

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Сумський державний університет**

**Факультет електроніки та інформаційних технологій**

(повна назва інституту/факультету)

**Кафедра електроніки та інформативної техніки**

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Анатолій ОПАНАСЮК

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на здобуття освітнього ступеня бакалавр**

(бакалавр / магістр)

зі спеціальності \_\_\_\_\_ 171 Електроніка \_\_\_\_\_,

(код та назва)

\_\_\_\_\_ освітньо-професійної програми Електронні системи та компоненти

(освітньо-професійної / освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: Мікроконтролерний пристрій управління лазерним гравером

Здобувача групи ЕС-91 Щербини Вадима Юрійовича

(шифр групи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_

(підпис)

Вадим Щербина

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

доцент, доцент, к.т.н., Кулик І.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Суми – 2023**

**Сумський державний університет**

Факультет ЕЛІТ \_\_ Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

Спеціальність: 171– Електронні системи та компоненти

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

електроніки та комп'ютерної техніки

\_\_\_\_\_ А. С. Опанасюк.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

### **ЗАВДАННЯ**

до виконання кваліфікаційної випускної роботи бакалавра

Щербина Вадим Юрійович

1. Тема роботи :«Мікроконтролерний пристрій управління лазерним гравером »  
затверджена наказом по університету № 0310-VI від “ 30 ” березня 2023 р.
2. Термін здачі студентом закінченої роботи 11.06.2023.
3. Вихідні дані до роботи: реалізувати пристрій управління лазерним гравером на основі мікроконтролера.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити)  
Вступ  
Огляд літератури та постановка задачі проектування пристрою. Розробка алгоритму та структурної схеми спроектованого пристрою. Розробка функціональної схеми гравера. Розробка принципової схеми на елементарній базі гравера. Розробка програмного забезпечення.  
Висновок  
Список літератури
5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень або плакатів)
  1. Блок-схема алгоритма функціонування.
  2. Схема електрична структурна.
  3. Схема електрична функціональна.
  4. Схема електрична принципова.

## Календарний план

№ п/п	Найменування етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд літератури	17.04.2023	
2	Розробка алгоритму роботи	24.04.2023	
3	Розрахунок і синтез основних блоків	15.05.2023	
4	Розроблення схем електричних	29.05.2023	
5	Представлення роботи керівнику	11.06.2023	

Студент-дипломник Щербина Вадим Юрійович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник проекту Кулік Ігор Анатолійович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ.....	5
1.1 Огляд літератури лазерного гравіювання .....	5
1.1.1 Принцип роботи лазерного гравера .....	6
1.1.2 Застосування лазерних граверів.....	6
1.1.3 Переваги та недоліки лазерних граверів .....	8
1.1.4 Огляд аналогів на ринку .....	9
1.2 Постановка задачі.....	11
2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СПРОЕКТОВАНОГО ПРИСТРОЮ.....	12
2.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою.....	12
2.2 Розробка структурної схеми пристрою.....	15
3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ГРАВЕРА.....	16
4 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ТА ЕЛЕМЕНТАРНОЇ БАЗИ ГРАВЕРА.....	17
4.1 Вибір мікроконтролера.....	17
4.2 Вибір драйвера крокового двигуна.....	20
4.2 Вибір силового ключа.....	23
4.2 Вибір лазерного модуля та крокового двигуна.....	24
5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	26
ВИСНОВОК.....	33
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	35

					<i>ЕліТ 6.171.00.10.281 ПЗ</i>			
		<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Щербина В. Ю.</i>				<i>Мікроконтролерний пристрій управління лазерним гравером</i>	<i>Лит.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Кулік І. А.</i>						3	35
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ ЕС-91</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	<i>Опанасюк А.С.</i>							

## ВСТУП

За порівняно короткий термін верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК) зарекомендували себе як ефективне автоматизоване обладнання, що дозволяє досягти високих технічних і економічних показників, вирішити ряд важливих соціальних завдань. Щорічно зростає частка обладнання верстатів числового програмного керування у виробництвах на усіх напрямків. Сьогодні звичайні застарілі верстати вже нікому не потрібні. ЧПК - потребує і невід'ємна частина сучасного верстата. Вони необхідні практично на кожному підприємстві. Звичайний старий верстат не може виконати роботу точно. Якщо потрібні великі партії "штампованої" продукції, то обов'язково вибирають верстат з ЧПК. Його робота не пов'язана з людськими факторами, машина виконує свої завдання краще. Верстати з ЧПК - це автоматизовані верстати-роботи, які можуть проводити операції за заданою програмою без безпосередньої участі людини. Такі верстати є важливою частиною сучасної автоматизації, застосування якого необхідно для збереження рентабельності та отримання прибутку підприємствами, так як є важливою умовою забезпечення якості і швидкості виробництва. Верстат з ЧПК - це складна програмно-апаратна система, яка може перетворити блок сировинного (вихідного) матеріалу в складну деталь для подальшого використання в більшому механізмі або машині. Зазвичай, коли мова заходить про верстати з ЧПК, маються на увазі верстати, що використовуються в сфері промислового виробництва. Ці машини створюють речі які ми використовуємо щодня. Приклади верстатів з ЧПК численні - сюди входять фрезери, лазерні різачки, гравери, верстати електроерозійного різання, токарні верстати, плазмотрони, водорізи і багато інших. Формально в їх число входять і 3D-принтери, але адитивне і екстрактивне виробництво прийнято розділяти, тому коли говориться про верстати з ЧПК, то мається на увазі про механізми, що створюють деталь видаленням зайвого матеріалу із заготовки, а не додаванням нового. Із ЧПК верстатів для розробки був вибраний лазерний гравер.

Лазерний гравер - це пристрій, який використовує лазерний промінь для виконання різних завдань, таких як гравіювання, маркування або різання різних матеріалів, такі як дерево, пластик, скло, камінь, метал та інші.

					ЕлІТ 6.171.00.10.281 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ

## 1.1 Огляд літератури лазерного гравіювання

На сьогоднішній день лазерні технології інтенсивно використовуються в багатьох сферах, причому, не тільки про промислових галузях, а й в індивідуальному застосуванні. Обладнання на основі лазерного випромінювання знайшло широке застосування і використовується для різання і гравіювання практично будь-яких щодо твердих матеріалів.

Лазерне гравіювання - технологія, що дозволяє наносити зображення на будь-які матеріали, не торкаючись до їх поверхні [2]. За допомогою лазерного променя з поверхні видаляється невеликий шар матеріалу, що призводить до утворення рельєфного зображення. Вони знайшли широке застосування в різних галузях, таких як промисловість, реклама, мистецтво, ювелірна галузь та інші.

Гравіювання - це основний спосіб нанесення високоякісного і довговічного зображення [1]. Технологія гравіювання дерев'яних поверхонь лазерним станком нагадує процес класичного випалювання по дереву, але завдяки вбудованій оптиці в експлуатується обладнанні кінцеве зображення виходить більш якісне. Особливість нанесення гравіювання на дерев'яні поверхні полягає в одночасній термічній обробці застосовуваного матеріалу, що виключає необхідність додаткової полірування. Ступінь деталізації, глибина і колір нанесеного лазером малюнка залежить від використовуваних деревних порід, потужності променя і обраного швидкісного режиму. Відтворене зображення може являти собою плоский малюнок або фактурний рельєф з колористичним діапазоном від світло-жовтого до темно-коричневого. Лазерне гравіювання дерева має на увазі відсутність фізичного впливу робочого обладнання на оброблювану заготовку. Зазначена прогресивна технологія гарантує досягнення реалістичного зображення, максимально схожого з макетом навіть при роботі з крихкими породами дерева або волокнистої фактурою важкодоступній поверхні. Це забезпечує простір для широкого застосування лазерної обробки - від декору до якісного маркування виробів різних галузей промисловості.

										Арк.
										5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ЕлІТ 6.171.00.10.281 ПЗ

Лазерні гравери є потужними інструментами, що використовуються для гравірування, різання та маркування різних матеріалів [4]. Вони забезпечують високу точність, швидкість та гнучкість при виконанні завдань. У цьому розділі ми розглянемо для чого вони потрібні, принцип роботи, різновиди лазерних граверів, а також їх переваги та недоліки.

### 1.1.1 Принцип роботи лазерного гравера

Принцип роботи лазерного гравера полягає в наступних кроках [3]:

Генерація лазерного променя. В лазерному гравері генерується лазерний промінь за допомогою лазерного джерела, такого як наприклад СО<sub>2</sub>-лазер. Ці лазерні джерела виробляють монохроматичний промінь високої інтенсивності.

Фокусування променя. Лазерний промінь пропускається через систему лінз, щоб зосередити його на малій точці на поверхні матеріалу. Це дозволяє отримати високу роздільну здатність і деталізацію при гравіюванні.

Взаємодія з матеріалом. Сфокусований лазерний промінь взаємодіє з поверхнею матеріалу. При взаємодії лазерного променя з матеріалом відбуваються фізичні та хімічні процеси, що змінюють його структуру. Наприклад, в разі гравіювання металу лазер може розігрівати та виплавляти поверхневий шар, створюючи глибоку проріз або текст.

Керування рухом. Лазерний гравер обладнаний системою керування рухом, яка дозволяє точно переміщати лазерний промінь по поверхні матеріалу. Це дозволяє створювати складні зображення, малюнки або текст з високою точністю та деталізацією.

Контроль процесу. Лазерні гравери зазвичай мають різні налаштування та параметри, які можуть бути встановлені для досягнення бажаного результату. Це може включати налаштування потужності лазерного променя, швидкості руху пристрою, розташування точки фокусування та інші параметри.

### 1.1.2 Застосування лазерних граверів

					ЕліТ 6.171.00.10.281 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лазерні гравери мають широкий спектр застосувань і використовуються в різних галузях, де потрібна висока якість гравірування, маркування або різання, а також в різних сферах, де потрібні процедури з використанням лазерного випромінювання, а саме:

Маркування інформації. Лазерні гравери дозволяють наносити довільний текст, логотипи, штрих-коди і QR-коди на різних поверхнях. Це корисно для маркування продукції, виробничих деталей, медичного обладнання та інших предметів з метою ідентифікації, відстеження або брендування.

Гравірування індивідуальних дизайнів. Лазерні гравери можуть гравірувати зображення, малюнки, фотографії та інші графічні елементи на різних матеріалах, таких як дерево, акрил, скло, метал, камінь і т.д. Це дає можливість створювати унікальні предмети, такі як прикраси, знаки, подарунки, плакетки та інші предмети з персоналізованим дизайном.

Різання та вирізання. Лазерні гравери можуть різати або вирізати різні матеріали з високою точністю і швидкістю. Вони застосовуються для вирізання тканин, шкіри, пластмаси, дерева, паперу, гуми та інших матеріалів. Це дозволяє створювати складні форми, шаблони, пазли, моделі і запасні частини з мінімальними помилками і витратами матеріалу.

Обробка індустріальних матеріалів. Лазерні гравери застосовуються в промисловості для обробки різних матеріалів. Наприклад, вони можуть проводити точне свердління отворів, розчищати покриття з металевих поверхонь, виконувати надрізи, фрезерування і гравірування на платі зі зв'язками.

Медицина та хірургія. Лазерні гравери використовуються в медицині для проведення прецизійних хірургічних процедур, таких як лазерна корекція зору, видалення пухлин, зняття татуювань, лікування дерматологічних проблем та інших застосувань.

Зроби сам (DIY): Лазерні гравери стають популярними серед любителів DIY. Вони використовуються для створення особистих подарунків, різьблення на дерев'яних виробах, виготовлення лазерних різьблених заготовок та багато іншого.

					ЕлІТ 6.171.00.10.281 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### 1.1.3 Переваги та недоліки лазерних граверів

Лазерні гравери мають свої переваги та недоліки, які варто враховувати при їх використанні. Перевагами лазерних граверів є:

**Висока точність.** Лазерні гравери забезпечують високу точність різання, гравірування та маркування. Вони можуть виконувати складні інтрикатні деталі і створювати високоякісні зображення.

**Швидкість та продуктивність.** Лазерні гравери можуть працювати досить швидко, що забезпечує високу продуктивність. Вони здатні обробляти матеріали значно швидше, ніж традиційні методи різання або гравірування.

**Гнучкість та мінімальні обмеження.** Лазерні гравери можуть працювати з різними матеріалами, включаючи дерево, пластик, скло, метал та багато інших. Вони дозволяють створювати велику різноманітність виробів та дизайнів.

**Маркування без контакту.** Однією з переваг лазерних граверів є можливість маркувати матеріали без прямого контакту з ними. Це дозволяє запобігти пошкодженню або деформації виробу і забезпечує чистий та точний результат.

**Висока якість гравірування.** Лазерні гравери забезпечують високу якість гравірування зображень, текстів та дизайнів. Вони можуть передати навіть найдрібніші деталі та нюанси, що робить їх ідеальними для створення вишуканих виробів.

Переваги пристрою досить великі, але, як і будь-який пристрій, він має свої недоліки:

**Висока вартість.** Лазерні гравери є досить дорогими пристроями, які можуть бути недоступними для деяких бізнесів або приватних користувачів. Вартість придбання та підтримки таких пристроїв може бути значним фактором при їх використанні.

**Обмежена товщина матеріалу.** Лазерні гравери мають обмежену товщину матеріалу, яку вони можуть різати або гравірувати. Це може бути обмеженням для деяких завдань, особливо при обробці товстих або незвичайних матеріалів.

					ЕЛІТ 6.171.00.10.281 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вплив на здоров'я та безпеку. Лазерне випромінювання може бути шкідливим для здоров'я, якщо не дотримуються відповідні заходи безпеки. Необхідно дотримуватися вимог щодо захисту очей, шкіри та дихальних шляхів при роботі з лазерними граверами.

Обмежена кольорова гамма. Лазерні гравери можуть бути обмежені у відтворенні деяких кольорів на деяких матеріалах. Наприклад, деякі лазери не можуть дати яскравий білий колір на деяких темних поверхнях.

При використанні лазерних граверів важливо зважати на їх переваги та недоліки, а також враховувати вимоги конкретного завдання та матеріалу.

### 1.1.4 Огляд аналогів на ринку

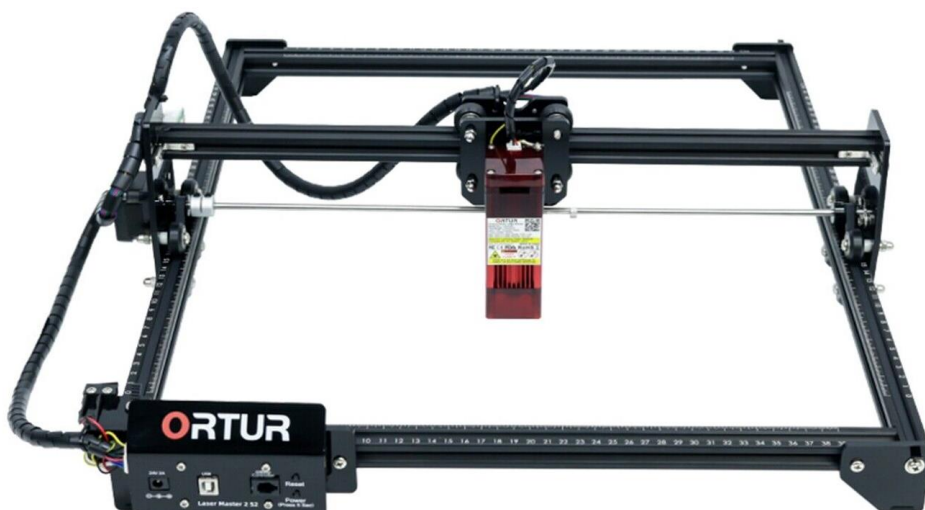


Рисунок 1 - ORTUR 20W Laser Master 2 S2 LU2-4 SF

Технічні характеристики лазерного гравера ORTUR 20W Laser Master 2 S2 LU2-4 SF:

Потужність лазера: 20 ватт.

Розміри робочої області: 410 x 390 мм.

Регулювання фокуса лазерного луча: ручне регулювання фокуса.

Швидкість гравіювання: до 10000 мм/мин.

Матеріали для гравіювання: дерево та акрил будь-якого виду, а також гравіювання металів;

									Арк.
									9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕліТ 6.171.00.10.281 ПЗ				

Матеріали для різання: дерево и акрил завтовшки 3-5 мм, а також тонкого металу;

Ціна: 399,99\$.



Рисунок 2 - LS-1420 Co2 Laser Cutter and Engraver

Технічні характеристики лазерного гравера LS-1420 Co2 Laser Cutter and Engraver:

Потужність лазера: 70 ватт.

Робоча область: 355 x 406 мм (14 x 16 дюймів).

Регулювання фокуса лазерного луча: ручне регулювання фокуса;

Швидкість гравіювання: до 1200 мм в секунду.

Матеріали для гравіювання: дерево та акрил будь-якого виду, а також гравіювання металів;

Матеріали для різання: дерево и акрил завтовшки до 10 мм, а також тонкого металу;

Ціна: 4997\$.

Як бачимо, на ринку існує багато різних моделей, але людині, які захоче придбати лазерний гравер потрібно прикинуть, що саме має робити пристрій. Основна ціна пристрою залежить від потужності лазерного модуля. Для

										Арк.
										10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ЕЛІТ 6.171.00.10.281 ПЗ

роботи з деревом, наприклад, достатньо лазера потужністю до 40W, а для комфортної роботи з металом - більше 60W. Також треба не забувати звертати уваги на дизайн, щоб воно вам подобалось.

## 1.2 Постановка задачі

Завданням кваліфікаційної роботи є розробка прототипу мікроконтролерного пристрою управління лазерним гравером. Пристрій повинен керуватися комп'ютером, приймати керуючі сигнали з комп'ютера на мікроконтролер, а мікроконтролер зчитує сигнали та дає відповідні команди електронним системам, для руху лазерної головки по вісям X, Y та регулювання потужності роботи лазера.

Для досягнення мети необхідно виконати наступне:

- вибрати електронну систему, яка буде виконувати сигнали з мікроконтролера;
- вибрати мікроконтролер, котрий зчитуватиме сигнали з комп'ютера, буде обробляти та подавати відповідні команди електронній системі пристрою;
- розробити алгоритм функціонування пристрою;
- розробити структурну схему;
- розробити функціональну схему;
- розробити електричну принципову схему;
- розробити програмний код для мікроконтролера;
- задовольнити основні вимоги щодо технічних характеристик пристрою.

Технічні характеристики спроектованого лазерного гравера будуть саме такі:

Потужність лазера: 1 ватт.

Робоча область: 297 x 420 мм.

Регулювання фокуса лазерного луча: автофокус;

Швидкість гравіювання: до 200 мм/мин.

Матеріали для гравіювання: дерево та бумага;

Матеріали для різання: бумага.

					ЕліТ 6.171.00.10.281 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

## 2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СПРОЕКТОВАНОГО ПРИСТРОЮ

### 2.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою

Щоб ефективно розробити пристрій, потрібно розробити оптимальний алгоритм її роботи. Цей алгоритм буде визначати основні функції пристрою та послідовність виконання дій. Блок-схема алгоритму зображена на рисунку 3.

Алгоритм функціонування роботи гравера можна описати наступним чином:

Ініціалізація системи. Запускається програма на комп'ютері. Підключається мікроконтролер до комп'ютера за допомогою USB-кабелю. У програмі обирається відповідний порт з'єднання для мікроконтролера.

Синхронізація з мікроконтролером. Програма встановлює з'єднання з мікроконтролером та запитує його статус. Мікроконтролер надсилає відповідь зі своїм статусом до програми.

Вибір введення даних. На цьому кроці користувач має можливість вибрати, яким способом він бажає вводити команди до гравера: введення команд вручну або налаштування для генерації команд програмою.

Введення команд вручну. Користувач може вручну вводити команди для виконання в гравері. Команди можуть бути введені за допомогою клавіатури на інтерфейсі вводу, що надається програмою.

Завантаження файлу. Якщо вибраний режим введення команд програмою, то спочатку треба завантажити файл, на якому буде зображення для подальшого гравіювання. Це зображення гравер аналізує та перетворює графічні дані на набір команд, які лазер повинен виконати для виштовхування зображення на робочій поверхні. Цей етап включає перетворення векторних даних на шляхи для лазера.

					ЕлІТ 6.171.00.10.281 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Налаштування параметрів. Користувач налаштовує різні параметри процесу гравіювання, такі як швидкість переміщення лазера, переміщення лазера по напрямках, глибина гравіювання, розмір шрифту та інші.

Генерація команд. Програма генерує необхідні команди для виконання в гравері. Це включає розрахунок координат, швидкість руху та регулювання потрібної потужності лазера.

Виконання команд. Цей крок включає управління рухом граверної головки, управління лазером, контроль потужності лазера, регулювання швидкості руху гравера та інші дії, відповідно до введених команд.

Завершення дії. Після закінчення гравіювання лазерний гравер виконує певні дії, такі як повернення в початкове положення, вимкнення лазера, збереження результатів гравіювання та сповіщення про завершення процесу.

Завершення роботи системи. Після завершення дій користувач може завершити роботу системи або повернутися до вибору введення даних.

					<i>ЕліТ 6.171.00.10.281 ПЗ</i>	Арк.
						13
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Рисунок 3 - Блок-схема алгоритму роботи лазерного гравера

## 2.2 Розробка структурної схеми пристрою

Структурна схема – це схема, яка визначає основні функціональні частини виробу, їх взаємо зв'язки та призначення. Така схема призначення для відображення загальної структури пристрою, тобто його основних блоків, вузлів, частин та основних зв'язків між ними.

Структурна схема повинна мати управляючий елемент, виконуючи механізми та елемент керування цими механізмами. Вона буде мати вигляд, представлений на рисунку 4.

ПК передбачає собою операційну систему, що має пам'ять, периферійні пристрої, монітор тощо. На ньому встановлюються програми, котрі керують та допомагають створювати програми для ЧПК обладнання. Ці програми мають європейське скорочення НМІ (зв'язок людини з пристроєм). У наступному блоці знаходиться мікропроцесорний контролер (МПК), який являє собою інтерфейсом зв'язку між ПК та гравером. Він керує кроковими моторами, тобто надсилає сигнали на драйвери крокових моторів, які виконують лінійні переміщення, а також регулює потужність та увімкнення лазерного модуля.

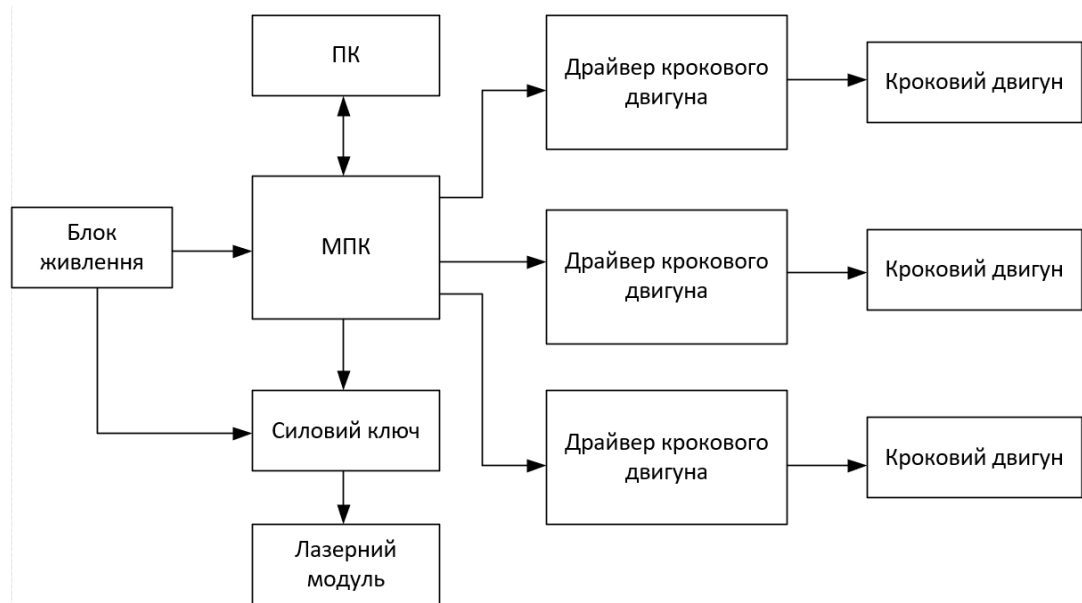




Рисунок 4 – Структурна схема гравера  
**3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ГРАВЕРА**

Було спроектовано функціональну схему гравера. Функціональна схема пристрою – це така схема, яка роз’яснює деякі процеси що відбуваються у певних функціональних частинах виробу. Така схема містить інформацію про способи реалізації пристроєм заданих функцій. За нею можна визначити, як здійснюються перетворення і які для цього необхідні функціональні елементи. Кожен функціональний елемент містить лише ті входи і виходи, які необхідні для його коректної роботи. Дана схема розробляється на основі структурної схеми для кожного блоку, в результаті з окремих функціональних елементів складається загальна функціональна схема об’єкту. Функціональна схема буде мати наступний вигляд (рисунок 5).

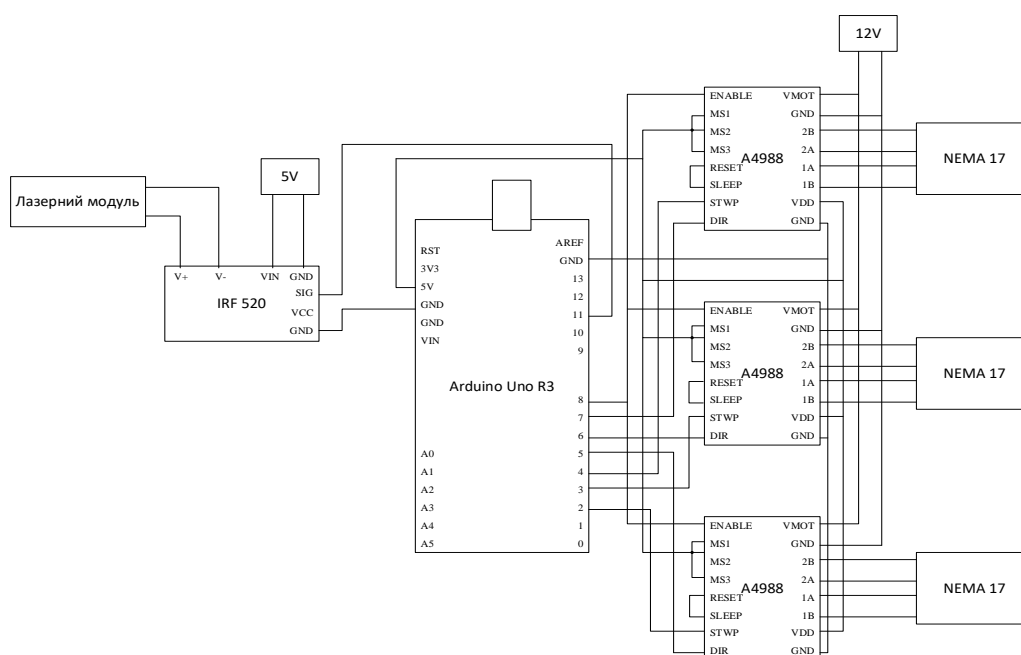


Рисунок 5 – Функціональна схема пристрою

## 4 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТАРНОЇ БАЗИ ПРИСТРОЮ

Принципова схема механізму – це схема, яка призначена для повного відображення взаємозв'язків пристроїв з урахуванням принципів їх дії і послідовності роботи. На принципових електросхемах за допомогою умовних позначень зображенні пристрої і лінії зв'язків між окремими елементами, блоками і модулями.

Принципова схема лазерного гравера наведена на рисунку 12.

### 4.1 Вибір мікроконтролера

Для керування ними потрібно обрати підходящий мікроконтролер.

Мікроконтролер – це виконаний у вигляді мікросхеми пристрій, що включає мікропроцесор, оперативну пам'ять та постійну, щоб записувати до неї код виконуваної програми. Також вони мають порти вводу/виводу, та деякі логічні блоки такі як компаратори, лічильники та інші. Використовуються для керування електронними пристроями. Було запропоновано наступні плати.

Arduino mega 2560 (рисунок 6). Arduino – апаратна обчислювальна платформа, основними компонентами якої є плата мікроконтролера з елементами вводу/виводу та середовищем розробки Processing/Wiring, на мові програмування, що є спрощеною підмножиною C/C++. Arduino може використовуватися як для створення автономних інтерактивних об'єктів, так і підключатися до програмного забезпечення, яке виконується на комп'ютері. Технічні характеристики наведено в таблиці 1.

					ЕлІТ 6.171.00.10.281 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



Рисунок 6 – Arduino Mega 2560

Таблиця 1 – Характеристики мікроконтролера Arduino mega2560

Мікроконтролер	ATmega2560
Вхідна напруга	5 В
Цифрові входи/виходи	54
Аналогові входи/виходи	16
Flash-пам'ять	256 Кб
ОЗП	8 Кб
ПЗП	4 Кб
Ціна	370 грн

Зображення Arduino UNO R3 наведено на рисунку 7, а його характеристики в таблиці 2.

Мікроконтролер повинен буде обробляти сигнали, які отримує від ПК та керувати роботою крокових двигунів та лазерного модуля. Вибраний мікроконтролер Arduino UNO [7], тому що має необхідні характеристики для стабільної роботи та оптимальна ціна, на відміну від Arduino Mega. Принципова схема Arduino UNO R3 зображена на рисунку 8.

Таблиця 2 – Характеристики мікроконтролера Arduino UNO R3

Мікроконтролер	ATmega328
Вхідна напруга	5 В
Цифрові входи/виходи	14

Аналогові входи/виходи	6
Flash-пам'ять	32 Кб
ОЗП	2 Кб
ПЗП	1 Кб
Ціна	130 грн

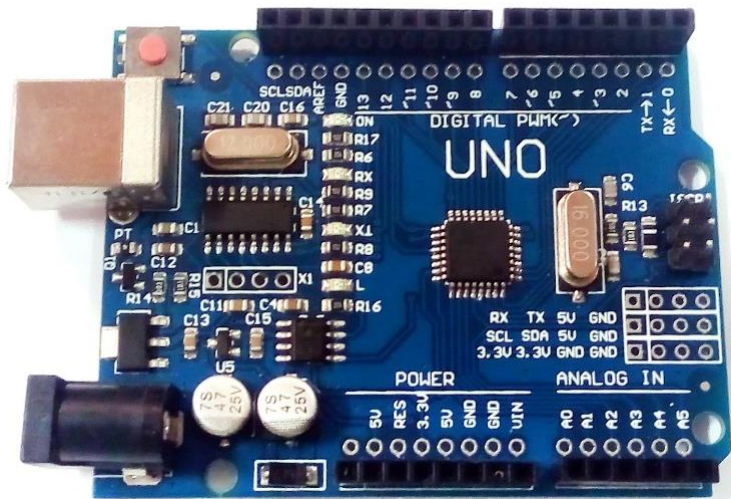


Рисунок 7 - Arduino UNO R3

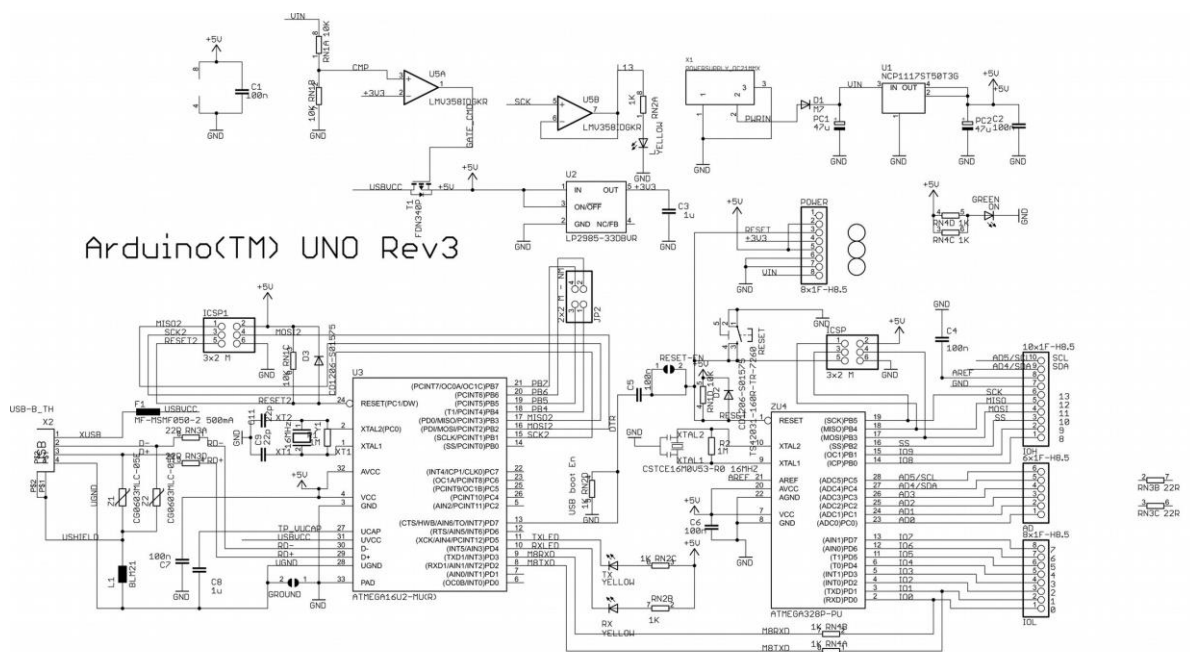


Рисунок 8 - Принципова схема Arduino Uno R3

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕліТ 6.171.00.10.281 ПЗ

Арк.

19

## 4.2 Вибір драйвера крокового двигуна

Також необхідно вибрати драйвер крокового двигуна. Запропоновані такі драйвера.

Драйвер A4988 зображений на рисунку 8. Драйвер може контролювати як швидкість, так і напрямок обертання біполярного крокового двигуна, такого як NEMA 17, використовується всього два виводи контролера. Технічні характеристики наведені в таблиці 3.

Драйвер DRV8825 наведений на рисунку 9. Особливості аналогічні драйверу A4988. Технічні характеристики наведені в таблиці 4.

Таблиця 3 – Характеристики драйвера крокового двигуна A4988

Режим мікрокрока	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16
Напруга живлення	8-35 В
Напруга логіки	3-5.5 В
Максимальна сила струму на фазу	2 А
Розмір	20x15 мм
Ціна	32 грн

Таблиця 4 – Характеристики драйвера крокового двигуна DRV8825

Режим мікрокрока	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Напруга живлення	8-45 В
Напруга логіки	3-5.5 В
Максимальна сила струму на фазу	2.2 А
Розмір	20x15 мм
Ціна	71 грн

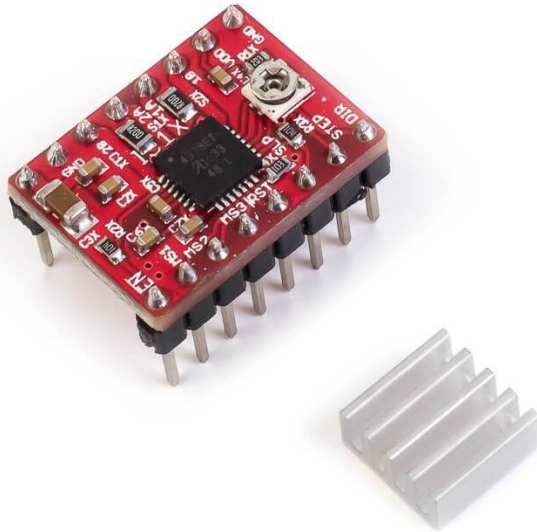


Рисунок 8 – Драйвер крокового двигуна A4988

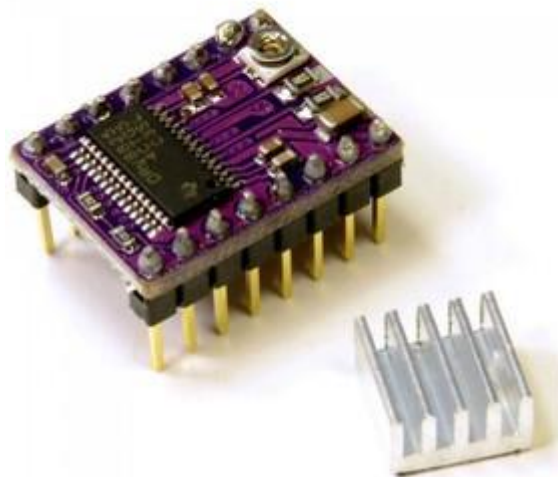


Рисунок 9 - Драйвер крокового двигуна DRV8825

Було обрано драйвер A4988, тому що він дешевший і задовольняє характеристиками [6].

Зобразимо розпіновку контактів драйвера A4988 ( рис. 10).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

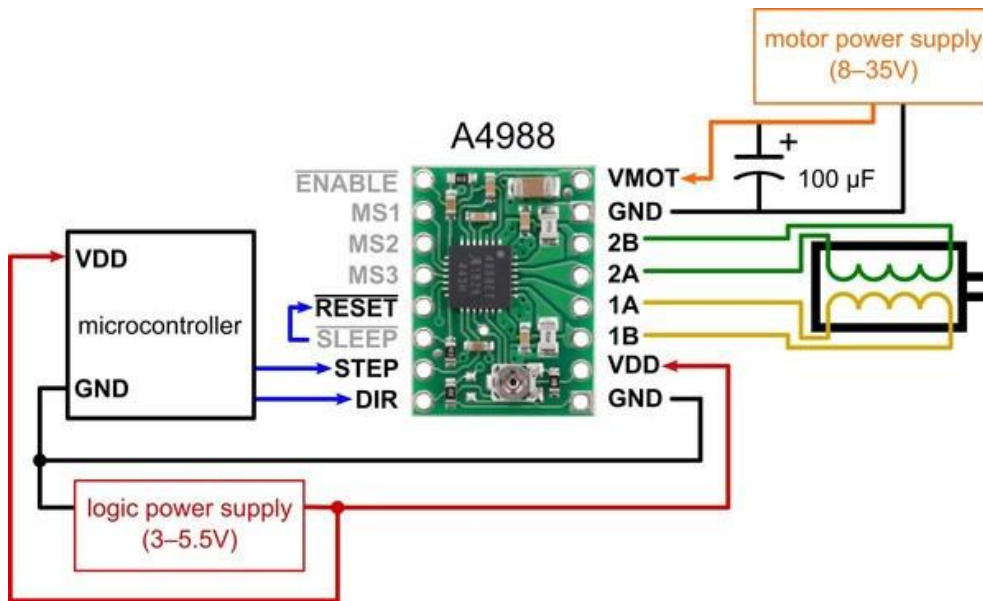


Рисунок 10 - Розпіновка драйвера A4988

Призначення пінів драйвера:

- ENABLE – увімкнення драйвера;
- MS1, MS2, MS3 – служать для встановлення мікрокрокового режиму роботи;
- RESET - скидання, переводить мікросхему у вихідний стан;
- SLEEP - переведення мікросхеми в режим низького енергоспоживання, вхід відключає більшу частину внутрішньої схеми, включаючи вихідні польові транзистори, регулятор струму і т.д. Вихід із режиму призводить двигун до колишнього положення мікрокроку;
- STEP — перехід від низького до високого в STEP робить один крок;
- DIR – задає напрямок обертання;
- VMOT – живлення силової частини мікросхеми та двигуна;
- GND – земля;
- 2B, 2A, 1A, 1B – виходи драйвера, підключення обмоток двигуна;
- VDD - живлення логічної частини мікросхеми (3.5 -5В).

На рисунку 8 зображена принципова схема A4988.

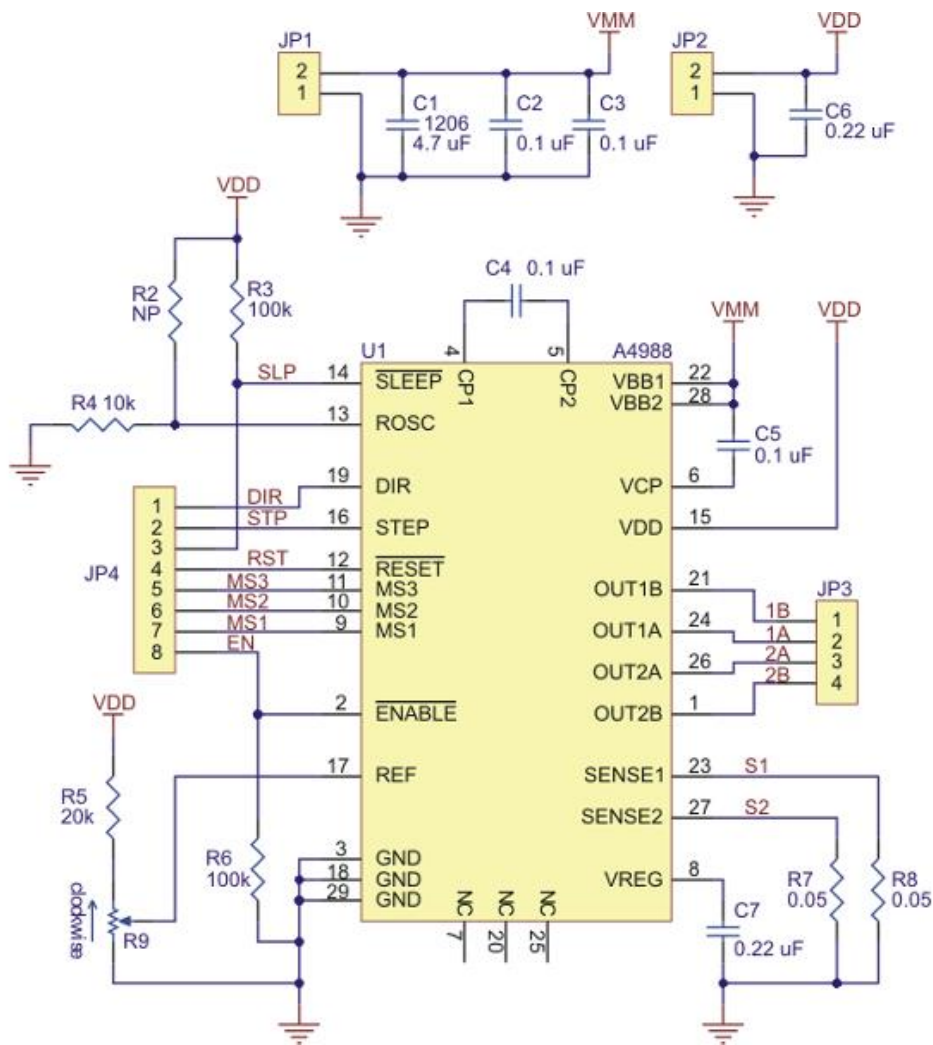


Рисунок 10 - Принципова схема драйвера A4988

### 4.3 Вибір силового ключа

Силовий ключ у вигляді модуля MOSFET транзистора IRF520 зображений на рисунку 11. Технічні характеристики зображені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Характеристики модуля MOSFET транзистора IRF520

Робоча напруга	3.3 В, 5 В
Вихідна напруга	0-24 В
Вихідний струм	до 1 А

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



#### 4.4 Вибір лазерного модуля та крокового двигуна

У ролі випалювального елемента обрано лазерний модуль потужністю 1 Вт та довжиною хвилі світла 405 нм (рисунок 11).

Лазерний модуль - пристрій, що складається, як правило, з лазерного діода, оптичних компонентів, які формують лазерне випромінювання і електронного компонента, який здійснює живлення і управління лазерним діодом. Недоліком лазерного модуля є те, що при перевищенні напруги від норми (5 В) він може вийти з ладу. Тому для захисту лазера від перенапруги необхідний силовий ключ.



Рисунок 11 – Лазерний модуль

Для реалізації механізму, який буде виконувати рух по осям необхідно буде використати крокові двигуни. Кроковий електродвигун - це синхронний електродвигун з декількома обмотками (рисунок 12) . Струм, що подається в одну з обмоток статора, викликає фіксацію ротора. Послідовна активація обмоток двигуна викликає кутові переміщення ротора, вони ж кроки. Саме тому двигун називається кроковим. Для управління кроковим двигуном використовується спеціальний контролер, який називають драйвером крокового двигуна.

					ЕЛІТ 6.171.00.10.281 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

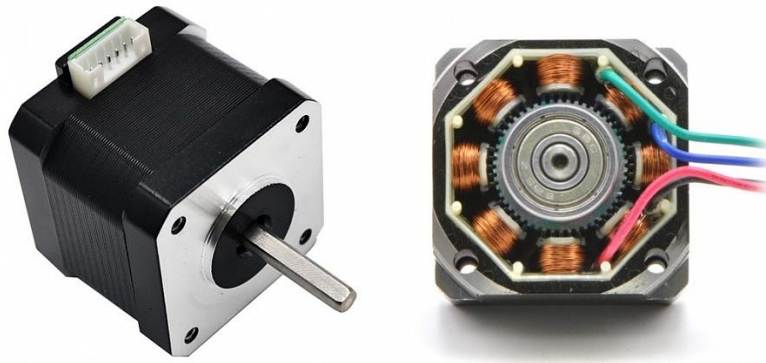


Рисунок 12 – Кроковий двигун

Від звичайного електродвигуна кроковий двигун відрізняється тим, що можна задати точне положення валу у градусах.

Для руху каретки достатньо буде крокових двигунів із силою оберту 6 кг. Було вирішено придбати крокові двигуни NEMA US-17HS4401 з аналогічною силою оберту (рисунок 13). Вони є досить надійними і відносно не дорогими. Їх необхідно придбати у кількості трьох штук.



Рисунок 13 – Кроковий двигун NEMA US-17HS4401

					ЕЛІТ 6.171.00.10.281 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

## 5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Завантажуємо архів grbl 1.1 [5]. Розпаковуємо архів в будь-яку директорію. З розпакованого архіву папку grbl скопіювати в директорію, що містить бібліотеки Arduino IDE. Папку grbl необхідно архівувати в grbl.zip.

Наступним кроком треба перезавантажити Arduino IDE. В меню «Скетч» – «Підключити бібліотеку» – «Додати .ZIP» вибрати бібліотеку grbl.zip (рисунок 14).

Далі в меню «Файл» – «Приклади» – «grbl» вибираємо скетч grblUpload (рисунок 15). Цей скетч завантажується в Arduino Uno (рисунок 16). В меню «Інструменти» вибираємо тип плати Arduino Uno та порт, до якого плата підключена.

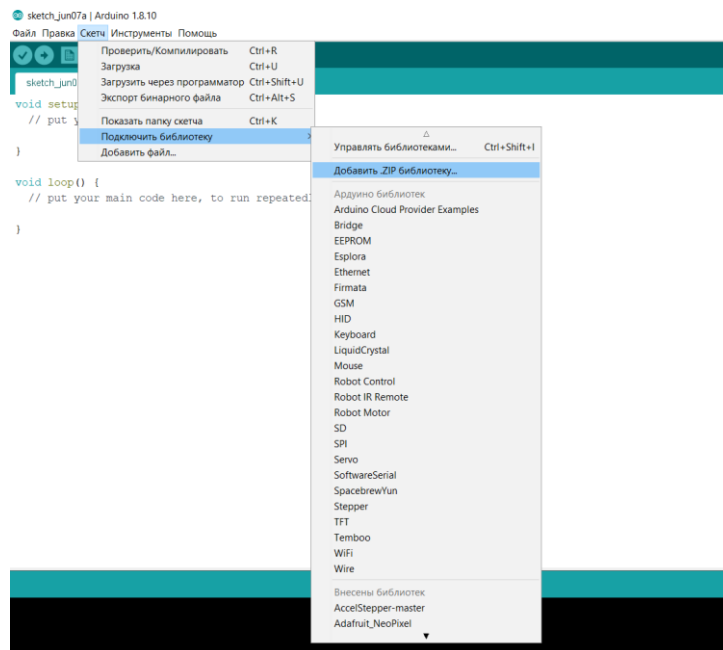


Рисунок 14 – Підключення бібліотеки grbl

```

grblUpload | Arduino 1.8.10
Файл Правка Сериї Інструменти Помічь
grblUpload
/*****
This sketch compiles and uploads Grbl to your 32p-based Arduino!

To use:
- First make sure you have imported Grbl source code into your Arduino
  IDE. There are details on our Github website on how to do this.
- Select your Arduino Board and Serial Port in the Tools drop-down menu.
  NOTE: grbl only officially supports 32p-based Arduinos, like the Uno.
  Using other boards will likely not work!
- Then just click 'Upload'. That's it!

For advanced users:
If you'd like to see what else Grbl can do, there are some additional
options for customization and features you can enable or disable.
Navigate your file system to where the Arduino IDE has stored the Grbl
source code files, open the 'config.h' file in your favorite text
editor. Inside are dozens of feature descriptions and #defines. Simply
comment or uncomment the #defines or alter their assigned values, save
your changes, and then click 'Upload' here.

Copyright (c) 2015 Sangun K. Jeon
Released under the MIT-license. See license.txt for details.
*****/

#include <grbl.h>

// Do not alter this file!

Неверная библиотека найдена в C:\Program Files (x86)\Arduino\libraries\examples: нет заголовочных файлов (.h), найденных в C:\Program Files (x86)\Arduino\libraries\examples

```

Рисунок 15 – Скетч grblUpload

```

grblUpload | Arduino 1.8.10
Файл Правка Сериї Інструменти Помічь
grblUpload
/*****
This sketch compiles and uploads Grbl to your 32p-based Arduino!

To use:
- First make sure you have imported Grbl source code into your Arduino
  IDE. There are details on our Github website on how to do this.
- Select your Arduino Board and Serial Port in the Tools drop-down menu.
  NOTE: grbl only officially supports 32p-based Arduinos, like the Uno.
  Using other boards will likely not work!
- Then just click 'Upload'. That's it!

For advanced users:
If you'd like to see what else Grbl can do, there are some additional
options for customization and features you can enable or disable.
Navigate your file system to where the Arduino IDE has stored the Grbl
source code files, open the 'config.h' file in your favorite text
editor. Inside are dozens of feature descriptions and #defines. Simply
comment or uncomment the #defines or alter their assigned values, save
your changes, and then click 'Upload' here.

Copyright (c) 2015 Sangun K. Jeon
Released under the MIT-license. See license.txt for details.
*****/

#include <grbl.h>

// Do not alter this file!

Неверная библиотека найдена в C:\Program Files (x86)\Arduino\libraries\examples: нет заголовочных файлов (.h), найденных в C:\Program Files (x86)\Arduino\libraries\examples

```

Рисунок 16 – Загрузка скетчу grblUpload

Після завантаження скетчу перевіряємо зв'язок програми з лазерним гравером.

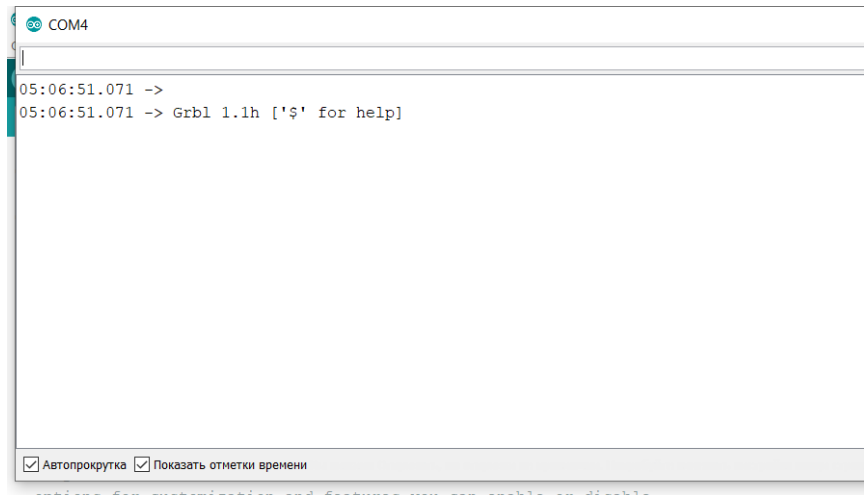
Відкриваємо монітор порта. Для синхронізації сигналів вибираємо швидкість обміну бітами 115200 (Бод). Вивело слово Grbl 1.1 h, тобто програма зв'язалася із гравером (рисунок 17). У консолі моніторинга порта вводимо код \$\$ - показує настройки роботи лазера: швидкість обертання крокового двигуна, затримка після кроку, мінімальна та максимальна потужність роботи лазерного модуля та інше.

Перевіряємо роботу крокових двигунів. Для цього у консолі введемо код G1 X50 F1000 – ось X здійснила рух вправо на 1000 кроків (рисунок 18).

					ЕЛІТ 6.171.00.10.281 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Введемо код G1 Y50 F1000 – ось Y перемістилася вгору на 1000 кроків (рисунок 19).

Також перевіримо працездатність лазерного модуля. В консолі вводимо код M3 S100 – це означає, що лазерний модуль буде працювати на 10% (рисунок 20). Для вимкнення лазера вводимо код M5.



```
COM4
05:06:51.071 ->
05:06:51.071 -> Grbl 1.1h ['$' for help]
```

Рисунок 17 – Зв’язок програми з пристроєм



```
COM5
G1 X50 F1000
23:04:30.167 ->
23:04:30.167 -> Grbl 1.1h ['$' for help]
23:04:57.095 -> ok
```

Рисунок 18 – Перевірка роботи осі X

```

COM5
G1 Y50 F1000
23:04:30.167 ->
23:04:30.167 -> Grbl 1.1h ['$' for help]
23:04:57.095 -> ok
23:05:27.118 -> ok

```

Рисунок 19 – Перевірка роботи осі Y

```

COM4
M3 S1000
05:30:27.565 -> $100=250.000
05:30:27.565 -> $101=250.000
05:30:27.565 -> $102=250.000
05:30:27.565 -> $110=500.000
05:30:27.565 -> $111=500.000
05:30:27.565 -> $112=500.000
05:30:27.565 -> $120=10.000
05:30:27.565 -> $121=10.000
05:30:27.565 -> $122=10.000
05:30:27.565 -> $130=200.000
05:30:27.565 -> $131=200.000
05:30:27.565 -> $132=200.000
05:30:27.565 -> ok
05:49:29.227 -> ok
05:49:33.584 -> ok

```

Рисунок 20 – Перевірка роботи лазерного модуля

З того сайту, де було завантажено архів grbl 1.1, завантажуюємо програму LaserGRBL. Ця програма призначена для роботи з лазерним гравером і може працювати з мікроконтролером Arduino UNO. Випалювати можна крапками, півтоном у всіх напрямках.

Для взаємодії програми з Arduino, необхідно установити драйвер СН340 (рисунок 21). Без нього ПК не буде бачити мікроконтролер.

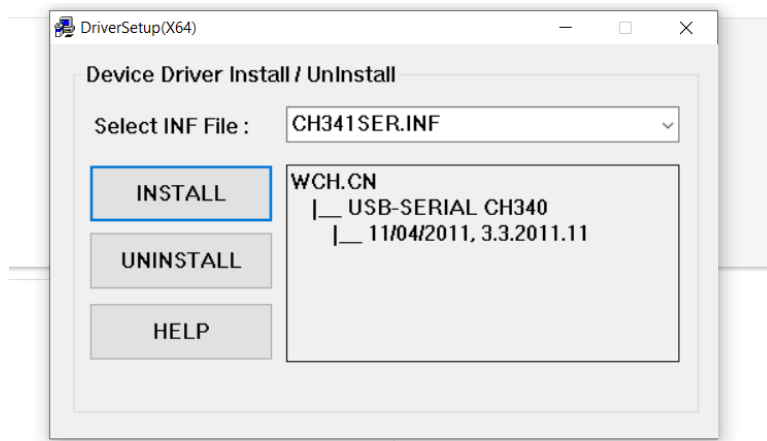


Рисунок 21 – Установка драйвера CH340

Через программу LaserGRBL підключаємося до гравера (рисунок 22). Стрілками, які знаходяться внизу зліва, перевіряємо зв'язок з кроковими двигунами. В комірці Прогресс пишемо код M3 S20 для перевірки зв'язку з лазерним модулем, потім M5 для вимкнення лазера.

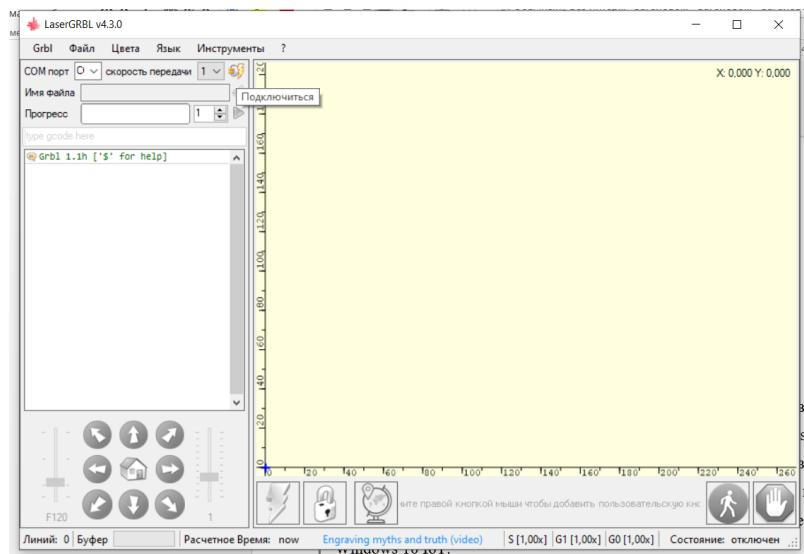


Рисунок 22 – Підключення гравера до програми LaserGRBL

Для того, щоб випалити рисунок потрібно спочатку завантажувемо рисунок в програму: «Файл» – «Открыть файл» і вибрати картинку. Далі вибираємо як гравер буде випалювати: по лініям чи точками; вибираємо

										Арк.
										30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

яскравість, контрастність, напрямок руху лазера і якість (рисунок 23). Чим вища якість гравіювання, тим довше гравер буде випалювати рисунок.

Далі треба вибрати швидкість випалювання, мінімальна та максимальна потужність роботи гравера і розмір картинки (рисунок 24). Результат обробки картини зображено на рисунку 25. Запускаємо програму. Кінцевий результат випалення картини на дереві зображено на рисунку 26.

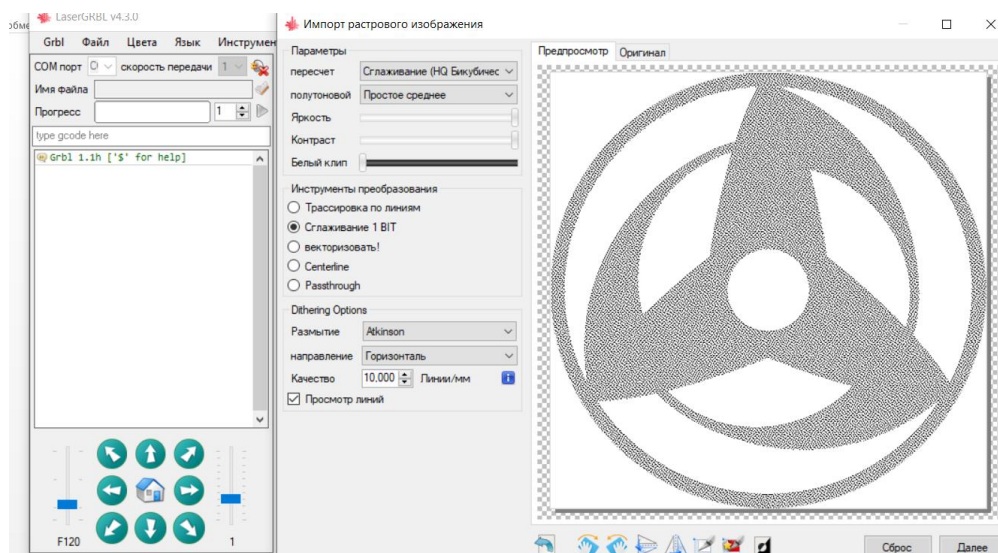
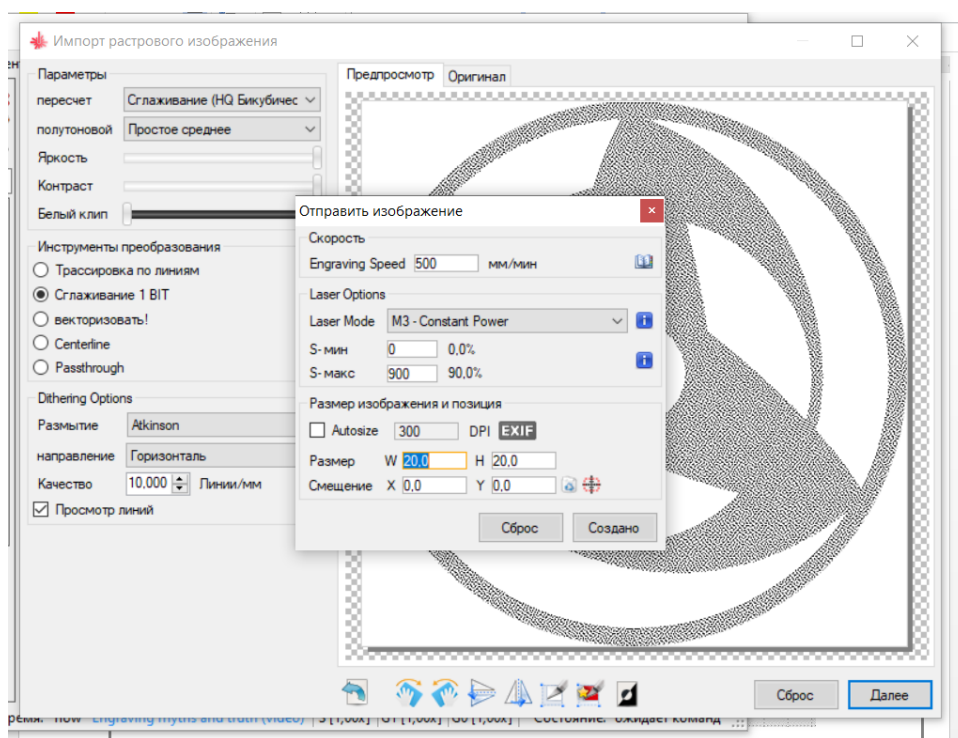


Рисунок 23 – Налаштування картини для гравіювання



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 24 – Налаштування гравера для випалювання

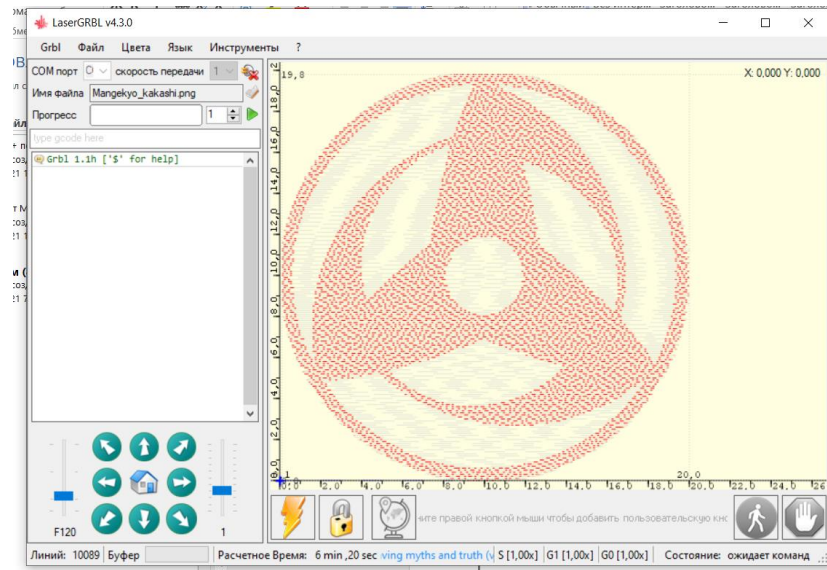


Рисунок 25 – Зображення картинки, яка буде випалюватися



Рисунок 26 – Випалена картинка на дереві

## ВИСНОВОК

У даній кваліфікаційній роботі був розроблений мікроконтролерний пристрій керування лазерним гравером, який дозволяє здійснювати точне, швидке та ефективно гравіювання на різних матеріалах. Розробка такого пристрою має велике значення в сучасній технології гравіювання та відкриває широкі можливості для використання лазерного гравера в різних галузях, таких як реклама, машинобудування, мистецтво, ювелірна галузь, медицина та інші.

Проект включав розробку мікропроцесорного пристрою на основі мікроконтролера ATmega 328P, драйвера крокового двигуна A4988, силового ключа IRL520, крокових двигунів NEMA17 та лазерного модуля потужністю 1 Вт, що достатньо для демонстрації роботи.

Розроблений пристрій має ряд переваг. Він дозволяє автоматизувати процес гравіювання, забезпечує високу точність та швидкість роботи, а також можливість програмування і збереження різних шаблонів для повторного використання. Крім того, пристрій забезпечує зручний інтерфейс користувача, що спрощує його використання навіть для осіб без досвіду. Пристрій забезпечує високу точність та деталізацію гравіювання, що дозволяє отримати якісний результат на різних матеріалах, таких як дерево, бумага.

Застосування розробленого пристрою може бути широким. Він знайде застосування в сфері реклами та маркетингу для створення рекламних продуктів та логотипів. Для художників та дизайнерів він стане незамінним інструментом для створення унікальних та естетично привабливих рисунків на дереві.

У процесі розробки було виявлено кілька можливих напрямків подальшого розвитку. Перш за все, можливе вдосконалення алгоритмів руху, щоб досягти ще більшої точності та швидкості роботи. Також можлива розробка нових функцій, таких як використання різних типів лазерних головок для різних завдань, підтримка додаткових матеріалів та розширення можливостей програмного забезпечення. Використання більш потужного лазерного модуля, зазвичай від 40 Вт, дозволить також різати матеріали різного виду, такі як дерево, пластик, скло, камінь, метал та інші.

					ЕлІТ 6.171.00.10.281 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У підсумку, розробка мікропроцесорного пристрою керування лазерним гравером є великим кроком у розвитку цієї технології. Вона дозволяє здійснювати якісне та ефективне гравіювання на різних матеріалах і використовувати лазерний гравер у різних сферах. Результати роботи можуть бути корисні для виробників, дизайнерів, митців та всіх, хто цікавиться використанням лазерного гравера для створення високоякісних та індивідуальних виробів.

					ЕЛІТ 6.171.00.10.281 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Види лазерного гравіювання URL: <https://www.hwlibre.com/uk/grabado-laser/> (дата звернення: 10.06.2023)
2. Лазерне гравіювання – спосіб зробити будь-яку річ унікальною URL: <https://hidemont.com.ua/bloh/publikatsiyi/lazerne-graviyuvannya-sposib-zrobiti-bud-yaku-rich-unikalnoyu> (дата звернення: 10.06.2023)
3. Принцип роботи лазера. Основні види лазерів. URL: <https://mirstankov.com/uk/princip-roboti-lazera-osnovni-vidi-lazeriv/> (дата звернення: 10.06.2023)
4. Верстат лазерного різання і гравіювання: опис, характеристики, принцип роботи URL: <http://poradu.pp.ua/nauka/31673-verstat-lazernogo-rzannya-gravyuvannya-opis-harakteristiki-princip-roboti.html> (дата звернення: 10.06.2023)
5. Програма LaserGRBL URL: <https://gistroy.ru/lasergrbl/lesson-2/> (дата звернення: 10.06.2023)
6. Datasheet A4988 URL: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/788474/Allegro/A4988/1> (дата звернення: 10.06.2023)
7. Datssheet Arduino Uno R3 URL: [https://electroinfo.net/wp-content/uploads/2020/09/arduino\\_uno\\_r3\\_rus.pdf](https://electroinfo.net/wp-content/uploads/2020/09/arduino_uno_r3_rus.pdf) (дата звернення: 10.06.2023)
8. Шубенко С. І. Вплив лазерної дії на утворення тріщин поблизу включень / Шубенко С. І. // *Металознавство та термічна обробка металів.* – 2018. – № 2. – С. 82–86.
9. Бугайчук С. Мультиплікація та комутація лазерних пучків при крос-кореляційній взаємодії періодичних полів / С. А. Бугайчук // *Український фізичний журнал.* – 2018. – № 4. – С. 311–318.
10. Гаврилюк О. О. Формування періодичних структур на поверхні твердого тіла під дією лазерного випромінювання / О. О. Гаврилюк, О. Ю. Семчук // *Український фізичний журнал.* – 2018. – Т. 62, № 1. – С. 20–32.

									ЕлІТ 6.171.00.10.281 ПЗ	Арк.
										35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						