Є. А., Гусак О., Нікітін Д., та ін. Розробка конструкції та виготовлення лазерного гравера // Виробництво & Мехатронні системи (М&MS'2018) : матеріали II Міжнар. наук.-техн. конф. – Харків, 2018. – С. 106–108.

12. Лазерні ріжучі головки. URL: <https://wavelength-oe.com/uk/laser-cutting-heads/> (дата звернення: 08.05.2025).

13. Лазерні різальні головки. Технологія, типи та застосування. URL: <https://qllasercut.com/en-ru/blogs/news/understanding-laser-cutting-heads-technology-types-and-applications> (дата звернення: 09.05.2025).

14. Програмне забезпечення. LaserGRBL. URL: <https://lasergrbl.com/> (дата звернення: 21.05.2025).

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# ДОДАТКИ

					<b>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57