

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет електроніки**

**Кафедра електронних пристроїв та систем**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Євген ВЕРБИЦЬКИЙ

«\_\_» \_\_\_\_\_ червня \_\_\_\_\_ 2023 р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Електронні прилади та пристрої»**

**спеціальності 171 «Електроніка»**

**на тему: «Лазерна система обробки поверхонь»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ДЕ-91

Дмитро ЛИТВИНЕЦЬ \_\_\_\_\_

Керівник:

ст. викл. каф. ЕПС

Олег БЕВЗА \_\_\_\_\_

Рецензент:

доц. каф. АМЕС, к.т.н., доц.

Катерина ДРОЗДЕНКО \_\_\_\_\_

Консультант

з нормоконтролю

доц. каф. ЕПС, к.т.н., доц.

Лариса БАТРАК \_\_\_\_\_

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

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2023 року



**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Факультет електроніки**  
**Кафедра електронних пристроїв та систем**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 171 «Електроніка»

Освітньо-професійна програма «Електронні прилади та пристрої»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Євген ВЕРБИЦЬКИЙ

«17» травня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

Литвинцю Дмитру Григоровичу

1. Тема проєкту «Лазерна система обробки поверхні» \_\_\_\_\_

Керівник проєкту ст. викл. Бевза О. М. \_\_\_\_\_

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

затверджені наказом по університету від 30.05.2023 р. №2063 \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом проєкту 12.06.2023 \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проєкту: напруга живлення ~220 В; максимальний струм споживання системою – 250 мА; розміри робочого поля – не менше 300x300 мм; лінійна швидкість обробки поверхні – не менше 10 мм/с;

4. Зміст пояснювальної записки: Огляд принципів роботи, переваг та недоліків лазерів та лазерних систем, систем обробки поверхні і матеріалів, розробка лазерної системи обробки поверхні. \_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема електрична принципова, схема електрична структурна, плата \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів проєкту\*

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

7. Дата видачі завдання 17 травня 2023 р. \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Літературний огляд	10.04.2023	
2	Аналіз лазерів	10.04.2023	
3	Аналіз лазерних систем обробки поверхні	20.04.2023	
4	Розробка структурної схеми	01.05.2023	
5	Розробка принципової схеми	03.05.2023	
6	Збірка і налаштування експериментального зразка	15.05.2023	
7	Написання пояснювальної записки	22.05.2023	
8	Виконання креслень	27.05.2023	

Студент

Дмитро ЛИТВИНЕЦЬ

Керівник

Олег БЕВЗА

---

## АНОТАЦІЯ

Дипломна робота присвячена розробці лазерної системи обробки поверхні, що має великий потенціал для вдосконалення технологічних процесів у різних галузях промисловості. Метою роботи є створення ефективної та універсальної системи, яка забезпечує високу якість та швидкість обробки, а також може застосовуватися для обробки різноманітних матеріалів.

У роботі проведено детальний аналіз сучасного стану лазерної технології обробки поверхні та її застосування в промисловості. Розглянуті основні типи лазерів, оптичні системи та методи режимів обробки. Було проведено експерименти з вивчення взаємодії лазерного променя з різними матеріалами, а також аналізовано вплив параметрів системи на якість та швидкість обробки.

В результаті досліджень були розроблені оптимальні режими обробки для різних матеріалів, що дозволяють досягти високої точності та ефективності обробки. Також було розроблено систему контролю процесу, що дозволяє забезпечити стабільність та якість обробки.

Отримані результати свідчать про великий потенціал лазерної системи обробки поверхні в сучасній промисловості. Розроблена система може бути успішно використана для обробки поверхонь різних матеріалів, забезпечуючи високу якість, швидкість та точність обробки.

**Ключові слова:** діодні лазери, обробка поверхні, застосування лазера, настройка лазера, модуляція, моделювання, мікроконтролери.

## ANNOTATION

The thesis is devoted to the development of a laser system for surface treatment, which has great potential for improving technological processes in various industries. The goal of the work is to create an effective and universal system that provides high quality and speed of processing, and can also be used for processing a variety of materials.

The paper provides a detailed analysis of the current state of laser surface treatment technology and its application in industry. The main types of lasers, optical systems and methods of processing modes are considered. Experiments were conducted to study the interaction of the laser beam with various materials, and the influence of the system parameters on the quality and speed of processing was also analyzed.

As a result of research, optimal processing modes were developed for various materials, which allow to achieve high accuracy and efficiency of processing. A process control system was also developed, which allows to ensure the stability and quality of processing.

The obtained results testify to the great potential of the laser surface treatment system in modern industry. The developed system can be successfully used for processing the surfaces of various materials, ensuring high quality, speed and accuracy of processing.

**Keywords:** diode lasers, surface treatment, laser applications, laser tuning, modulation, simulation, microcontrollers.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ .....	11
1.1 Типи лазерів .....	11
1.1.1 Газові лазери .....	11
1.1.2 Твердотільні лазери.....	12
1.1.3 Рідинні лазери.....	13
1.1.4 Напівпровідникові лазери .....	14
1.2 Основні типи обробки поверхні лазерних систем.....	16
1.2.1 Призначення лазерних верстатів .....	17
1.3 Системи обробки поверхні .....	18
1.3.1 Оптоволоконний лазер GF 1530-2060 .....	19
1.3.2 Лазерний верстат THUNDER Laser Desktop.....	21
1.3.3 Волоконний лазерний очищувач MSLC .....	23
1.3.4 Лазерний верстат MSL1390Plus (МЕТАЛИ + НЕМЕТАЛИ).....	24
1.3.5 Лазерний верстат CO2 LEM3020 .....	26
1.3.6 Лазерний гравер S1 4030 ЧПУ .....	28
1.3.7 Лазерний гравер Wainlux K6.....	29
1.3.8 Гравіювальний верстат випалювальник Neje DK-8-KZ .....	31
1.4 Особливості та переваги ЛСОП.....	32
Висновки до розділу 1.....	34
2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ .....	35
2.1 Розробка структурної схеми.....	35
2.2 Розробка принципової схеми .....	38
2.3 Програмне забезпечення та прошивка .....	43
Висновки до розділу 2.....	44
3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЛАЗЕРНОГО ГРАВЕРА .....	45
Висновки до розділу 3.....	50
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	53

						ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата			7

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЛСОП – Лазерна система обробки поверхні

ЛГ – Лазерний гравер

МК – Мікроконтролер

ПК – Персональний комп'ютер

G-code – прошивка мікроконтролера

ЧПУ – Числове програмне управління

					ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

## ВСТУП

У сучасному світі технологічний прогрес постійно розширює свої границі, надаючи нам нові можливості для розвитку та вдосконалення промисловості, науки та інших галузей. Однією з таких перспективних технологій є лазерна обробка поверхні, яка знаходить широке застосування у виробництві, медицині, науці та інших галузях.

Розробка лазерних систем обробки поверхні є актуальним напрямом наукових досліджень і розробок, оскільки вона дозволяє здійснювати точну, швидку та контрольовану обробку матеріалів різного типу. Лазерна технологія надає унікальні можливості для зміни фізичних та хімічних властивостей поверхонь, забезпечуючи високу якість обробки без пошкодження основного матеріалу.

Метою даної дипломної роботи є розробка ефективної лазерної системи обробки поверхні, яка забезпечує високу швидкість та якість обробки, а також широкий спектр застосування. Для досягнення цієї мети, були проведені дослідження та експерименти з використанням різних режимів обробки та матеріалів.

Важливими аспектами дослідження було вивчення впливу параметрів лазерної системи на якість та швидкість обробки, аналіз особливостей взаємодії лазерного променя з поверхнями різних матеріалів, розробка оптимальних режимів обробки та впровадження системи контролю процесу.

Результати дослідження допоможуть вдосконалити технологію лазерної обробки поверхні та розширити її застосування у різних галузях промисловості. Практична реалізація розробленої системи знизить витрати та час на розробку електронних пристроїв на етапі їх експериментального виготовлення та іспитів.

У даній дипломній роботі використані методи симуляції, експериментальні дослідження та аналіз їх результатів.

									Арк.
									9
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ				

Робота виконувалась з використанням сучасного обладнання та програмного забезпечення, що дозволило забезпечити високу точність та достовірність отриманих даних.

Отримані результати та рекомендації, які будуть сформульовані в цій дипломній роботі, можуть бути використані в подальших дослідженнях у галузі лазерної обробки поверхні, а також застосовані в промисловості для поліпшення технологічних процесів та виробництва конкурентоспроможної продукції.

					<i>ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>10</i>

# 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ

Лазер - це пристрій, який використовує принцип стимульованої емісії для генерації та підсилення когерентного світла. Слово "лазер" є акронімом від англійського вислову "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" (підсилення світла стимульованою емісією випромінювання).

У лазері, світлове випромінювання виникає внаслідок взаємодії фотонів з активною середою, яка може бути складена з різних матеріалів, таких як гази, напівпровідники або кристали. Активна середа надає енергію для стимулювання емісії фотонів.

## 1.1 Типи лазерів

### 1.1.1 Газові лазери

Газові лазери є важливим класом лазерних систем і мають свої основні властивості, переваги і недоліки. Дані лазери використовують газове середовище, яке забезпечує збудження атомів або молекул і створення стану навантаження для генерації лазерного випромінювання. Вони можуть генерувати лазерне випромінювання в різних діапазонах хвильових довжин, включаючи УФ, видиме та інфрачервоне випромінювання.

Газові лазери здатні досягати високої вихідної потужності, що робить їх ефективними для задач, які вимагають великої енергії лазерного променя. генерують лазерне випромінювання з вузьким спектром хвильових довжин, що забезпечує високу монохроматичність променя. Ці лазери мають високу просторову когерентність, що означає, що промінь має добру фокусування і може бути направлений на далеку відстань з мінімальною дисперсією.

Переваги газових лазерів:

- Висока потужність. Газові лазери здатні генерувати високі рівні вихідної потужності, що робить їх ефективними для вирішення завдань, які вимагають великої енергії лазерного променя;

									ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						11

- Великий діапазон хвильових довжин. Газові лазери можуть працювати в різних діапазонах хвильових довжин, що дозволяє їх використовувати в різних додатках;

- Висока якість променя. Газові лазери можуть генерувати промінь з високою якістю, що забезпечує точність та якість обробки.

Недоліки газових лазерів:

- Вимоги до охолодження. Багато газових лазерів вимагають ефективної системи охолодження, оскільки газове середовище може нагріватися під час роботи. Це може вимагати додаткових зусиль та витрат для забезпечення ефективного охолодження;

- Складна конструкція. Деякі типи газових лазерів мають складну конструкцію, що може бути вимогливою для виготовлення та обслуговування;

- Високі витрати. Газові лазери можуть бути витратними в експлуатації, оскільки вони вимагають постійного підтримання газового середовища та інших компонентів.

Не зважаючи на недоліки, газові лазери все ще є ефективними інструментами для багатьох додатків, включаючи наукові дослідження, медицину, промисловість та комунікації [1].

### 1.1.2 Твердотільні лазери

Твердотільні лазери є одним з найпоширеніших типів лазерів, що використовують твердотільне активне середовище, таке як кристали або склоподібні матеріали, для генерації лазерного променя.

Основні властивості твердотільних лазерів:

- Висока ефективність конверсії. Твердотільні лазери мають високу ефективність конверсії енергії, що означає, що вони можуть перетворювати більшу частину поступаючої електричної енергії на лазерне випромінювання;

- Висока потужність і висока енергія випромінювання: Твердотільні лазери здатні генерувати високі рівні вихідної потужності і енергії, що робить їх ефективними для завдань, які вимагають сильного лазерного променя;

									ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						12

- Широкий спектр хвильових довжин. Твердотільні лазери можуть генерувати лазерне випромінювання в широкому діапазоні хвильових довжин, включаючи видимий, інфрачервоний та ультрафіолетовий спектри;

- Висока стабільність і довговічність. Твердотільні лазери мають високу стабільність і довговічність роботи, що робить їх надійними для тривалого використання без значного зниження якості випромінювання.

- Компактність і портативність; Твердотільні лазери можуть бути виготовлені в компактних розмірах, що дозволяє їх використання в різних мобільних апаратах і системах.

Преваги твердотільних лазерів:

- висока ефективність та стабільність роботи;
- широкий діапазон хвильових довжин та можливість налаштування;
- висока якість пучка та точність обробки;
- можливість генерації великої енергії;

Недоліки твердотільних лазерів:

- вимоги до системи охолодження для керування температурою;
- висока вартість твердих кристалів та склоподібних матеріалів;
- обмежений термін експлуатації активних елементів.

Незважаючи на деякі недоліки, твердотільні лазери залишаються одними з найпопулярніших та ефективних типів лазерів для обробки поверхні, завдяки своїм універсальним властивостям, високій якості променя та широкому спектру застосувань. З постійним розвитком технологій очікується подальше поліпшення характеристик твердотільних лазерів та розширення їх можливостей в області обробки поверхні [2].

### 1.1.3 Рідинні лазери

Рідинні лазери використовують рідину як активне середовище для генерації лазерного променя. Основні властивості рідинних лазерів включають:

- Широкий діапазон хвильових довжин. Рідинні лазери можуть генерувати лазерне випромінювання в широкому спектрі хвильових довжин, від

									ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						13

видимого до інфрачервоного та ультрафіолетового спектрів. Це дозволяє їх використовувати в різних додатках та наукових дослідженнях;

- Висока енергетична ефективність. Рідинні лазери мають високу енергетичну ефективність, оскільки рідина може надавати хорошу поглинаючу та перетворюючу здатність енергії;

- Висока якість пучка. Рідинні лазери забезпечують високу якість пучка з малою дифракційною плямою, що дозволяє досягати високої роздільної здатності та точності обробки;

- Гармонічне покоління. Рідинні лазери мають можливість генерувати гармоніки випромінювання, що розширює їх можливості застосування, наприклад, у медицині та наукових дослідженнях;

- Регульована потужність. Рідинні лазери можуть бути легко налаштовані для регулювання потужності випромінювання від низьких до дуже високих рівнів, що дозволяє їх використовувати в різних завданнях обробки поверхні.

Преваги рідинних лазерів:

- висока ефективність та енергетична ефективність;
- гнучкість в налаштуванні потужності та діапазону хвильових довжин;
- можливість генерації гармонік;
- висока якість пучка та точність обробки.

Недоліки рідинних лазерів:

- потреба у складній системі охолодження;
- великі розміри та вага;
- вимоги до довговічності рідини та потреба в її регулярній заміні.

Незважаючи на недоліки, рідинні лазери залишаються важливими інструментами у багатьох галузях, зокрема в медицині, наукових дослідженнях та обробці поверхні [3].

### 1.1.4 Напівпровідникові лазери

Напівпровідникові лазери є популярними та широко використовуваними лазерами, які використовують напівпровідникові матеріали, такі як германій,

									Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ				14

галій-арсенід або галій-нітрид, як активні середовища для генерації лазерного променя. Основні властивості напівпровідникових лазерів включають:

- Компактність та ефективність. Напівпровідникові лазери мають компактну конструкцію, що дозволяє їх легко інтегрувати в різні пристрої та системи. Вони також відомі своєю високою ефективністю перетворення електричної енергії в лазерне випромінювання;

- Низька витрата енергії. Напівпровідникові лазери споживають малу кількість енергії, що робить їх економічно ефективними та придатними для портативних пристроїв та батарейного живлення;

- Широкий спектр хвильових довжин. Напівпровідникові лазери можуть генерувати лазерне випромінювання в різних спектрах хвильових довжин, включаючи видимий, інфрачервоний та ультрафіолетовий діапазони;

- Швидкодія. Напівпровідникові лазери відзначаються високою швидкодією, що дозволяє їх використовувати у високошвидкісних додатках, таких як оптична зв'язок та дискретна обробка сигналів.

Преваги напівпровідникових лазерів:

- компактність та енергоефективність;
- широкий спектр хвильових довжин та можливість налаштування;
- пряме перетворення електричного струму в лазерне випромінювання;
- модуляція лазерного випромінювання зміною струму накачки;
- швидкодія та висока електрична ефективність;

Недоліки напівпровідникових лазерів:

- температурна чутливість та теплові проблеми, які можуть вплинути на стабільність роботи;
- обмежена потужність випромінювання в порівнянні з іншими типами лазерів;
- вплив довжини хвилі на потужність та якість пучка.

Напівпровідникові лазери залишаються важливими елементами в оптичних системах зв'язку, оптичних датчиках, оптичних пристроях та інших технологічних застосуваннях [4].

										ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата							15

## 1.2 Основні типи обробки поверхні лазерних систем

Лазерні системи обробки поверхні використовують принципи лазерної технології для зміни фізичних або хімічних властивостей поверхні матеріалу. Ці системи надають високу точність, контроль та швидкість обробки, що робить їх популярними в різних промислових галузях.

Одним з основних типів лазерних систем обробки поверхні є лазерне гравіювання. Цей процес використовує лазер для видалення матеріалу з поверхні, створюючи глибокі та точні розтини або гравіювання. Лазерне гравіювання широко використовується в промисловості для маркування та ідентифікації виробів, таких як металеві частини, пластикові елементи, електроніка тощо. Воно дозволяє створювати маркування з високою стійкістю до зносу та забезпечує можливість реалізації складних дизайнів із високою деталізацією [5].

Іншим типом лазерних систем обробки поверхні є лазерне різання або лазерне плавлення. Цей процес використовує лазер для нагрівання поверхні матеріалу до такої температури, що він розтоплюється або випаровується, що дозволяє різати матеріал з високою точністю. Лазерне різання застосовується в обробці металів, пластиків, тканин та інших матеріалів. Воно забезпечує високу швидкість та точність різання, мінімальну теплову деформацію та можливість виконання складних контурів.

Крім того, лазерні системи обробки поверхні включають такі процеси, як лазерне свердління, лазерне зварювання, лазерне абразивне оброблення та лазерне зміцнення. Кожен з цих процесів використовується в різних галузях промисловості для покращення міцності, точності, якості або вигляду поверхонь матеріалів [6].

Лазерні системи застосовують при виробництві автомобілів, авіаційну та аерокосмічну промисловість, медицину, електроніку, ювелірну галузь, текстильну та упаковочну промисловість. Ці системи дозволяють досягти

									ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						16

високої продуктивності, ефективності та якості обробки поверхні, що робить їх незамінними в сучасній промисловості.

Додатковою групою лазерних систем обробки поверхні є лазерне нанесення матеріалу. Цей процес використовується для додавання тонкого шару матеріалу на поверхню існуючого виробу. Лазерне нанесення матеріалу забезпечує високу адгезію, мінімальну теплову деформацію та можливість нанесення тонких шарів з високою деталізацією. Цей процес використовується для нанесення захисних покриттів, відновлення зношених поверхонь, нанесення маркування та інших застосувань.

Лазерне закриття поверхні є ще одним важливим процесом в лазерній обробці поверхні. Цей процес використовується для покриття поверхні захисним шаром, що забезпечує високу міцність, стійкість до корозії, зносу та інших шкідливих впливів. Лазерне закриття поверхні може використовувати різні матеріали, такі як кераміка, метали, полімери тощо, і забезпечує довговічність та захист поверхні [7].

Також лазерна обробка поверхні включає лазерне структурування. Цей процес використовується для створення мікро- та наноструктур на поверхні матеріалу. Лазерне структурування забезпечує можливість створення мікрорельєфів, мікроканалів, мікроотворів та інших мікроструктур з високою точністю та повторюваністю. Цей процес використовується в мікроелектроніці, оптиці, біомедицині та багатьох інших галузях.

Загалом, лазерні системи обробки поверхні надають широкий спектр можливостей для обробки матеріалів з високою точністю, якістю та продуктивністю. Вони знаходять застосування в різних промислових галузях і сприяють вдосконаленню виробничих процесів, підвищенню якості виробів та ефективності виготовлення [8].

### **1.2.1 Призначення лазерних верстатів**

Лазерні верстати є високотехнологічними пристроями, призначеними для виконання різноманітних завдань обробки матеріалів з використанням

									Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ				17

лазерного променя. Вони знаходять широке застосування в різних галузях, включаючи промисловість, машинобудування, медицину, електроніку, авіацію та багато інших. Основне призначення лазерних верстатів полягає в точній та швидкій обробці матеріалів з високою якістю та повторюваністю. Вони забезпечують можливість різання, свердління, гравірування, зварювання, абляції та інших процесів, залежно від конкретного типу лазерного верстата.

Лазерні верстати відрізняються від інших технологій обробки матеріалів тим, що вони працюють за допомогою керованого лазерного променя. Це дозволяє забезпечити високу точність, незалежно від складності геометрії деталі, а також можливість обробки широкого спектру матеріалів, включаючи метали, пластик, дерево, скло та інші. Застосування лазерних верстатів включає такі області, як виробництво запасних частин, обробка листових матеріалів для виробництва компонентів, створення деталей з високою точністю для прецизійних пристроїв, виготовлення елементів електроніки, створення унікальних художніх виробів та багато інших.

В цілому, лазерні верстати є потужними інструментами, які поєднують в собі високу точність, швидкість та можливість обробки різноманітних матеріалів. Вони відіграють важливу роль у виробничих процесах та сприяють покращенню якості та ефективності обробки матеріалів у різних галузях промисловості [9].

### **1.3 Системи обробки поверхні**

При розробці лазерної системи обробки поверхонь були розглянуті установки і технічні характеристики вже існуючих лазерних систем різних марок виробників.

									Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ				18

### 1.3.1 Оптоволоконний лазер GF 1530-2060

Лазер GF відкритого зображено на рис. 1.1.



Рис. 1.1 Оптоволоконний лазер GF 1530-2060

Кожна модель обладнана робочим столом, зварною станиною для товстих металевих матеріалів до 22 мм, а також системою серводвигунів, яка забезпечує точність руху по осях X і Y. Ці лазери оснащені автоматичною подачею інертного газу для зони різання, системою охолодження ріжучої головки, витяжкою для відведення випарів та системою змащення направляючих.

Для моделей з потужністю 2000 Вт, 2500 Вт та 3000 Вт в комплекті поставляється частотний випрямляч, який стабілізує напругу, що поступає в мережу, що дозволяє уникнути неправильної роботи комп'ютерної техніки в радіусі 50-100 метрів. Для моделей з потужністю 1000 Вт та 1500 Вт випрямляч не входить до комплекту, але його можна придбати окремо за додаткову плату. Також на моделях з меншою потужністю можна встановити лазерну головку з автофокусом, аналогічну тій, що використовується на більш потужних моделях. Зубчасту рейку і шестерню також можна замінити на інші варіанти за додаткову плату.

Всі моделі працюють від мережі з напругою 380 В та частотою 50/60 Гц. Лазери доступні в п'яти різних модифікаціях станини та п'яти різних модифікаціях потужності випромінювача. Це означає, що кожна з розмірів станини може бути поєднана з будь-якою потужністю, що в сумі дає 25 різних моделей. Програмне забезпечення для цих лазерів є дуже простим у

									Арк.
									19
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ				

використанні та підтримує велику кількість форматів для завантаження розкрійних файлів [10].

Технічні характеристики оптоволоконного лазера GF 1530-2060 наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Характеристика	Значення
Потужність лазера, Вт	3000
Робоче поле, мм	1500×3500
Тип лазера	Оптоволоконний
Максимальна швидкість обробки, мм/с	65
Електроживлення	3 фази, 380В, 50Гц
Охолодження	Водяне охолодження
Вага, кг	5000

**Переваги оптоволоконного лазера GF 1530-2060:**

- велика потужність даного лазера 3000 Вт;
- велике робоче поле 1500×3500 мм;
- розширені настройки характеристик установки;
- просте програмне забезпечення;
- висока якість поверхні в зоні різання.

**Недоліки оптоволоконного лазера GF 1530-2060:**

- висока вартість 400 000 грн;
- велика вага 5000 кг;
- необхідність установки в спеціальному підготовленому приміщенні, в якому буде проведене потужне електроживлення;
- габаритність установки 2.5×3.5×1.5 м ;
- високе електроспоживання 3500 Вт.

									Адк.
									20
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ				

### 1.3.2 Лазерний верстат THUNDER Laser Desktop

**THUNDER LASER Nova Desktop** зображений на рис. 1.2 є компактною настільною моделлю лазерного верстата NOVA, яка зберігає всі основні характеристики та функціонал своїх більших аналогів, але зменшеного розміру. Це не впливає на якість кінцевих результатів.



Рис. 1.2 Лазерний верстат THUNDER Laser Desktop

Цей верстат ідеально підходить для тих, хто має обмежений простір у своєму приміщенні. THUNDER LASER Nova Desktop є надійним рішенням для виготовлення персоналізованих продуктів, вирізування індивідуальних деталей, створення моделей, виготовлення різноманітних предметів на замовлення та високоякісного гравірування.

Завдяки великому попиту на лазерні верстати, THUNDER LASER Nova Desktop втілює всі вимоги та новітні розробки сучасного верстата, здатного виконувати високофункціональні завдання на високому рівні. Подібно до своїх попередників, THUNDER LASER Nova Desktop оснащений герметичною скляною трубкою зі стислим CO<sub>2</sub> всередині, що забезпечує стабільну генерацію лазерного променя.

Розмір верстата складає 1070×790×610 мм, а робоча поверхня має розмір 600×400 мм. Вага THUNDER LASER Nova Desktop становить 130 кг. Для охолодження лазерної трубки, до верстата підключається чиллер, який циркулює воду крізь трубку та підтримує її температуру на постійному рівні.

									ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата						21



### 1.3.3 Волоконний лазерний очищувач MSLC

MSLC зображений на рис. 1.3 це інноваційний волоконний лазерний очищувач, розроблений для обробки різних поверхонь за допомогою лазерного променя.



Рис.1.3 Волоконний лазерний очищувач MSLC

Якщо вам потрібно очистити металеві деталі від іржі, видалити бруд, смолу або попереднє покриття, лазерний очищувач MSLC з легкістю справиться з цими завданнями. Цей пристрій дуже простий у використанні, навіть незрілий оператор зможе ним керувати, а головне - лазерний очищувач для металу не завдає шкоди деталям, навколишньому середовищу або оператору, який з ним працює [12]. Технічні характеристики волоконного лазера MSLC наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Характеристика	Значення
Потужність лазера, Вт	1000
Робоче поле, мм	300×350
Тип лазера	Волоконний
Електроживлення	3 фази, 380В, 50Гц
Охолодження	Водяне охолодження
Вага, кг	220
Максимальна швидкість обробки, мм/с	15



тканина, шкіра, гума та інші матеріали, які зазвичай обробляються CO<sub>2</sub>-лазерами.

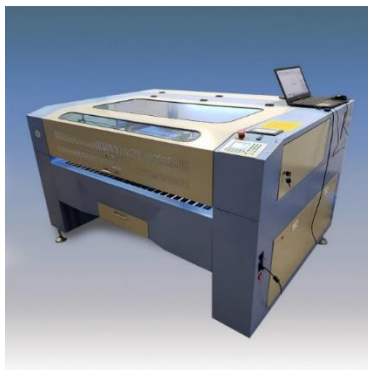


Рис. 1.4 Лазерний верстат MSL1390Plus

Таким чином, це є універсальний варіант для обробки широкого спектру матеріалів, включаючи метал, за досить доступною ціною. Варто відзначити, що спеціалізовані оптоволоконні лазери для металу коштують сотні тисяч доларів, а плазмові верстати надають менш якісний розріз порівняно з лазерами. Таким чином, CO<sub>2</sub>-лазер, модифікований для роботи з металом, стає єдиним варіантом за розумну ціну для обробки тонкометалевих матеріалів [13].

Технічні характеристики лазерного верстата MSL1390Plus наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Характеристика	Значення
Потужність лазера, Вт	180
Робоче поле, мм	800×900
Тип лазера	Герметична скляна лазерна трубка Co <sub>2</sub>
Максимальна швидкість гравіювання, мм/с	60
Електроживлення	одна фаза, 220В, 50Гц
Охолодження	Водяне охолодження
Вага, кг	320

### **Переваги лазерного верстата MSF1390Plus:**

- велика потужність лазера 180 Вт;
- велике робоче поле 800×900 ;
- просте програмне забезпечення;
- невисоке електроспоживання;
- здатність обробляти різні матеріали.

### **Недоліки лазерного верстата MSF1390Plus:**

- велика вага;
- висока вартість 180 000 грн;
- для лазерного різання металу на цьому обладнанні потрібна подача кисню або азоту в зону розрізу;
- габаритність установки;
- необхідність в установці додаткового обладнання для водяного охолодження.

### **1.3.5 Лазерний верстат CO2 LEM3020**

LEM3020-AB-40W зображений на рис. 1.5 представляє собою компактний настільний закритий пристрій високої технологічності для гравірування і різання різних матеріалів.



Рис. 1.5 Лазерний верстат CO2 LEM3020

Його основою є потужний CO2-лазер потужністю 40 Вт, що дозволяє обробляти крихкі матеріали без пошкодження їх цілісності і зовнішнього вигляду, завдяки локалізованому тепловому впливу. Для роботи цього

									Арк.
									26
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ				

лазерного пристрою використовується суміш газів, таких як вуглекислий газ, азот і гелій.

Робочий стіл верстата має механізм затиску, який дозволяє фіксувати заготовки розміром до 200x80 мм, а робоче поле складає 300x200 мм. Переміщення лазерної головки відбувається по алюмінієвому профілю вздовж осі X і по безопорним валах діаметром 12 мм вздовж осі Y. Для забезпечення плавного і точного руху використовуються крокові двигуни Nema 17, а привід здійснюється за допомогою зубчастих ременів і коліс профілю MXL. Механічні кінцеві вимикачі використовуються для визначення крайніх положень об'єкта.

Лазерна трубка охолоджується рідиною, яку циркулює помпа EB-222. Для вентиляції корпусу і видалення продуктів горіння використовується витяжний вентилятор BPT-12B. Лазерна головка має штуцер для підводу стисненого повітря, яке використовується для обдування лінзи і видалення продуктів горіння з оброблюваної зони. Система управління верстатом базується на контролері Lihuiyu Studio Labs моделі 6C6879-LASER-M2. Всі компоненти верстата встановлені в біло-синій металевий корпус. Підключення до комп'ютера здійснюється через порт USB [14].

Технічні характеристики лазерного верстата LEM3020 вказані в табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Характеристика	Значення
Потужність лазера, Вт	45
Робоче поле, мм	300×200
Тип лазера	Герметична скляна лазерна трубка Co2
Максимальна швидкість гравіювання, мм/с	50
Електроживлення	одна фаза, 220В, 50Гц
Охолодження	Водяне охолодження
Вага, кг	30

					<i>ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		27

### **Переваги лазерного верстата LEM3020:**

- мала вага 30 кг;
- висока швидкість роботи 50 мм/с;
- висока якість гравіювання і різання;
- просте програмне забезпечення;
- невисока вартість 50 000 грн;

### **Недоліки лазерного верстата LEM3020:**

- мале робоче поле 300×200 мм;
- даний гравер не може гравіювати метал .

### **1.3.6 Лазерний гравер S1 4030 ЧПУ**

**Лазерний гравер S1** зображений на рис. 1.6 це набір для самостійної збірки повноцінного лазерного верстата з ЧПУ. Він здатний гравіювати пластик, шкіру, дерево, папір, картон, фанеру та інші матеріали.

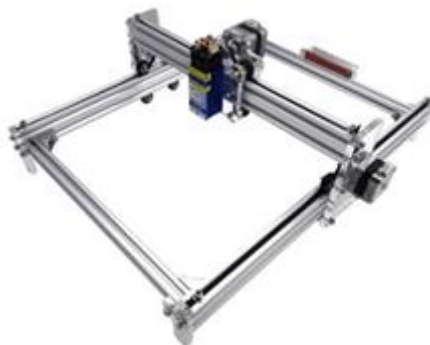


Рис. 1.6 Лазерний гравер S1 4030 ЧПУ

Цей гравер призначений для випалювання зображень, портретів, логотипів і написів на тканині, фанері, дереві та шкірі за допомогою діодного лазерного модуля. Випалювання може бути растровим, строковим або точковим. Відтінок малюнка визначається шляхом регулювання потужності та швидкості лазерного променя. Цей гравер підходить для різьблення по поверхні мишки, ручки, кредитних карток, гаманців, пластикових карток, дерев'яних рамок, виготовлення печаток та багато іншого. Верстат поставляється у

									ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						28

розібраному вигляді [15]. Технічні характеристики лазерного гравера S1 4030 наведені в табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Характеристика	Значення
Потужність лазера, Вт	2.5
Робоче поле, мм	400×300
Тип лазера	Напівпровідниковий
Максимальна швидкість гравіювання, мм/с	10
Електроживлення	Блок живлення 220 В / 12 В, 3 А
Охолодження	Повітряне охолодження
Вага, кг	10

#### **Переваги лазерного гравера S1 4030:**

- велике робоче поле 400×300 мм;
- мала вага 10 кг;
- висока швидкість роботи 25 мм/с;
- висока якість гравіювання і різання;
- просте програмне забезпечення;
- невисока вартість 10 000 грн;
- невисоке електроспоживання 220 В / 12 В, 3 А;

#### **Недоліки лазерного гравера S1 4030:**

- малопотужний лазер 2.5 Вт;
- даний гравер не може гравіювати метал;
- мала швидкість гравіювання 10 мм/с ;

#### **1.3.7 Лазерний гравер Wainlux K6**

Wainlux K6 зображений на рис.1.7 є вдосконаленою та покращеною версією компактного лазерного гравера попереднього покоління. Нова модель K6 зберігає інтуїтивно зрозуміле керування, яке було присутнє в попередній моделі K4, але також додає підтримку прямого гравіювання зображень з

									ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						29

мобільних пристроїв. Ця функція "прямого гравіювання" стає можливою завдяки вбудованому бездротовому модулю Bluetooth.



Рис. 1.7 Лазерний гравер wainlux K6

У порівнянні з попередньою моделлю, K6 має розширений спектр матеріалів, які можна гравіювати за допомогою лазера. Гравер є простим у використанні, весь необхідний програмний забезпечення доступний на комплектній флешці, і також є можливість керування гравером через підключення USB [16].

Технічні характеристики лазерного гравера Wainlux K6 наведені в табл. 1.7.

Таблиця 1.7

Характеристика	Значення
Потужність лазера, Вт	3
Робоче поле, мм	80×80
Тип лазера	Напівпровідниковий
Максимальна швидкість гравіювання, мм/с	10
Електроживлення	Блок живлення 220 В/12 В, 3 А
Охолодження	Повітряне охолодження
Вага, кг	1

### Переваги лазерного гравера Wainlux K6:

- мала вага 1 кг;
- невеликі габарити 500×500 мм ;



DK-8-KZ має корпус, виготовлений з міцного й легкого алюмінію, нержавіючої сталі та акрилу. Для ефективного охолодження лазера під час роботи використовуються спеціальний блок живлення і радіатор [17]. Технічні характеристики лазерного гравера Wainlux K6 наведені в табл. 1.8.

Таблиця 1.8

Характеристика	Значення
Потужність лазера, Вт	1
Робоче поле, мм	50×50
Тип лазера	Напівпровідниковий
Максимальна швидкість гравіювання, мм/с	6
Електроживлення	Блок живлення 220 В/12 В, 3 А
Охолодження	Повітряне охолодження
Вага, кг	2

#### **Переваги лазерного гравера Wainlux K6:**

- мала вага 2 кг;
- висока якість гравіювання ;
- просте програмне забезпечення;
- невисока вартість 10 000 грн;
- невисоке електроспоживання 220 В/12 В, 3 А;

#### **Недоліки лазерного гравера Wainlux K6:**

- малопотужний лазер 1 Вт;
- мале робоче поле 50×50 мм;
- даний гравер не може гравіювати метал;
- мала швидкість гравіювання 6 мм/с;

#### **1.4 Особливості та переваги ЛСОП**

Лазерні системи обробки поверхні мають численні особливості та переваги, які роблять їх популярними в промислових застосуваннях. Ось більш детальний опис цих особливостей та переваг:

									ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						32

- Висока точність. Лазери є високоточними інструментами, що дозволяють виконувати дрібну та складну обробку поверхні. Завдяки малому розміру пучка лазерного променя та високій роздільній здатності систем керування, лазери можуть створювати високодеталізовані мікроструктури, мікрорельєфи та мікроканали на поверхні матеріалу. Це особливо важливо для таких галузей, як електроніка, мікроелектромеханічні системи (МЕМС), медицина та наукові дослідження;

- Широкий спектр матеріалів. Лазерні системи обробки поверхні можуть працювати з різними типами матеріалів, включаючи метали, пластик, кераміку, скло, тканини та багато інших. Це дає можливість використовувати лазерну обробку для багатьох промислових галузей, включаючи автомобільну, авіаційну, медичну, ювелірну та електронну промисловість;

- Недеструктивна обробка. Деякі лазерні процеси обробки поверхні, наприклад, лазерне гравіювання або лазерне зміцнення, є недеструктивними. Це означає, що лазерне випромінювання взаємодіє тільки з поверхнею матеріалу, не пошкоджуючи його внутрішні структури або властивості. Це особливо корисно для обробки дорогоцінних або важливих виробів, де необхідно зберегти їх цілісність та якість;

- Мінімальна теплова деформація. Оскільки багато лазерних процесів мають малу теплову зону впливу, вони мінімізують нагрівання навколишнього матеріалу. Це дозволяє уникнути теплової деформації, змін розміру або спотворень матеріалу під час обробки. Така можливість є важливою для дрібних та чутливих виробів, які потребують високої точності та дотримання геометричних параметрів;

- Автоматизація та контроль. Лазерні системи обробки поверхні можуть бути інтегровані в автоматизовані виробничі лінії, що забезпечує високу продуктивність та повторюваність процесу. Крім того, багато лазерних систем оснащені системами контролю та моніторингу, які дозволяють реалізувати реал-тайм контроль параметрів обробки, якості та відхилень.

									ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						33

## Висновки до розділу 1

Після проведеного аналізу чотирьох типів лазерів - твердотільних, рідинних, напівпровідникових і газових - для розробки нашої системи лазерної обробки поверхні було прийнято рішення вибрати напівпровідниковий лазер.

Основними параметрами, які мали відповідати лазери в нашій системі, були висока ефективність, невеликі розміри, проста система живлення та модуляції сигналу. Твердотільні лазери та газові лазери, хоч і мали потрібні параметри, вимагали складних систем охолодження та енерго-забезпечення, що ускладнювало їх використання в нашій системі.

Напівпровідникові лазери, натомість, мали багато переваг, що робило їх найкращим вибором для нашої системи. Вони мають просту систему живлення, можуть функціонувати при повітряному охолодженні, а система модуляції сигналу відбувається шляхом простої модуляції струму накачки. Це робить напівпровідникові лазери зручними у використанні та керуванні.

Зазначено, що існуючі лазерні системи для обробки поверхні мають деякі недоліки, такі як висока вартість, надлишкова потужність, обмежені розміри поля, що не задовольняють вимогам експериментального виробництва друкованих плат. Зараз на ринку відсутні дешеві варіанти таких пристроїв. Тому, розробка нашої системи має на меті зайняти нішу в експериментальному та дрібносерійному виробництві друкованих плат шляхом створення доступної та простої у використанні системи. Таким чином, обрання напівпровідникових лазерів для розробки системи лазерної обробки поверхні є обґрунтованим рішенням, оскільки вони надають оптимальну комбінацію параметрів, необхідних для задоволення потреб виробництва друкованих плат зображення доріжок на текстоліт і маркування цієї друкованої плати. Це дозволить створити систему, яка буде відносно недорогою, простою у використанні та здатною задовольняти вимоги експериментального та дрібносерійного виробництва.

									ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						34

## 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ

### 2.1 Розробка структурної схеми

На сьогоднішній день системи лазерної обробки поверхні мають велику популярність серед методів нанесення зображень на різні поверхні та модифікації поверхні. Сучасні системи даних систем є високотехнологічними і мають в собі елементи та вузли з якісних комплектуючих. В даних системах широко використовуються програмні методи управління і регулювання параметрів. Ці параметри дозволяють працювати системам в тривимірному просторі і виконувати складні завдання не втрачаючи якості, і точності. Для того щоб верстат працював довго і надійно, управління ним виконується за допомогою комп'ютера. Тому запрограмувати можна різні зображення. Дана система лазерної обробки поверхні призначена для роботи із пластиком, фанерою, деревом, текстолітом, лаками та фарбою. Для того щоб лазерна система ефективно працював необхідно визначити його технічні характеристики (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Характеристика	Значення
Потужність лазера, мВт	Від 500
Робоче поле, мм	Не менше 300×300 мм
Тип лазера	Напівпровідниковий
Швидкість лінійної обробки, мм/с	Не менше 10
Електроживлення	~220 В
Охолодження	Повітряне
Вага, кг	До 4 кг

Перед початком проєктування принципової схеми потрібно визначити з яких частин має складатися майбутня система. Аналізуючи інформацію з джерел, що описана у першому розділі, лазерна система обробки поверхні повинна мати такі складові: мікроконтролер Arduino, два драйвери крокових

									Арк.
									35
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ				

двигунів, два драйвери для крокових двигунів, лазер, система охолодження, оптична система.

На рис. 2.1 приведена структурна схема системи лазерної обробки поверхні.



Рис. 2.1 Структурна схема

*Лазер.* Основним елементом лазерної системи обробки поверхні є лазер, який випромінює промінь високої енергії, необхідний для гравіювання матеріалу. Лазер може бути напівпровідниковим (наприклад, напівпровідниковий лазер) або газовим (наприклад, CO<sub>2</sub> лазер). На рис. 2.2 зображено напівпровідниковий лазер 500 мВт.

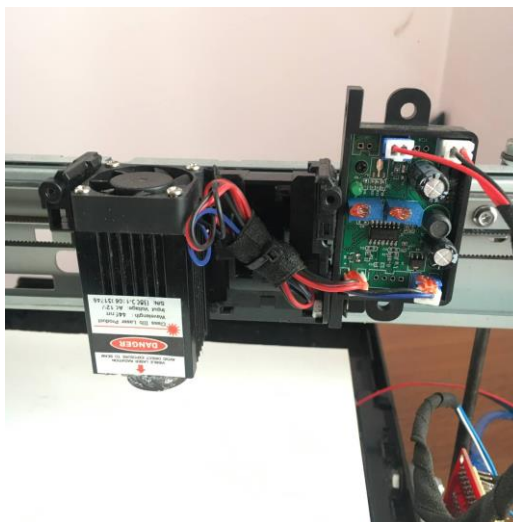


Рис. 2.2 Напівпровідниковий лазер 500 мВт

						ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Дрк
Змн.	Дрк.	№ докum.	Підпис	Дата			36

*Оптична система.* Лазерний промінь проходить через систему лінз та дзеркал, які використовуються для його фокусування та направлення. Оптична система дозволяє досягнути високої роздільної здатності та точності обробки. Лінза для фокусування установлена заводом виробника лазера.

*Кроковий двигун.* Для переміщення робочого стола та лазера в горизонтальних (X, Y) напрямках використовуються два крокові двигуни Кроковий двигун Nema 17 зображений на рис. 2.3.



Рис. 2.3 Кроковий двигун Nema 17

*Драйвер крокового двигуна.* Лазерний гравер має систему керування на базі мікроконтролера Arduino Nano, яка відповідає за керування рухом лазерної головки. Драйвер крокового двигуна A4988 зображений на рис. 2.4.



Рис. 2.4 Драйвер крокового двигуна A4988

*Система охолодження.* Лазерний модуль виробляє значну кількість тепла, тому важливо мати систему охолодження, яка забезпечує стабільну роботу пристрою. Згідно технічного завдання дана система має мати повітряну систему охолодження. Система охолодження лазера зображена на рис. 2.5.

									Арк.
									37
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ				

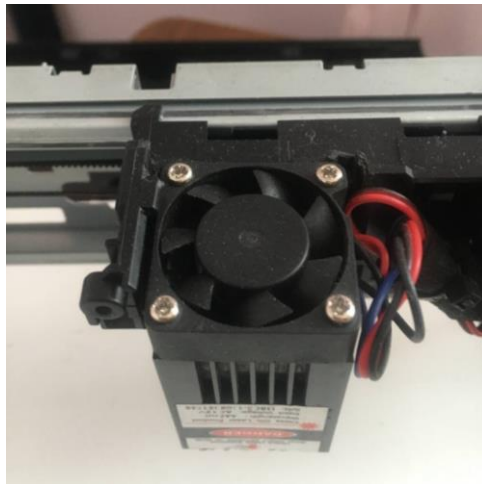


Рис. 2.5 Система охолодження лазера

## 2.2 Розробка принципової схеми

### Мікроконтролер Atmega 328P

Мікроконтролер ATmega328P в лазерному гравері виконує ключові функції керування та контролю системи. Він відповідає за керування рухом крокових двигунів осей X і Y, що забезпечують переміщення лазерного променя по поверхні. Завдяки вбудованим таймерам і лічильникам, мікроконтролер генерує точні сигнали керування для крокових двигунів з необхідною точністю. Він також взаємодіє з оператором через інтерфейси, які дозволяють приймати команди та передавати їх до відповідних модулів. Крім того, мікроконтролер контролює ввімкнення та вимкнення лазерного променя згідно з командами оператора та може регулювати інтенсивність променя шляхом керування струмом живлення. Він також здійснює обробку даних, пов'язаних з рухом і точністю гравера, і забезпечує безпеку роботи, включаючи функції аварійного вимикання та контролю за перегрівом. Схема мікроконтролера Atmega 328P зображена на рис. 2.6

									ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						38





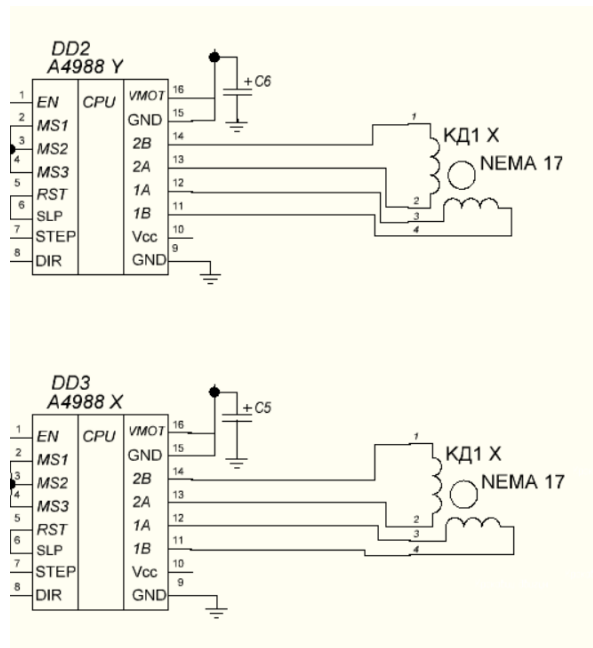


Рис. 2.8 Схема підключення крокових двигунів

### Драйвер крокового двигуна A4988

Блок драйвера крокового двигуна A4988 в лазерній системі обробки поверхні відповідає за керування кроковими двигунами, які використовуються для переміщення лазерної головки по поверхні об'єкта. Робота драйвера полягає у прийнятті сигналів керування з мікроконтролера та забезпеченні відповідного живлення та сигналів керування для крокових двигунів.

Драйвер A4988 працює на основі пульсової модуляції, де йому подаються пульсові сигнали з мікроконтролера для керування рухом крокового двигуна. Драйвер перетворює ці пульси в потрібні сигнали керування для крокового двигуна, зокрема визначає напрямок руху, кроковий режим, швидкість та кількість кроків.

У режимі руху драйвер змінює напругу та пульсацію на вихідних пінах, що впливає на рух крокового двигуна. Він контролює послідовне включення та вимкнення фаз обмоток двигуна, що призводить до його поступального руху з точністю до кроку.

Драйвер також забезпечує захист від перевантажень та перегрівання крокових двигунів, контролюючи струм, що проходить через них. Він може бути налаштований для регулювання максимального струму, що споживає

						ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата			41

кроковий двигун, що дозволяє уникнути пошкодження двигуна або перевантаження системи. Схема підключення драйверів крокових двигунів до МК Arduino Nano Atmega 328P зображена на рис. 2.9.

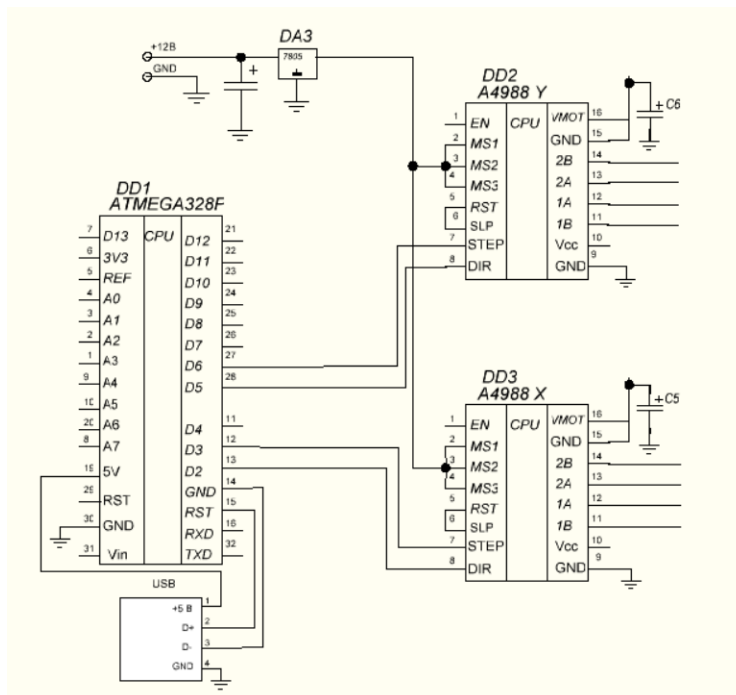


Рис. 2.9 Схема підключення драйверів крокових двигунів до МК Arduino Nano Atmega 328P

### Система охолодження

Блок охолодження з 3 Вт вентилятором в лазерній системі обробки поверхні відіграє ключову роль у забезпеченні ефективного охолодження компонентів, що піддаються нагріву під час роботи лазерного гравера.

Робота блоку охолодження базується на використанні електричного вентилятора, який рухає повітря в заданому напрямку. Цей потік повітря охолоджує нагрівальні елементи та забезпечує оптимальну температуру роботи системи.

Блок охолодження має регульований вентилятор, що дозволяє змінювати швидкість обертання вентилятора залежно від потреби охолодження. Наприклад, при збільшенні нагріву вентилятор може автоматично прискорюватись, щоб забезпечити більш інтенсивне охолодження. Такий підхід

									Арк.
									42
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ				

дозволяє підтримувати стабільну температуру і запобігає перегріву компонентів.

Схема підключення блоку системи охолодження лазера зображена на рис. 2.10.

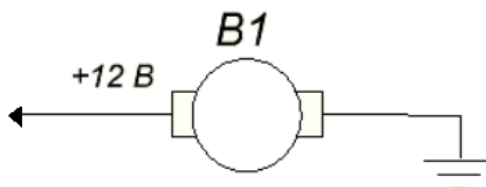


Рис. 2.10 Схема підключення блоку системи охолодження лазера

### 2.3 Програмне забезпечення та прошивка

Керування виконується безкоштовною програмою Engraver Master, інтерфейс якої зображено на рис. 2.11.

Для того щоб МК працював потрібна прошивка G-code [19]. G-code є стандартом для програмування ЧПУ-систем, включаючи ЛСОП, який забезпечує керування рухом і операціями лазерної системи обробки поверхні. Він складається з ряду команд, які визначають рухи, швидкості, активність лазера та інші параметри.

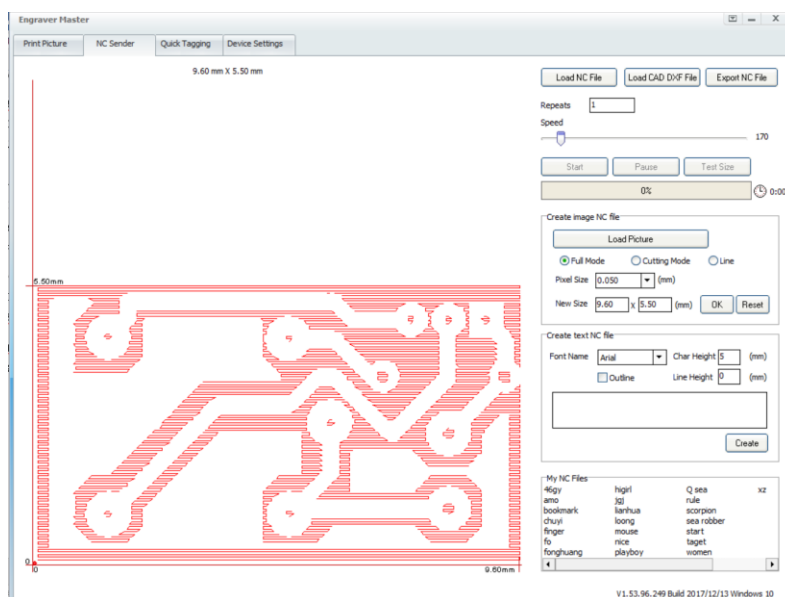


Рис. 2.11 Вікно безкоштовної програми для лазерного гравера Engraver Master

Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата

## Висновки до розділу 2

Лазерна система обробки поверхні повинна складатися з таких блоків: лазер, мікроконтролер, крокові двигуни, драйвери для крокових двигунів, система охолодження, оптична система.

Лазер використовується 500 мВт, він підключений до мікроконтролера і керується TTL сигналом. Його завданням є обробка поверхні матеріалу.

Система керування базується на мікроконтролері марки Arduino Nano Atmega328P. Він програмується вже створеною бібліотекою G-code, для лазерних систем. Його завдання керувати двома кроковими двигунами через їх драйвери і лазером.

Крокові двигуни використовуються марки Nema 17. За допомогою цих крокових двигунів виконується переміщення лазера по осі X та переміщення робочого стола по осі Y.

Драйвери для крокових двигунів вибрані на базі популярного чіпа A4988. Вони приймають сигнал від МК, обробляють його і керують рухами крокових двигунів.

Щоб лазер не перегрівався встановлено систему охолодження в вигляді вентилятора потужністю 3 Вт.

Оптична система встановлена і сфокусована виробником лазера.

Розроблена система має наступні параметри:

- робоче поле 300 300 мм;
- потужність лазера 500 мВт;
- напівпровідниковий тип лазера;
- електроспоживання ~220 В;
- повітряне охолодження;
- вага 4 кг.

Дані параметри відповідають технічному завданню.

									Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ				44

### 3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЛАЗЕРНОГО ГРАВЕРА

Для того щоб провести перевірку роботи системи було проведено моделювання схеми системи лазерного гравера в безкоштовній пробній версії (студентська) програми Proteus 8 (рис. 3.1), була здійснена перевірка працездатності всіх компонентів системи. Для моделювання були використані моделі елементів взяті з відкритих джерел. У системі було використано мікропроцесор Atmega 328P для керування всією системою. Крокові двигуни використовувалися в якості електродвигунів, а драйвери A4988 були використані для їх керування.. На цьому етапі було визначено працездатність схеми, прошивки МК, його реакцію на сигнали від блоку керування, правильність роботи драйверів крокових двигунів[19, 20].

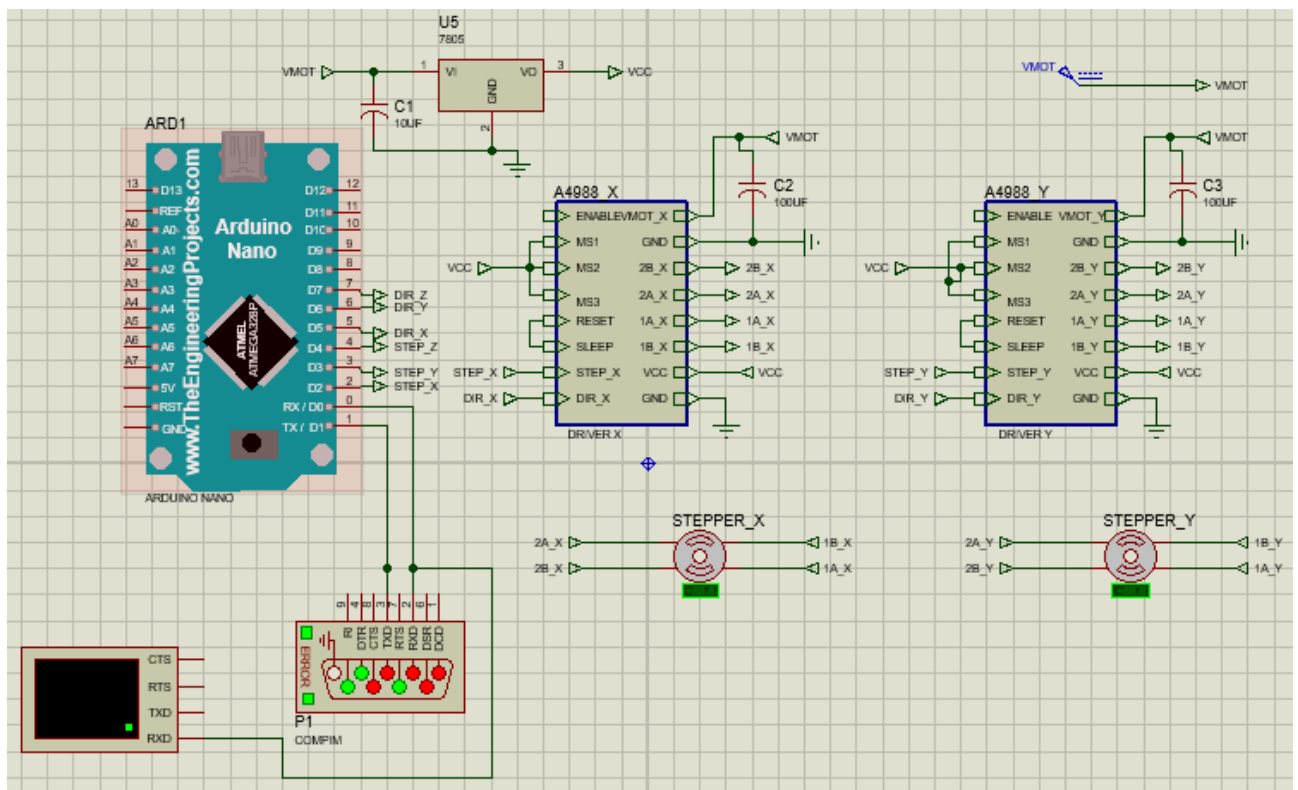


Рис. 3.1 Модель системи у середовищі Proteus

Для того щоб переконатися, що дана розроблена система в безкоштовній програмі Proteus 8 працює, було проведено симуляцію руху крокових двигунів на задані МК параметри.

На рис. 3.2 проведено симуляцію крокових двигунів осі X та Y

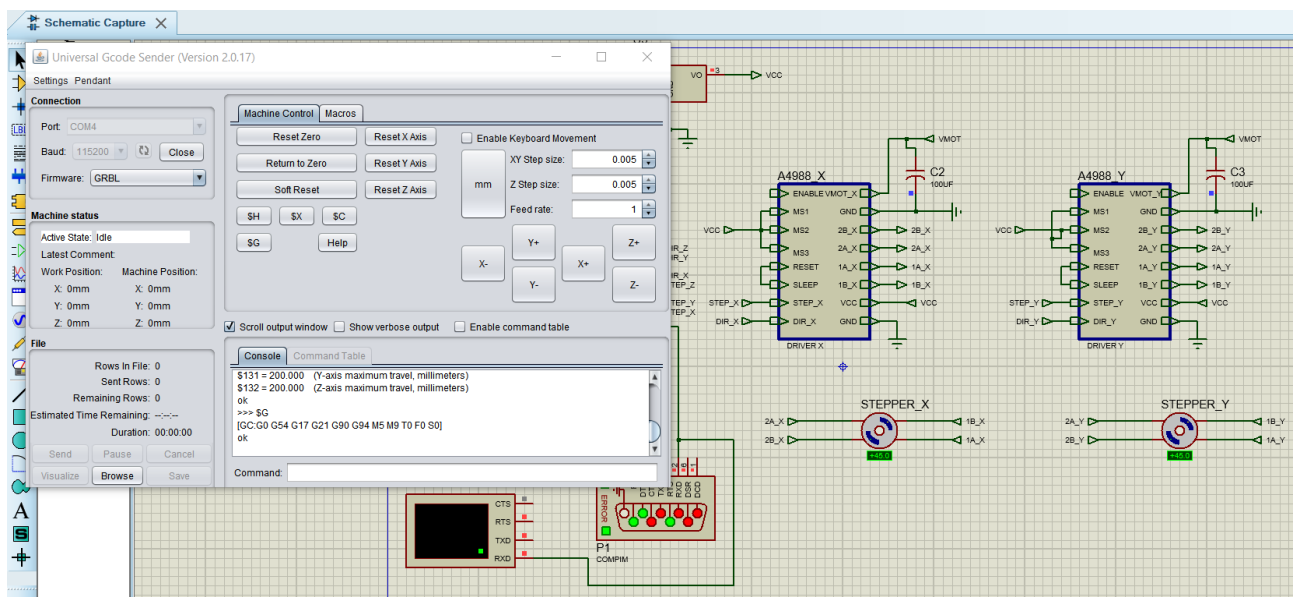


Рис. 3.2 Симуляції крокових двигунів осі X та Y

Задавши крок 0.005 мм для двох двигунів, нажавши на кнопки X- та Y- , на рис. 3.3 бачимо, що крокові двигуни виконали рух на задану відстань.

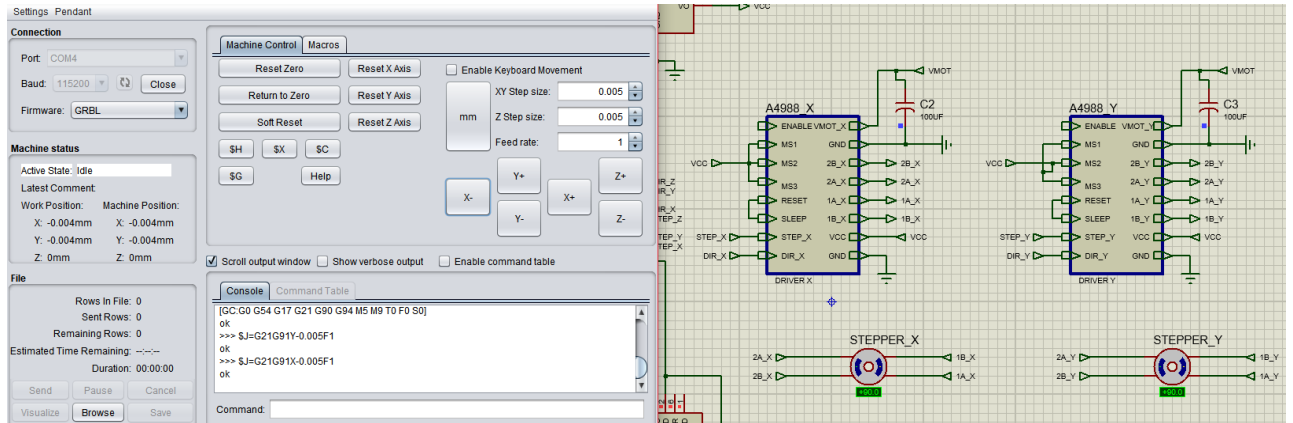


Рис. 3.3 Симуляція руху крокових двигунів на відстань 0.005 мм

На рис. 3.4 задамо крок 0.1 мм для двох двигунів X та Y. Вони виконали рух вперед.

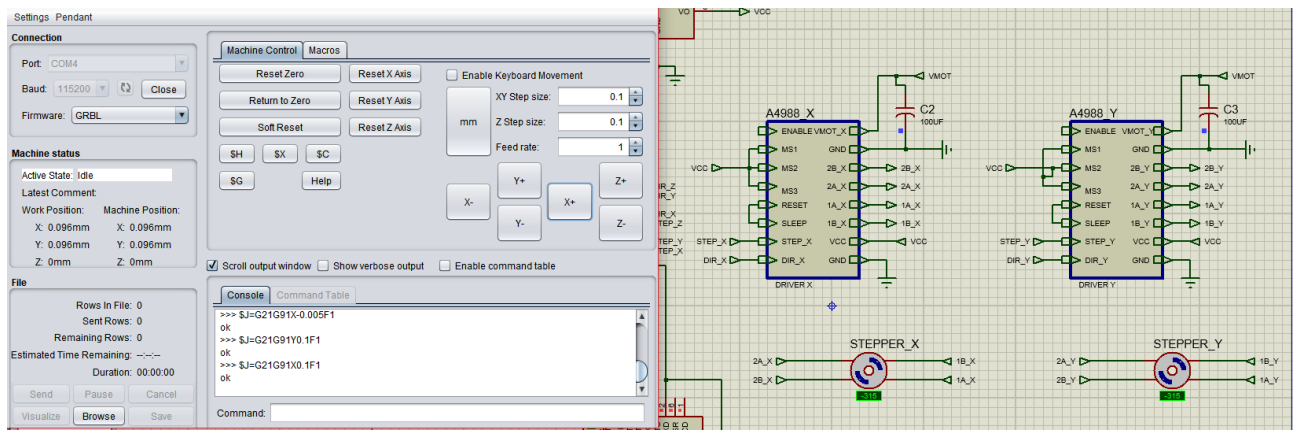


Рис. 3.4 Симуляція руху крокових двигунів на відстань 0.1 мм

Щоб отримання більш точні результати зібрано лабораторний зразок лазерного гравера та проведено тестування усієї системи (рис. 3.5). У тестову систему входили такі блоки та компоненти: МК Arduino Nano Atmega 328P, два крокових електродвигуни Nema 17, два драйвери крокових електродвигунів A4988, лазерний модуль потужністю 500 мВт з платою керування TTL та системою охолодження.

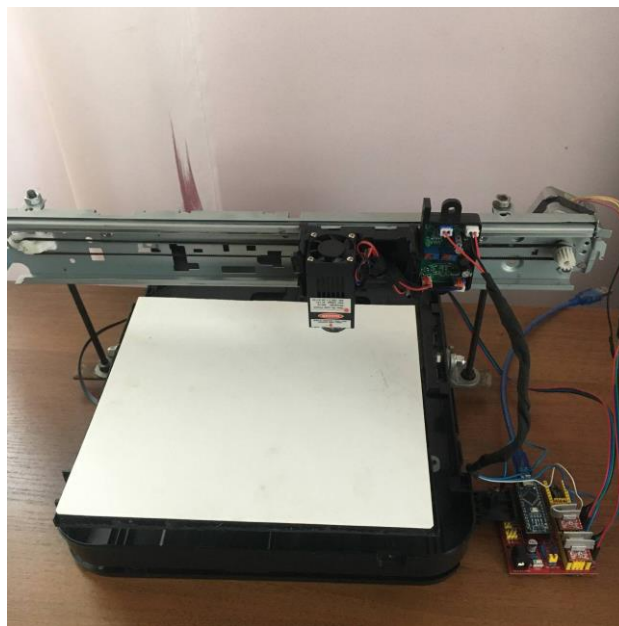


Рис. 3.5 Лабораторний зразок лазерного гравера

Зібравши всю систему при першому старті виянилось, що електродвигуни працюють не коректно. Для цього потрібно відкалібрувати драйвери. У даному випадку на самому драйвері є потенціометр яким регулюється напруга на виході. Виставивши однакові оберти потенціометра

						Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	
					47	

напруга стала однаковою на двох драйверах. Після цього проблема була вирішена.

Для тестування лазерного модуля було обрано лакований фольгований текстоліт. Проведено дослідження зміни швидкості гравіювання показаного на рис. 3.6. Швидкість гравіювання наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Номер гравіювання	1	2	3	4	5
Швидкість гравіювання мм/с	15	20	25	30	35

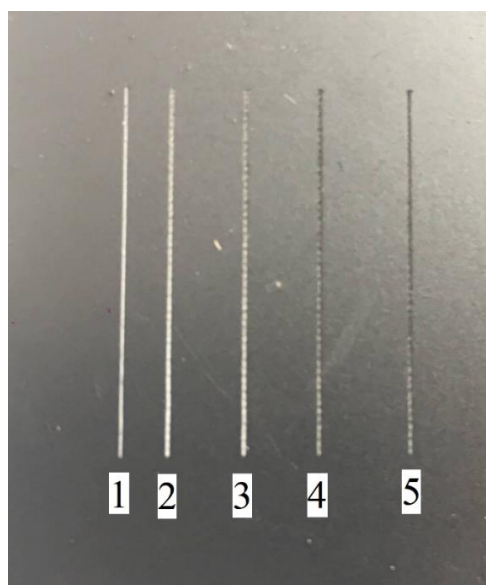


Рис. 3.6 Гравіювання лакованого фольгованого текстоліту при різних швидкостях

Результати моделювання на рис. 3.6 демонструють, що швидкість гравіювання 15 мм/с забезпечує найкращу якість і ефективність процесу гравіювання. Враховуючи ці дані, можна налаштувати систему лазерного гравера з оптимальною швидкістю гравіювання для досягнення бажаних результатів.

Чим менша швидкість гравіювання тим глибина більша, тоді лазер здатний проникнути глибше у матеріал і створити більш помітний ефект гравіювання. Однак, при занадто низькій швидкості може виникнути перегрів матеріалу, що може призвести до пошкодження або вигорання матеріалу.

Натомість, при збільшенні швидкості гравіювання до певної межі може спостерігатись зниження глибини гравіювання. Це може бути зумовлено тим,

що лазерний промінь не має достатнього часу взаємодіяти з матеріалом, щоб відокремити його шари або змінити його структуру. Також збільшення швидкості може призводити до меншої якості деталізації та рівномірності гравіювання.

Щоб досягнути оптимальних результатів гравіювання необхідно підібрати оптимальну швидкість, яка враховуватиме властивості матеріалу та бажану глибину гравіювання. Тому наступним матеріалом для гравіювання є дерево, яке зображено на рис. 3.7. Швидкість гравіювання наведена в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Номер гравіювання	1	2	3	4
Швидкість гравіювання мм/с	20	30	40	15



Рис. 3.7 Гравіювання дерева при різних швидкостях

Дерево легше піддається гравіюванню і дозволяє працювати на більшій швидкості. Доказом цього є гравіювання номер 4 на рис. 3.4, воно є найбільш глибоким і якість найкраща. Через те, що дерево має нерівномірну структурну поверхню при великій швидкості лазера не вистачає часу нанести гравіювання, тому деякі місця взагалі майже не прорисувались.

Проводивши гравіювання було зроблено заміри споживання ЛГ. Від блоку живлення 220-12В вони склали 2,5 А, що підлягає вимогам поставленого технічного завдання.

Крокові двигуни працюють коректно, не перегріваються при довгому користуванні. Робота лазерного модулю та його система охолодження показала, що лазер не нагрівається і працює в усіх режимах заданих програмно.

### Висновки до розділу 3

В результаті проведених досліджень та тестувань системи лазерної обробки поверхні було встановлено, що система працездатна та виконує свої функції з високою якістю та швидкістю. Комп'ютерне моделювання та перевірка працездатності компонентів дозволили виявити та вирішити проблеми з електродвигунами шляхом відкалібрування драйверів.

Тестування системи на лабораторному зразку підтвердило правильну роботу МК, крокових двигунів, драйверів та лазерного модуля. Було встановлено, що оптимальна швидкість гравіювання для досягнення бажаних результатів залежить від властивостей матеріалу та потреби в глибині гравіювання.

Система лазерної обробки поверхні продемонструвала стабільну роботу, відповідність технічному завданні, а також низьке споживання електроенергії. Крокові двигуни працюють без перегріву, а лазерний модуль не нагрівається та забезпечує потрібну продуктивність.

Тому, можна зробити висновок, що розроблена система лазерної обробки поверхні є ефективним інструментом для проведення гравіювання, маркування та інших операцій на різних матеріалах з високою якістю та швидкістю. Вона має потенціал для використання в промисловості, наукових дослідженнях та інших сферах, де потрібна точна та ефективна обробка поверхонь.

									Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ				50

## ВИСНОВКИ

В дипломній роботі проведено аналіз різних типів лазерів і було прийнято рішення обрати напівпровідниковий лазер для розробки нашої системи лазерної обробки поверхні. Цей вибір був зроблений на основі таких факторів, як висока ефективність, компактні розміри, простота системи живлення та модуляції сигналу. Інші типи лазерів, такі як твердотільні та газові, хоч і мали деякі потрібні параметри, вимагали складних систем охолодження та енергозабезпечення, що ускладнювало їх використання в нашій системі. У порівнянні з ними, напівпровідникові лазери мали багато переваг, таких як проста система живлення, можливість повітряного охолодження та проста система модуляції сигналу шляхом регулювання струму накачки. Це робить напівпровідникові лазери зручними для використання та керування.

Існуючі лазерні системи для обробки поверхні мають свої недоліки, такі як висока вартість, надлишкова потужність або обмежені розміри поля, надлишковий функціонал для експериментального виробництва друкованих плат. В даний момент на ринку відсутні доступні та прості у використанні варіанти таких систем. Тому метою нашої розробки було створення доступної та простої у використанні системи, яка займе нішу в експериментальному та дрібносерійному виробництві друкованих плат.

Тому обрання напівпровідникових лазерів для розробки нашої системи лазерної обробки поверхні є обґрунтованим рішенням, оскільки вони надають оптимальну комбінацію параметрів, необхідних для задоволення потреб виробництва друкованих плат зображення доріжок на текстоліт і маркування цієї друкованої плати. Розроблена система є відносно недорогою, простою у використанні та здатною задовольняти вимоги експериментального та дрібносерійного виробництва.

									Арк.
									51
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ				

Система лазерної обробки поверхні складається з таких блоків: лазер, мікроконтролер, крокові двигуни, драйвери для крокових двигунів, система охолодження та оптична система.

Розроблена лазерна система обробки поверхні показала високий потенціал в промисловості, наукових дослідженнях та інших сферах. Вона забезпечує точну та контрольовану обробку поверхні різних матеріалів, включаючи маркування, гравірування, модифікацію та інші операції з високою якістю та швидкістю. Результати експериментів та тестувань підтверджують високу якість обробки, повторюваність результатів та стабільну роботу системи. Розроблена система має наступні параметри: потужність 500 мВт, розмір робочого поля 300×300 мм, напівпровідниковий тип лазера, швидкість лінійної обробки 10 мм/с, повітряне охолодження, електроживлення ~220 В.

Характеристики системи відповідають технічному завданню до дипломної роботи.

					<i>ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

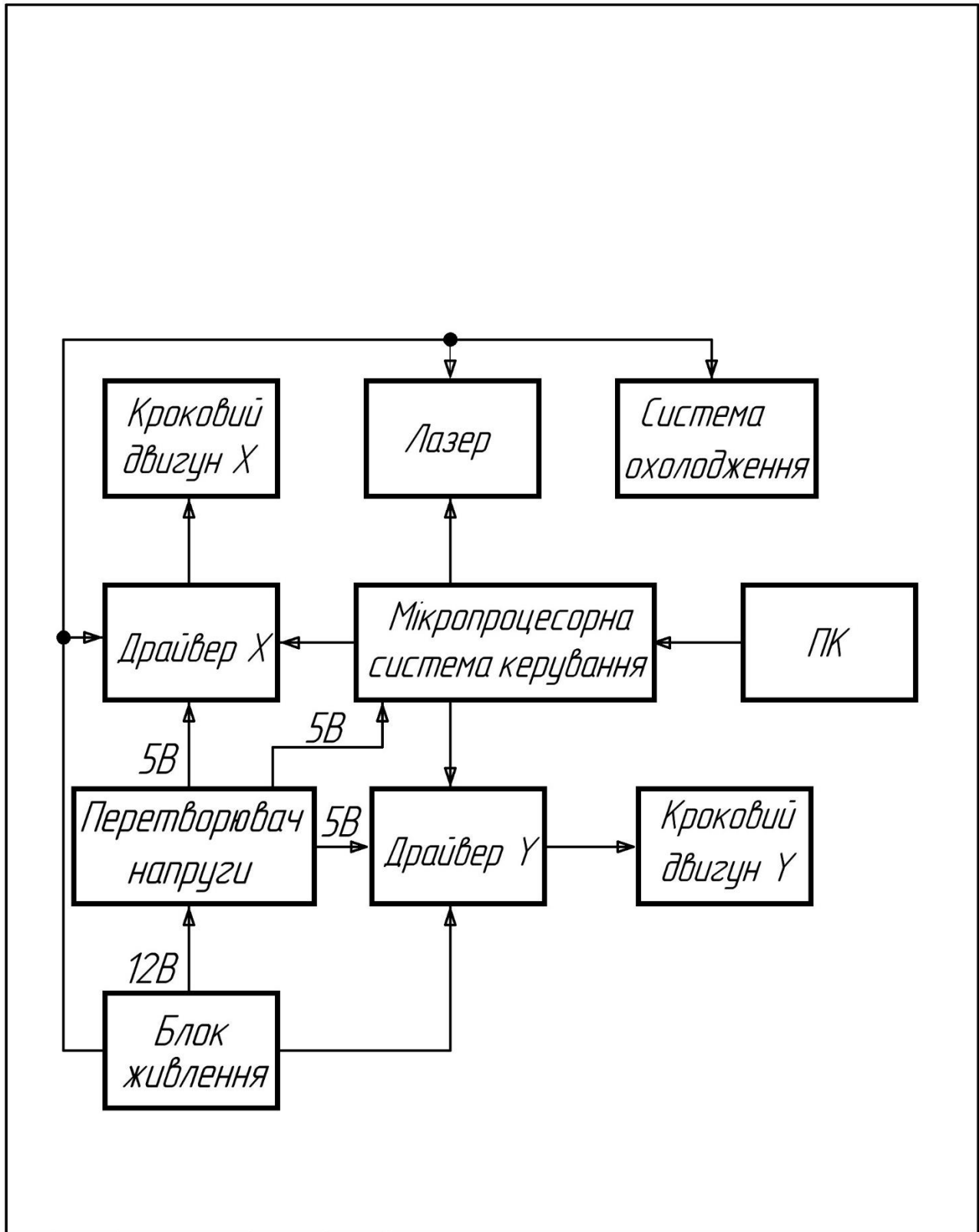
1. Kruth, J. P., Levy, G., Klocke, F., and Childs, T. H. C., 2007, “Consolidation Phenomena in Laser and Powder-Bed Based Layered Manufacturing,” CIRP Ann. - Manuf. Technol., 56(2), pp. 730–759.
2. Attar, H., Calin, M., Zhang, L. C., Scudino, S., and Eckert, J., 2014, “Manufacture by Selective Laser Melting and Mechanical Behavior of Commercially Pure Titanium,” Mater. Sci. Eng. A, 593, pp. 170–177.
3. Craeghs, T., Thijs, L., Verhaeghe, F., Kruth, J.-P., and Humbeeck, J. Van, 2010, “A Study of the Microstructural Evolution during Selective Laser Melting of Ti–6Al–4V,” Acta Mater. DOI:10.1016/j.actamat.2010.02.004.
4. Melting, S. L., “Optimized for Selective Laser Melting SLM Solutions ’ Material Competence Selective Laser Melting Pioneers.”
5. Mazumder, J., Laser Assisted Surface Coatings.
6. Agarwal, A., and Dahotre, N. B., Laser Surface Engineering of Steel for Hard Refractory Ceramic Composite Coating.
7. Xiao, R., and Zhang, X., 2014, “Problems and Issues in Laser Beam Welding of Aluminum-Lithium Alloys,” J. Manuf. Process., 16(2), pp. 166–175.
8. Olsson, R., Powell, J., Palmquist, A., Brånemark, R., Frostevarg, J., and Kaplan, A. F.
9. H., 2018, “Production of Osseointegrating (Bone Bonding) Surfaces on Titanium Screws by Laser Melt Disruption,” J. Laser Appl. DOI:10.2351/1.5078502.
10. ОПТОВОЛОКОННИЙ ЛАЗЕР GF 1530-2060 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tzp.com.ua/optovolokonn-lazeri/604>.
11. THUNDER LASER Nova Desktop [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://procompact.com.ua/products/thunder\\_laser/nova-desctop/](https://procompact.com.ua/products/thunder_laser/nova-desctop/).

									ДП. ДЕ91. 003.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата						53

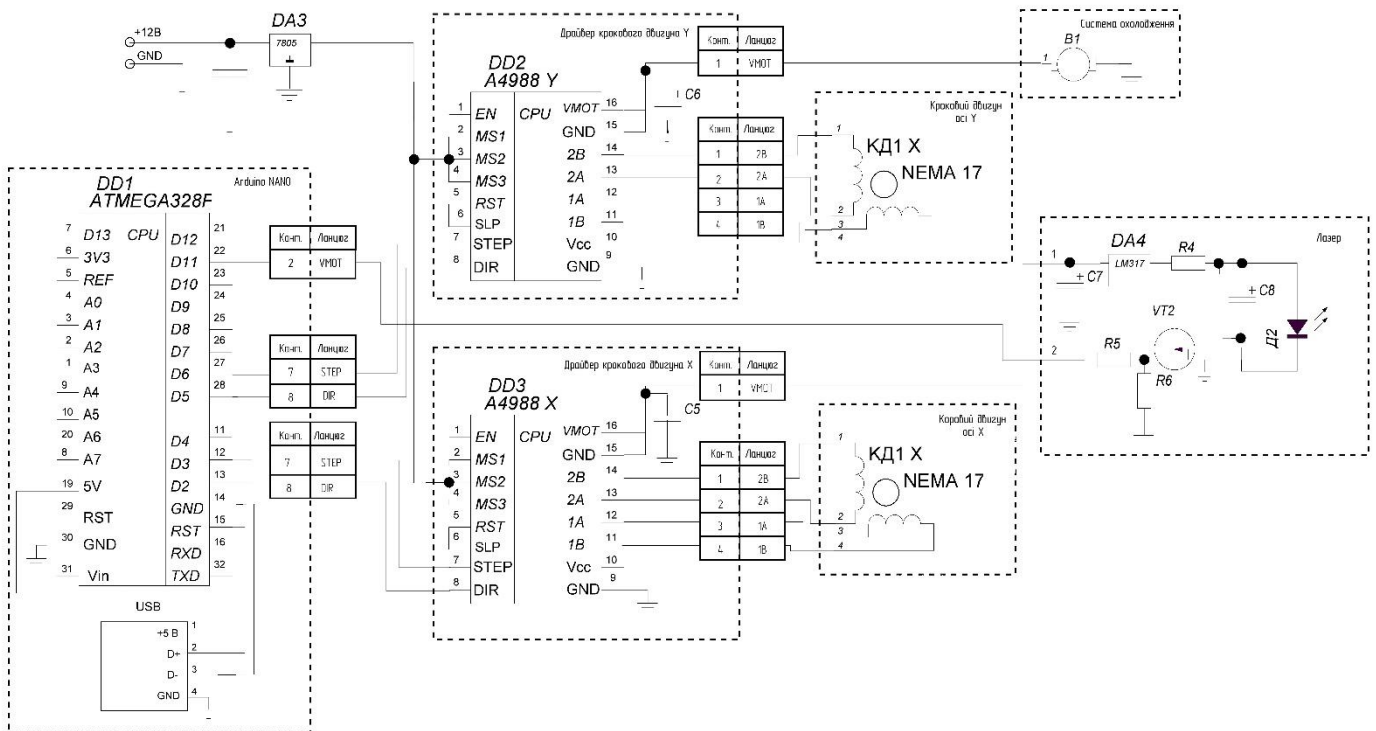








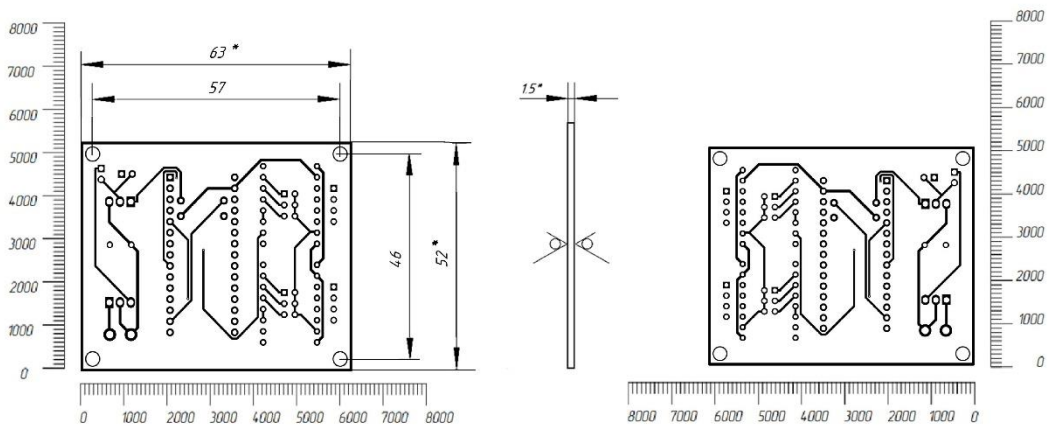
					<i>ДП.ДЕ91.003 Е1</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лазерна система обробки поверхні	Літ.	Арк.	Аркушів
							1	
Н. контр.		Батрак Л.М						
Затверд.		Бевза О.М.						
					Схема електрична структурна			



ДПДБ-91003.ЕЗ			
№ документа	Исполнитель	Дата	Лист 11
Контрагент	Содержание		
№ документа	Исполнитель	Дата	Лист 11
№ документа	Исполнитель	Дата	Лист 11

Лазерная система обработки поперёк  
 Киевские электронные технологии

© 2011 г. Киев  
 Складская программа "КЕ" - 0.01



Таблиця 1

Іншій позначення	Кількість	Розмір, мм	Металізація	Розміри КТ, мм
○	63	0,6 ±0,1	Так	1,2 ±0,1
○ □	4	0,8 ±0,1	Так	1,4 ±0,1
○ □	2	1,0 ±0,1	Ні	2,0 ±0,1
○	4	1,0 ±0,1	Ні	2,2 ±0,1
■	6	1,0 ±0,1	Ні	3,0 ±0,1
○	4	4,0 ±0,1	Так	4,6 ±0,1

Таблиця 2

Іншій позначення	Розміри, мм
■	3,5 × 2,0 ±0,05
┃	1,0 × 3,0 ±0,05
—	2,6 × 0,8 ±0,05
—	1,4 × 0,8 ±0,05
—	1,0 × 0,4 ±0,05

**\*Розміри для довідок**

1. Плата повинна відповідати ГОСТ 23752-79.
2. Крок координатної сітки 0,01 мм. Лінії координатної сітки нанесені через кожні 100 кроків.
3. Клас точності монтажу 4 з ГОСТ 23751-86.
4. Допускається закруглення кутів контактних площин і провідників.
5. Виготовити плату комбінованим позитивним методом.
6. Параметри отворів наведені у таблиці 1. Параметри елементів провідного малюнка наведені у таблиці 2.

				ВЛДБСР10003 Е4			
№	кв.	кв.	кв.	кв.	кв.	кв.	кв.
1	1	1	1	1	1	1	1
Лазерна система обробки поверхні				21			
Друківка плат				21			
№ 1: Е. П. П.				№ 1: Е. П. П.			
№ 2: В. П. П.				№ 2: В. П. П.			

# SUMMARY

## Laser system for surface treatment

The diploma project of first educational level "Bachelor" by specialty 171 Electronics, specialization Electronic Instruments and Devices Lytvynets Dmytro Grigoryovych National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». Faculty of Electronics, Department of Electronic Devices and Systems. Academic group DE-91. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2023. – 62 p., Ill. 26, tables 11.

In my thesis, I analyzed different types of lasers and decided to choose a semiconductor laser for the development of our laser surface treatment system. This choice was made based on factors such as high efficiency, compact size, simplicity of the power supply system, and signal modulation. Other types of lasers, such as solid-state and gas lasers, although they had some of the desired parameters, required complex cooling and power supply systems, which made them difficult to use in our system. Compared to them, semiconductor lasers had many advantages, such as a simple power supply system, the ability to be air-cooled, and a simple system for modulating the signal by adjusting the pumping current. This makes semiconductor lasers convenient to use and control.

Existing laser systems for surface treatment have their drawbacks, such as high cost, excessive power or limited field sizes, and redundant functionality for pilot production of PCBs. Currently, there are no affordable and easy-to-use versions of such systems on the market. Therefore, the goal of our development was to create an affordable and easy-to-use system that will occupy a niche in the experimental and small-scale production of printed circuit boards.

Therefore, the choice of semiconductor lasers for the development of our laser surface treatment system is a reasonable decision, since they provide the optimal combination of parameters necessary to meet the needs of PCB production for the image of tracks on textolite and marking of this PCB. The developed system is relatively inexpensive, easy to use, and capable of meeting the requirements of experimental and small-scale production.

The laser surface treatment system consists of the following units: laser, microcontroller, stepper motors, drivers for stepper motors, cooling system, and optical system.

The developed laser surface treatment system has shown high potential in industry, research and other areas. It provides precise and controlled surface treatment of various materials, including marking, engraving, modification and other operations with high quality and speed. The results of experiments and tests confirm the high quality of processing, repeatability of results and stable operation of the system. The developed system has the following parameters: power 500 mW, working field size 300×300 mm, semiconductor laser type, linear processing speed 10 mm/s, air cooling, power supply ~220 V.

The characteristics of the system correspond to the terms of reference for the thesis.

**Keywords:** diode lasers, surface treatment, laser applications, laser tuning, modulation, simulation, microcontrollers.

					ДП. група. № по списку. 000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		62