

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

Факультет робототехніки та приладобудування

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

 **Наталія СТЕЛЬМАХ**
«12» 06 2026 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Автоматизація процесу обробки очкових лінз при виготовленні біноклярів»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПБ-22

Дорошенко Олег Сергійович



Керівник:

Доцент, с.н.с., к.т.н.

Синявський Іван Іванович



Рецензент:

Викладач, д.т.н., проф.,

Микитенко Володимир Іванович



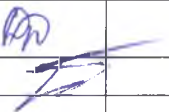
Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент 

Київ – 2026 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП 151.2203.005 ПЗ	Пояснювальна записка	74	
3	A1	ДП 151.2203.005 ЕЗ	Система руху свердлильної головки. Схема електрична принципова	1	
4	A1	ДП 151.2203.005 ЕЗ	Система подачі рідини головки. Схема електрична принципова	1	
5	A1	ДП 151.2203.005 ЕЗ	Система затискання лінзи. Схема електрична принципова.	1	
6	A1	ДП 151.2203.005 ЕЗ	Загальний вигляд приладу. Схема електрична принципова	1	
7	A1	ДП 151.2203.005 Е1	Загальний вигляд приладу. Схем електрична структурна	1	
8					
9					
10					

				ДП 151.2203.005		
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Розробн.	Дорошенко О.С				1	1
Керівн.	Синявський І. І.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. КІТВП	
Консульт.						
Н.контр.						
Зав.каф.	Стельмах Н. В.					

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет робототехніки та приладобудування
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів

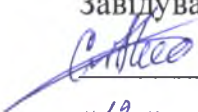
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Наталія СТЕЛЬМАХ

«12» 06 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Дорошенко Олег Сергійович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу обробки очкових лінз при виготовленні біноклярів», керівник роботи Синявський Іван Іванович, к.т.н, с.н.с. затверджені наказом по університету від «26»__05____ 2026 р. №1905-с

2. Термін подання студентом роботи 05.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: Попередньо відібрані форми оправ окулярів, розмір посадкових отворів для встановлення тубусів, між зінична відстань, робоча відстань (від окулярів до предмету, що спостерігається)

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ; Розділ 1. Застосування біноклярів та технологія їх виготовлення 1.1. Різновиди, застосування і будова біноклярів; 1.2. Вимоги до автоматизації процесу обробки очкових лінз при виготовленні біноклярів; 1.3. Постановка задачі. Розділ 2. Проектування системи: 2.1. Розрахунок положення свердла у просторі. 2.2. Розробка структурно-функціональної схеми системи; 2.3. Архітектура програмного забезпечення. Розділ 3. Розробка складових частин автоматизації : 3.1. Розробка

автоматизованих систем в програмних середовищах; 3.2. Вибір та обґрунтування комерційних рішень. 3.5. Реалізація інтерфейсу; Висновки; Перелік використаних джерел.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) бінокляри, модель конструкції, Схема електрична структурна, схема електрична принципова.

6. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Вибір та затвердження теми	березень	
2.	Формулювання та затвердження завдання	березень	
3.	Виконання першого та другого розділів, перевірка їх керівником	квітень	
4.	Виконання 3 розділів, перевірка керівником	травень	
5.	Формування графічної частини ДП	травень	
6.	Оформлення та завершення ДП. Надання на розгляд керівнику	червень	
7.	Надання ДП (електронний варіант) відповідальному на кафедрі для перевірки на наявність запозичень (плагіату)	червень	
8.	Остаточна перевірка ДП керівником, надання відгуку	червень	
9.	Попередній захист ДП	червень	
10.	Рецензування	червень	
11.	Надання роботи відповідальному за організацію дипломного проєктування на кафедрі (друкований варіант)		
12.	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні ЕК	червень	

Студент



Олег ДОРОШЕНКО

Керівник



Іван СИНЯВСЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект «Автоматизація процесу обробки очкових лінз при виготовленні бінокулярів» оформлений у вигляді пояснювальної записки, що містить 78 аркушів, 16 таблиць, 49 ілюстрацій та 6 додатків. До списку використаних джерел входять 39 бібліографічних найменувань.

Метою проекту є розробка портативної системи автоматизації процесу обробки лінз при виготовленні бінокулярів.

У дипломному проекті розроблена модель портативного приладу для свердління отворів в лінзах в процесі виготовлення медичних бінокулярів.

При розробці приладу здійснювалось порівняння з системами схожого класу, для розуміння слабких і сильних сторін приладу.

Результати проектування можуть бути використані для розробки і покращення інших приладів для автоматизації обробки лінз.

Ключові слова: бінокуляр, лінза, автоматизація.

ABSTRACT

The thesis project, titled “Automation of the Eyeglass Lens Processing in Binocular Manufacturing,” is presented in the form of a report comprising 78 pages, 16 tables, 49 illustrations, and 6 appendices. The list of references includes 39 bibliographic entries.

The goal of the project is to develop a portable system for automating the lens processing stage in the manufacture of binoculars.

This thesis project presents a model of a portable device for drilling holes in lenses during the manufacturing process of medical binoculars.

During the development of the device, comparisons were made with similar systems to identify its strengths and weaknesses

The design results can be used to develop and improve other devices for automated lens processing.

Keywords: binoculars, lens, automation.

ЗМІСТ

Оглавление

Система затискання лінзи. Схема електрична принципова.....	2
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ЗАСТОСУВАННЯ БІНОКУЛЯРІВ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ	11
1.1 Різновиди, будова і застосування біноклярів.....	11
1.2. Вимоги до автоматизації процесу обробки очкових лінз при виготовленні біноклярів.....	15
1.3. Постановка задачі.....	17
Висновки до розділу 1	18
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ	19
2.1. Розрахунок положення свердла у просторі.....	19
2.2. Розробка структурно-функціональних схем автоматизованих систем.....	22
2.2.1 Система руху свердлильного верстата	23
2.2.2. Система подачі рідини.	25
2.2.3. Система затискання заготовки.....	27
2.2.4. Загальна схема розроблюваного нами апарату	28
2.3. Архітектура програмного забезпечення.....	29
Висновок до розділу 2	30
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СКЛАДОВИХ ЧАСТИН СИСТЕМИ СВЕРДЛІННЯ ОТВОРІВ	32
3.1. Опис складових частин	32
3.1.1. Опис електричних компонентів системи обробки очкових лінз.....	35
3.1.2. Опис конструкторських рішень.....	56
3.2. Вибір та обґрунтування комерційних рішень	60
3.3. Реалізація керування	65
Висновок до розділу 3	66
ВИСНОВОК.....	68
ДЖЕРЕЛА	69

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Бінокляри набули широкого розповсюдження в різних професійних сферах які оточують нас постійно, проте головною сферою для їх використання залишається медицина. Від якості виготовлених біноклярів напряду залежить комфорт і якість надання медичних послуг. Ручна обробка лінз в процесі виготовлення біноклярів може бути неефективною як в швидкості створення, так і якості виготовленої продукції. Саме тому постає питання автоматизації цього процесу що дозволить знизити вплив людського фактору на готовий продукт. Це дозволить зменшити кількість браку виробництва при навіть невеликій кваліфікації робітників і збільшити продуктивність підприємства. Також автоматизація даної системи дозволяє знизити ризики здоров'ю для робочого персоналу.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є створення автоматизованої системи обробки лінз в процесі виготовлення біноклярів. Вихідними даними для даної системи є між зінична відстань і робоча відстань до об'єкту спостереження.

Поставлена мета досягається шляхом вирішення наступних задач:

- 1) Виконання огляду існуючих систем свердління отворів
- 2) Розробка структурних і принципових схем автоматизованих систем нашого приладу.
- 3) Розробка механічних систем приладу

В процесі виконання проекту буде розроблено:

- Схема електрична структурна системи руху;
- Схема електрична структурна системи подачі рідини;
- Схема електрична структурна системи затискання заготовки;
- Схема електрична принципова системи руху;
- Схема електрична принципова системи подачі рідини;
- Схема електрична принципова системи затискання

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в об'єднанні всіх процесів які необхідні при обробці очкових лінз під час виготовлення бінокулярів в одному портативному приладі.

Практична цінність. Практична цінність дослідження полягає в створенні автономної, портативної системи яка може бути створена і використана у виробництві для збільшення продуктивності і якості готового виробу.

РОЗДІЛ 1. ЗАСТОСУВАННЯ БІНОКУЛЯРІВ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

1.1 Різновиди, будова і застосування біноклярів

Бінокляром називають спеціалізований оптичний прилад, який допомагає отримати збільшене та деталізоване зображення робочої зони. Сама назва вказує що на відмінно від монокулярів, спостереження відбувається двоканально, тобто двома очима[1].

Через свої характеристики бінокляри набули широкого розповсюдження в багатьох професійних сферах де потрібна точність і контроль, так їх використовують в, механіці, радіотехніці, комп'ютерному сервісі, рукоділлі, ювелірній справі і т.д. Проте якими розповсюдженими вони не були головне їх використання зосереджене в медицині.[2] Так вони стали невід'ємним атрибутом в стоматології і хірургії. Однією з основних переваг використання біноклярних луп у медицині є полегшення роботи лікаря та підвищення його продуктивності. Збільшення зображення дозволяє працювати з меншою напругою та більшою точністю, що впливає на якість надання медичних послуг. Така важливість призвела до високих вимог для продукту, як в плані якості, так і комфорту носіння.[3] Важливо, щоб розташування приладу ніяким чином не заважало під час роботи. Саме тому для забезпечення комфортної роботи для кожного спеціаліста було розроблено три види біноклярів за місцем розташування лінз:

1. Закріплені на оправі: Даний вид є досить поширеним і виглядає як звичайні окуляри до оправ яких прикріплені лінзи на рухому частину. Основною перевагою є те що в потрібний момент, рухому частину можна підняти і залишитись у звичайних окулярах, що можуть бути підібрані відповідно до зору лікаря. Також в системи даного плану досить часто монтують підсвітку, о ще більше покращує комфорт роботи. Зображення даного виду біноклярів буде наведено на рисунку 1.1.[4]



Рис. 1.1. Зовнішній вигляд бінокюляру з оптичною системою закріпленою на оправі

2. Закріплений на шоломі: Даний тип схожий з попереднім, єдиною відмінністю є те, що фіксація відбувається не на окулярах, а на шоломі, що дозволяє зменшити навантаження на ніс, розподіливши його рівномірно по всій голові і уникнути перевтоми. Приклад таких бінокюлярів буде наведено на рисунку 1.2.[5]



Рис.1.2. Бінокляр з оптичною системою закріпленою на шоломі

3. Вбудовані в скло оправы: У даного виду, як зрозуміло з назви, оптична частина вбудована в окуляри, що дозволяє розмістити оптику близько до зіниці ока. Також особливості цього виду дозволяють зменшити навантаження на перенісся. Даний вид буде розглянутий нами більш детально. Усі основні компоненти з яких складається даний бінокляр наведено на рисунку 1.3.[6]

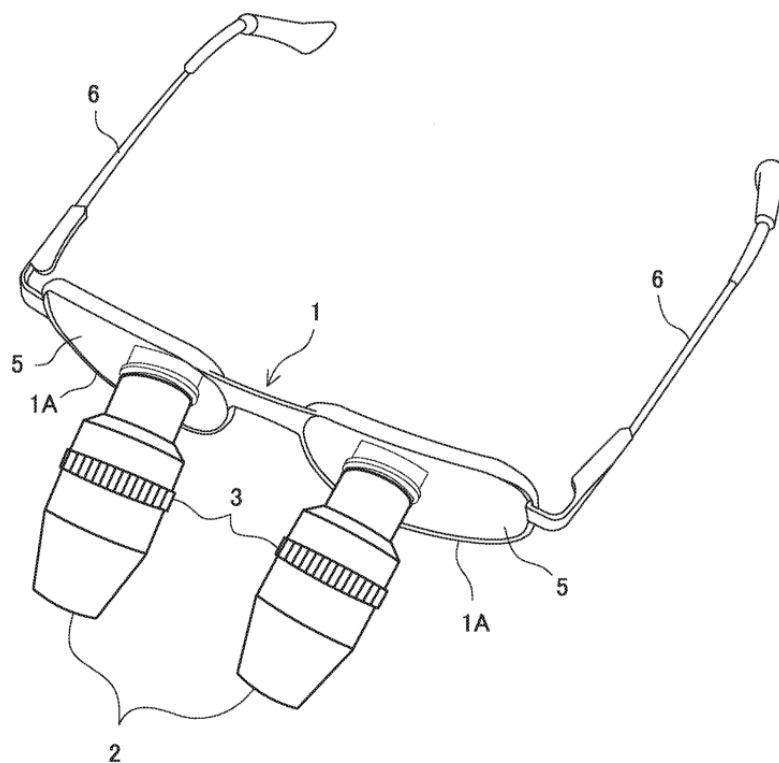


Рис. 1.3. Будова бінокляру з оптичною системою вбудованою в скло оправы (1 – оправа окулярів; 1А – оправа лінз; 2 – корпус луп; 3 – регулятор кута огляду; 5 – опорні лінзи; 6 – дужки;).

Бінокляри з вбудованою в скло оптичною системою мають досить просту будову, так з рисунку ми можемо побачити що оправа окулярів 1 має конструкцію аналогічну звичайним окулярам і складається з оправы лінз 1А в яку вставляються лінзи 5 і дужок 6. В якості матеріалу для виготовлення оправ 1 і дужок 6 використовують метали які не піддаються корозії і мають гнучкість, наприклад титан. Також можуть бути використані синтетичні смоли або інші матеріали з подібними характеристиками. В самих лінзах 5 робляться отвори, розташування і кут свердління яких залежить від між зіничної відстані людини під яку робиться

даний прилад, відстані до робочої зони яку потрібно збільшити і кута нахилу голови людини для комфортної роботи. Самі лінзи 5 не завжди є прозорими, проте зазвичай їх роблять з скла або прозорого пластику, для збільшення поля зору. При проблемах із зором можна використовувати корегувальні лінзи. На самих лупах 2 знаходиться кільце регулювання кута огляду 3.[6]

Розглянемо внутрішню структуру луп для біноклярів на прикладі найбільш розповсюдженому прикладі(рис.1.4).

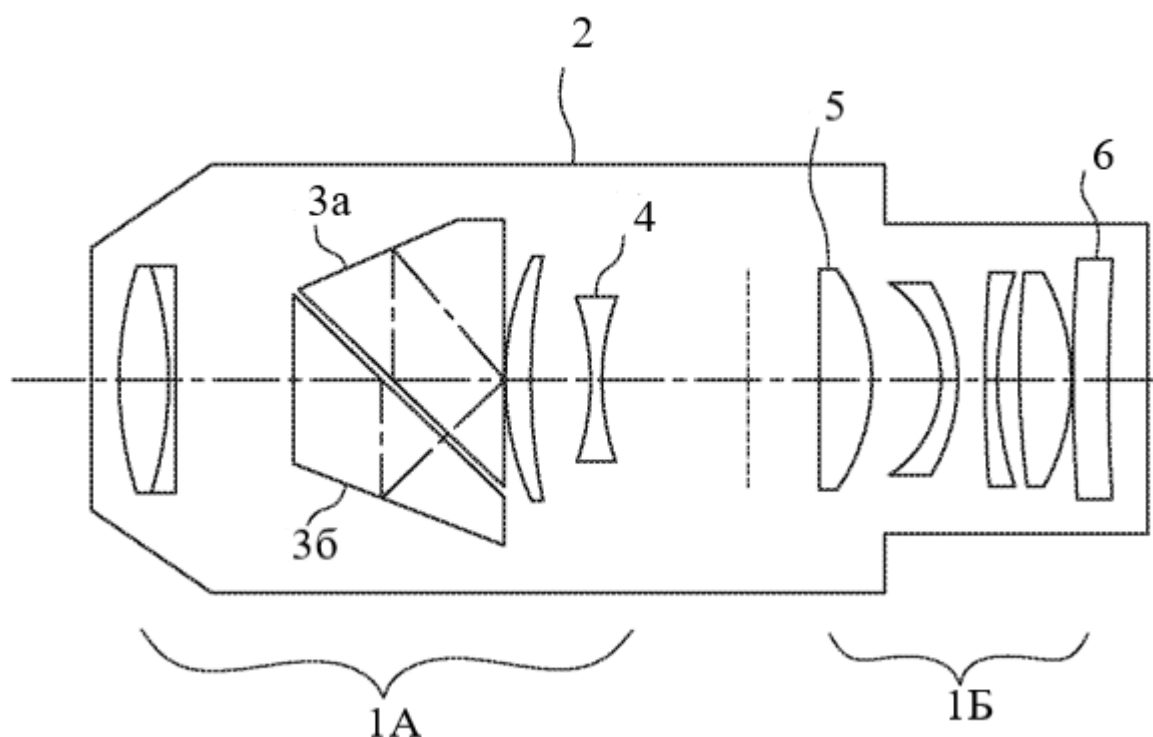


Рис.1.4. Внутрішня структура лупи біноклярів

Внутрішня структура лупи складається з корпусу 2 в середині якого розташовані група об'єтивів 1А і група окулярів 1Б. Дані групи розташовані вздовж оптичної осі. Для покращення якості зображення при збільшенні робочої зони використовують призми 3а і 3б для заломлення падаючого світла. Наступна група включає в себе корегувальну лінзу 6 яка використовується для корекції зору користувача бінокляра і розташовується в задній частині корпусу лупи 2. При відсутності потреби в корегуванні зору дана лінза замінюється на звичайну скляну лінзу яка захищає оптичну систему. При потребі в регулюванні кута огляду

відбувається поворот регулятора кута огляду який знаходиться на самому корпусі, що призводить до зміщення лінзи 4 та лінзи 5 по напрямку оптичної осі.[7]

1.2. Вимоги до автоматизації процесу обробки очкових лінз при виготовленні біноклярів.

При виготовленні біноклярів з вбудованими в скло лупами одним з найважчих і відповідальних процесів, є процес свердління отворів в лінзах. Даний процес потребує високої точності, бо навіть саме незначне відхилення від потрібної величини кута чи неправильно розміщений отвір по X або Y координаті призводить до браку виробу. Для уникнення таких проблем широкого розповсюдження набули системи свердління отворів в лінзах (рис.1.4).[8]



Рис. 1.4. Прилад для обробки лінз HDM-8000

Не залежно від виробника і моделі приладу основні принципи свердління отворів залишаються незмінними. Самою першою дією яка відбувається під час процесу обробки лінз при виготовленні біноклярів є позиціювання і затискання заготовки. Такі системи можуть бути вакуумними, як в приладі що був наведений вище так і звичайним затискачами. Це дозволяє заготовці не ковзати під час роботи і дозволяє уникнути серйозних похибок при роботі. Після надійної фіксації

відбувається сам процес свердління. Для роботи з настільки твердим матеріалом як скло використовуються твердосплавні або алмазні свердла або коронки.[9]

Як і всі автоматизовані системи, системи обробки лінз мають свої вимоги до процесу автоматизації. Так, для даних систем основними вимогами є:

1. Точність позиціонування інструменту: Даний параметр є основним при роботі з оптичними системами, тому що від правильного розміщення зробленого отвору залежить коректність встановлення луп у біноккулярну систему.

2. Стабільна швидкість обробки: Даний параметр дозволяє забезпечити правильність технічного процесу обробки лінз що запобігає утворенню тріщин і інших видів дефектів.

3. Контроль температури: При роботі з такими матеріалами як скло або пластик, важливо не дозволяти лінзі перегріватись. Перегрів оброблювальної поверхні при роботі із склом призводить до пошкодження заготовки, виникнення тріщин і неправильній геометрії виготовленого отвору. Ще важливішим є контроль температури при роботі з пластиком. Сам матеріал є більш податливим і нагрівання до високих температур призводить до плавлення заготовки, деформації самої лінзи.

4. Безпечна робота оператора: При обробці скляних поверхонь виникає проблема з можливим ураженням оператора скляними уламками. Ще більш небезпечним є скляний пил що утворюється в процесі обробки і може призвести до серйозного ураження дихальних шляхів, очей і слизистих оболонок.[10]

Хоч ці характеристики є важливим, проте в більшості доступних на ринку апаратах деякими з цих вимог не дотримані. Так, апарат HDM-8000 який був приведений вище містить системи автоматичного затискання заготовки і автоматичну систему задання розміру і кута нахилу отвору, що дає можливість точної обробки лінзи, а робоча частина яка закривається корпусом робить роботу оператора безпечною. Проте в даному апараті відсутня система контролю температури заготовки що унеможливило довгу роботу зі склом або пластиком.

Всі вимоги до автоматизації що були наведені вище отримали своє втілення в портативній системі обробки очкових лінз, концепцію і функціонал якої ми і будемо розробляти в даному проекті.

Автоматизовані системи які знайшли своє втілення в даному апараті, були створені щоб забезпечити всі потреби які виникають при обробці очкових лінз. Так, основною системою є кінематична система автоматичної обробки, за допомогою якої апарат буде мати можливість в залежності від заданих оператором значень може рухатись в просторі в площинах X, Y, Z і повертати свердло на кут α .

Щоб забезпечити надійну фіксацію заготовки наша апарат буде мати систему фіксації, що зробить неможливим виникнення дефектів в процесі свердління через неправильне положення лінзи.

Останньою системою є система автоматизованої подачі води. Після процесу затискання і натискання оператором відповідної кнопки ця система почне подавати воду на заготовку. Це потрібно для декількох цілей, а саме: забезпечення охолодження заготовки, що запобігає її перегріву; змащування оброблювальної поверхні для кращого процесу обробки; запобігання утворенню скляного пилу який може нашкодити здоров'ю, а разом із захисним корпусом ця система унеможливує травмування оператора в процесі експлуатації.

1.3. Постановка задачі

Задачею даного проекту є створення і реалізація концепції портативної автоматизованої системи обробки очкових лінз з урахуванням всіх вимог автоматизації які були розглянуті в попередній частині. Потрібно розробити систему здатну конкурувати на ринку за рахунок свого функціоналу і вартості, в порівнянні з схожими приладами інших виробників.

Даний проект повинна містити розроблену 3D модель приладу, схеми функціональних систем з детальним описом використаних компонентів для її побудови і опис конструкторських рішень які були використані в процесі розробки приладу для покращення функціоналу системи і досвіду роботи з даним апаратом.

Для розкриття теми, проект містить опис всіх автоматизованих систем з розробленими структурними і принциповими схемами роботи кожної з них, а саме: системи закріплення очкової лінзи; системи подачі води до заготовки; системи управління свердлом, системи свердління отвору. Сукупність всіх цих розробок допоможе нам на виході отримати апарат, який за меншу вартість зможе конкурувати на ринку приладів для свердління лінз.

Висновки до розділу 1

В розділі 1 нами було розглянуто методи застосування біноккулярних луп у різних аспектах життя. Розписано різновиди даних систем за методом кріплення біноккулярних систем на людині і визначену внутрішню будову луп даних систем. Нами було описано головні аспекти при створенні отворів в очкових лінзах, розписано основні вимоги до систем автоматизації і їхнє значення для якісного виконання поставлених цілей. Було сформовано завдання яке поставлене перед нами при виконанні даної роботи і розписано які основні системи повинні бути створені в процесі розробки.

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ

2.1. Розрахунок положення свердла у просторі

При розробці автоматизованої системи обробки очкових лінз при виготовленні біноклярів, важливим є розуміння від яких даних потрібно відштовхуватись при спробі позиціювання розташування отворів в лінзах для подальшого встановлення луп. Схема кріплення лупи відносно нахилу в низ зобразимо на рис. 2.1.

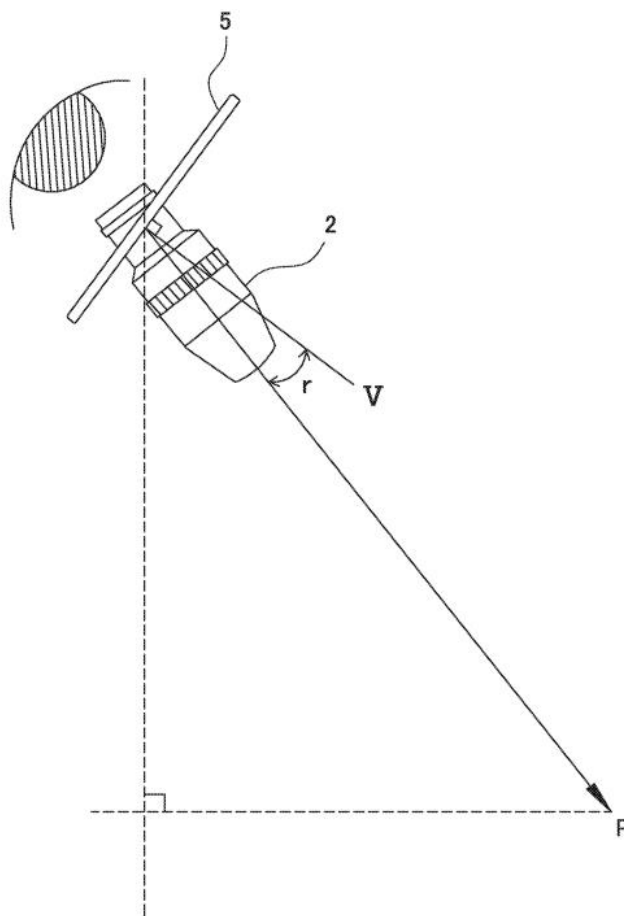


Рисунок 2.1. Схема розміщення луп за кутом r

Так, відповідно до того як показано на рисунку, лівий і правий корпуси луп, які на рисунку показані цифрою 2, кріпляться нахилиючись відносно вертикалі V , яка є перпендикулярною до площини лінзи в яку встановлена лупа. Сама ж лупа кріпиться в отвір так, щоб кут нахилу вниз становив кут r відносно вертикальної лінії V .

Розглянемо рис.2.2, на якому буде зображено визначення кутів нахилу всередину.

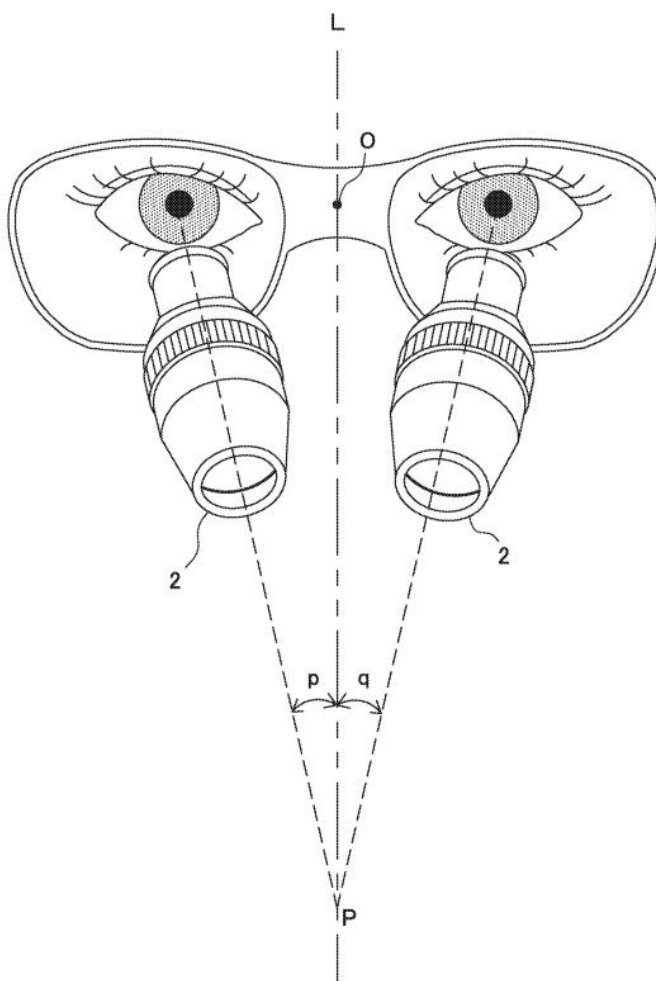


Рисунок 2.2. Визначення кутів нахилу всередину

Так при визначенні нахилу лупи у горизонтальному напрямку, як показано на рисунку вище, лівий і правий корпуси луп кріпляться під кутом, що відповідає кутам p та q , які визначають ступінь нахилу в середину корпусів луп відповідно центральної лінії L , яка з'єднує між собою центральну точку оправу окулярів і робочу зону P , яку потрібно збільшити.

Таким чином, під час встановлення корпусів луп у отвори, які були вирізані в опорних лінзах, в залежності від індивідуальних потреб користувача, відбувається фіксація луп в положенні, яке зберігає нахил кута вниз r та кути нахилу всередину p та q . Саме ці кути вказуються при процесі обробки очкових лінз для виготовлення біноклярів. Дані кути можуть змінюватись в залежності від робочого положення, тому потрібно правильно розуміти специфіку і тонкості робіт які будуть проводитись.

Користувач, по бажанню, може за допомогою збільшення діаметру лупи збільшити ділянку спостереження для зручності роботи.

Ще однією характеристикою при виготовленні біноклярів, окрім кутів, яка потребує вимірювання є міжзінична відстань (PD). Це відстань між центрами зіниць обох очей яку виражають в міліметрах (рис 2.3).



Рисунок 2.3. Позначення міжзіничної відстані.

Існують різні види вимірювання всіх перерахованих вище параметрів, проте самим розповсюдженим і самим простим є метод фактичного відтворення робочих положень бінокюляра для виконання вимірювання кутів за допомогою вимірювальних приладів.[6]

З усіх вище перерахованих значень основними залишаються саме міжзінична відстань і відстань до об'єкта спостереження (WD), саме від значення цих параметрів і буде залежати розташування отвору в лінзах.

Так, значення горизонтальної координати отвору можна визначити взявши за нуль центр оправ, тоді при умові симетричності розташування зіниць, дана величина буде рівнятись:

$$X_L = -\frac{PD}{2} \quad (2.1)$$

$$X_R = \frac{PD}{2} \quad (2.2)$$

Значення кута нахилу в середину р та q можна визначити знаючи міжзіничну відстань і відстань до предмета (WD), так як при прямому погляді на предмет

утворюється рівнобедрений трикутник з загальним кутом θ , бісектриса цього кута і ділить його на p та q . Для визначення кута нахилу для однієї сторони розглянемо половину цього трикутника. З утвореного прямокутного трикутника знайдемо кут нахилу в середину[11]:

$$\operatorname{tg} p = \frac{PD/2}{WD} \quad (2.3)$$

Звідси:

$$p = \operatorname{arctg} \left(\frac{PD}{2WD} \right) \quad (2.4)$$

Оскільки для кута q формула аналогічна, то значення загального кута нахилу буде дорівнювати:

$$\theta = 2p \quad (2.5)$$

Або:

$$\theta = 2 \operatorname{rctg} \left(\frac{PD}{2WD} \right) \quad (2.6)$$

Для визначення вертикальної координати Y нам потрібно визначити кут нахилу в низ за формулою:

$$\operatorname{tg} r = \frac{H}{WD} \quad (2.7)$$

$$r = \operatorname{arctg} \left(\frac{H}{WD} \right) \quad (2.8)$$

Де величина H – вертикальна відстань від очей до робочої точки.

Визначимо вертикальну координату Y :

$$\operatorname{tg} r = \frac{Y}{VD} \quad (2.9)$$

$$Y = VD \operatorname{tg}(r) \quad (2.10)$$

Де VD – відстань від зіниці до лінзи окулярів. [12]

2.2. Розробка структурно-функціональних схем автоматизованих систем.

Розробка схем автоматизованої системи є ключовим етапом при створенні нового приладу. Розроблювана нами система автоматизованої обробки лінз для виготовлення біноклярів є досить складним приладом. Саме тому для спрощення

розуміння всіх систем, розіб'ємо прилад на конкретні елементи по їх функціоналу в даній системі.

2.2.1 Система руху свердильного верстата

Дана система є основною при розробці даного приладу, бо саме від правильного позиціювання залежить точність виконаної роботи. Враховуючи що наша система повинна мати можливість рухатись в просторі по осям X, Y і Z, а також мати можливість нахиляти свердильний апарат одночасно за двома площинами, тобто на кути нахилу вниз γ і нахилу всередину ρ , було прийняте рішення відштовхуватись в розробці від систем які вже довели свою надійність. Заданим характеристикам чудово відповідають системи руху екструдера 3D принтерів. Як зразок для розробки структурно-функціональних схем нашої системи була взята схема електрична принципова принтеру від компанії Creality моделі Ender-3 max. Розглянемо дані схеми більш детально на рисунку 2.1 і 2.2[13]

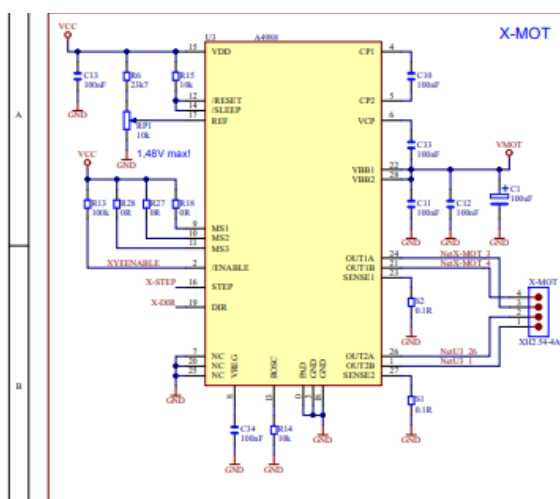


Рис.2.1. Схема підключення драйвера крокового двигуна

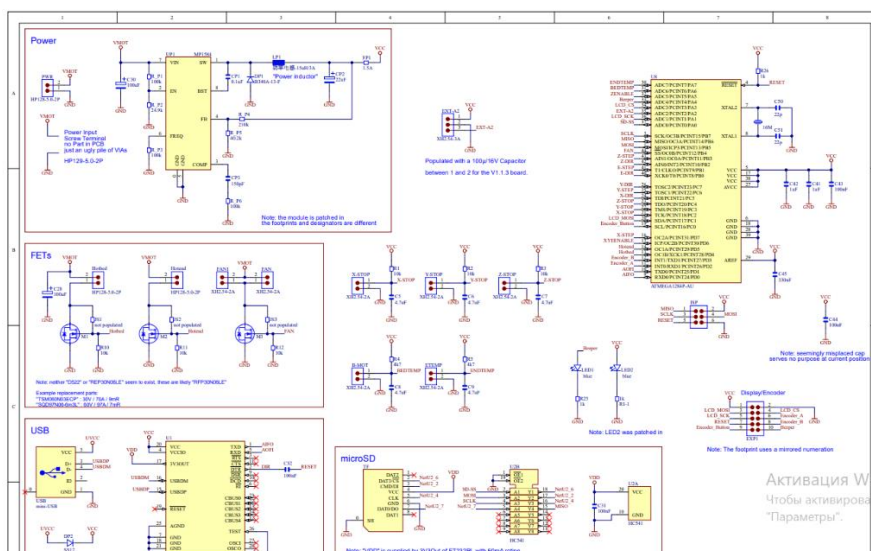


Рис. 2.2. Елементи електричної принципової схеми

Опираючись на схеми розглянуті вище визначимо основні функціональні частини нашого виробу, зобразимо їх на електричній структурній схемі яка буде відображена на рисунку 2.3

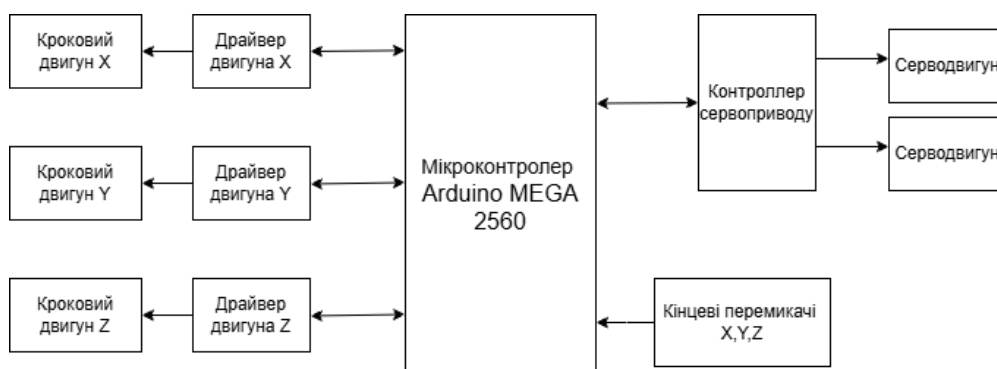


Рисунок 2.3. Схема електрична структурна системи руху

На даній схемі зображено основний елемент керування яким є мікроконтролер. Від даного контролера сигнал керування йде на драйвери крокових двигунів і контролерів сервоприводів. Від драйверів сигнал надходить у відповідний кроковий двигун, що забезпечує рух по координатам X, Y і Z відповідно. В цей час контролери сервоприводів забезпечують поворот свердлильної частини на відповідні установлені оператором кути γ і ρ .

Наступним кроком після визначення структури розроблювальної системи буде створення її принципової схеми.

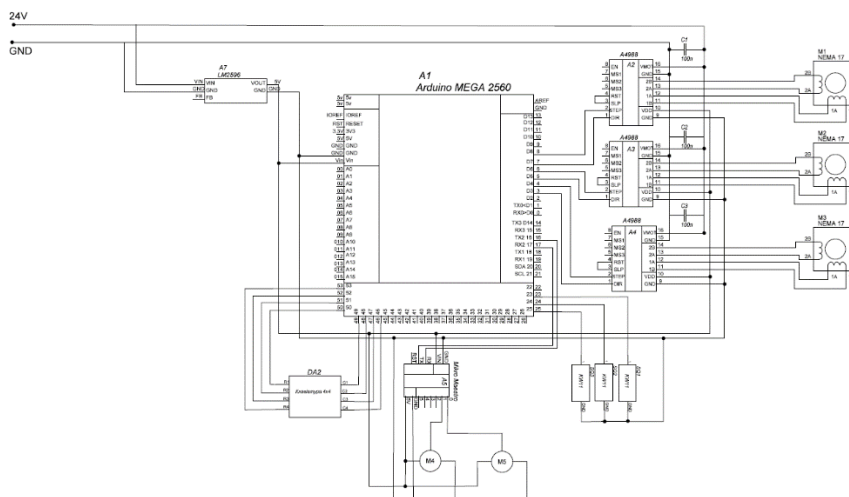


Рисунок 2.4. Схема електрична принципова

Під час розробки даної схеми для спрощення конструкторської роботи нами були взяті готові модулі представлені на ринку. Так основним елементом нашої схеми є мікроконтролер Arduino MEGA 2560 який на даній схемі зображується як A1. Наступними елементами на принциповій схемі є драйвери керування тактовими двигунами позначені як A2-A4. Всього дана схема розрахована на підключення трьох тактових двигунів M1-M3. Іншими елементами які забезпечують поворот є сервоприводи M4, M5 які за допомогою контролера сервоприводів A5 отримують сигнал керування від мікроконтролера. Для забезпечення плати і всіх компонентів керування відповідним живленням використано DC-DC перетворювач на 5V, тому що струм який входить в нашу систему і потрібен для роботи крокових двигунів складає 24V.

2.2.2. Система подачі рідини.

Дана система використовується під час обробки лінз для охолодження поверхні заготовки і зменшення кількості скляного пилу при роботі. Саме тому однією з важливих частин під час процесу розробки такої системи є можливість контролю рівня води шляхом сигналізації в разі її малої кількості і можливість автономного відключення помпи в разі такої необхідності. Схема електрична структурна цієї системи приведена на рисунку 2.5.

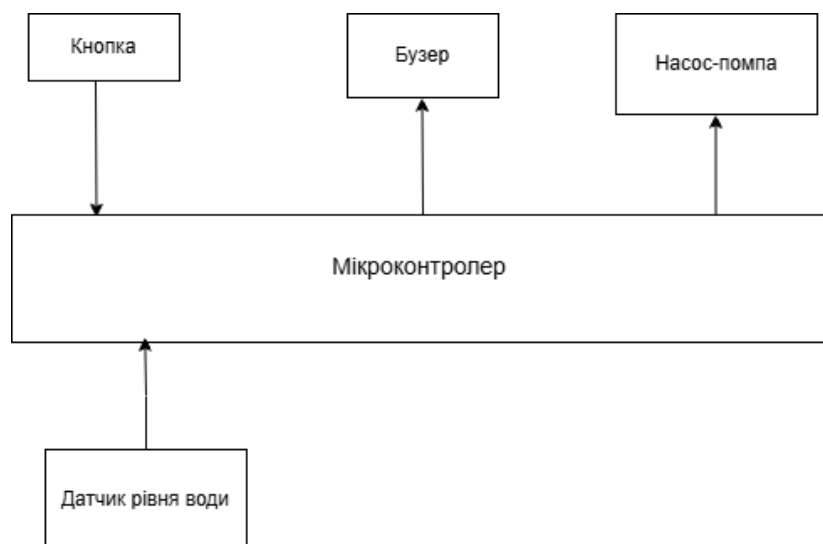
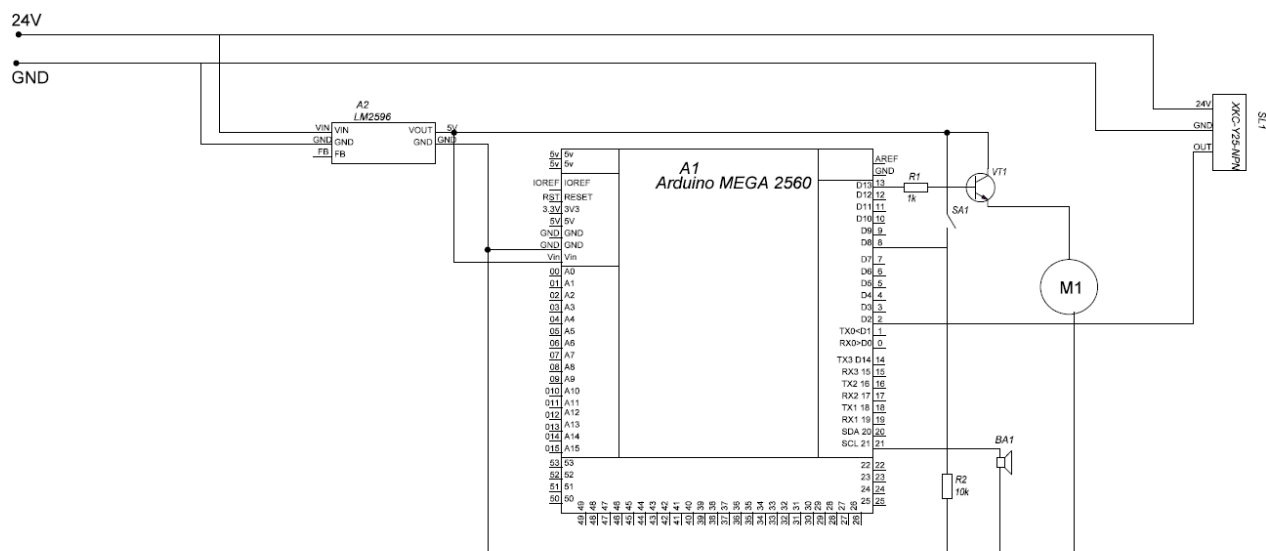


Рисунок 2.5. Схема електрична структурна

На схемі зображено, що на мікроконтролер подається сигнал від датчика рівня рідини. При достатньому рівні насос починає перекачувати воду. Коли рівень води стає низьким система за допомогою бузера подає звуковий сигнал. За допомогою кнопки відбувається зупинка цієї системи.

Опираючись на дану схему побудуємо схему електричну принципову системи яка буде відповідати потрібним нам вимогам.



2.2.3. Система затискання заготовки

Надійна фіксація заготовки є важливим процесом під час обробки очкових лінз в процесі виготовлення біноклярів. Саме від міцності затискання буде залежати чи не змінить своє положення заготовка що може вплинути на якість виконаної роботи. Враховуючи цю вимогу від системи розробимо схему електричну структурну для цього виробу.

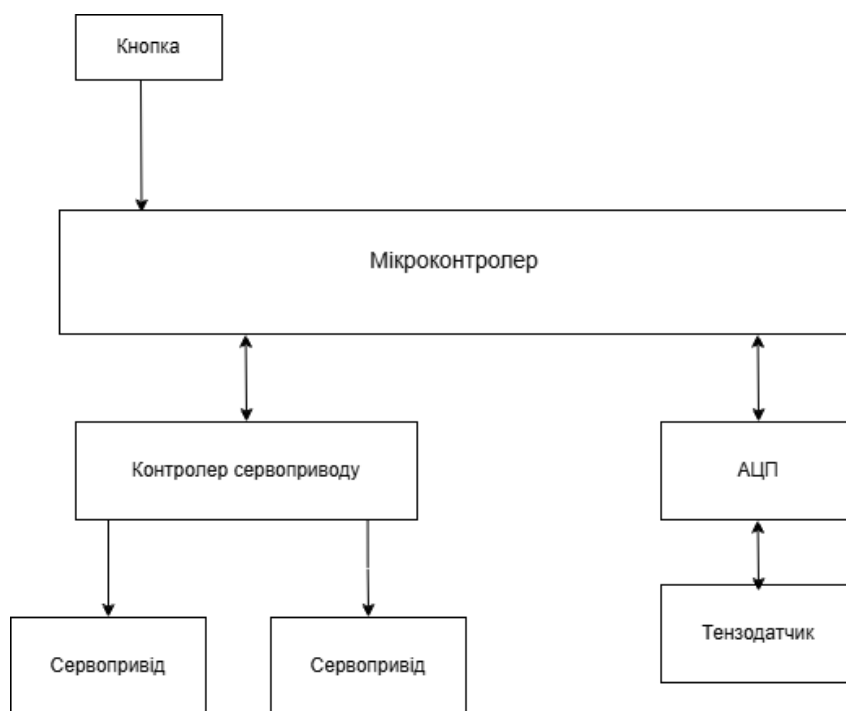


Рисунок 2.7. Схема електрична структурна

Дана схема описує за яким принципом буде відбуватись фіксація заготовки. Для цього процесу в нашій системі використовуються сервомотори, які керуються за допомогою контролера серводвигунів. Сама сила затискання регулюється за допомогою тензодатчик, який підключений до АЦП для посилення сигналу. Реалізуємо дану ідею в схемі електричній принциповій.

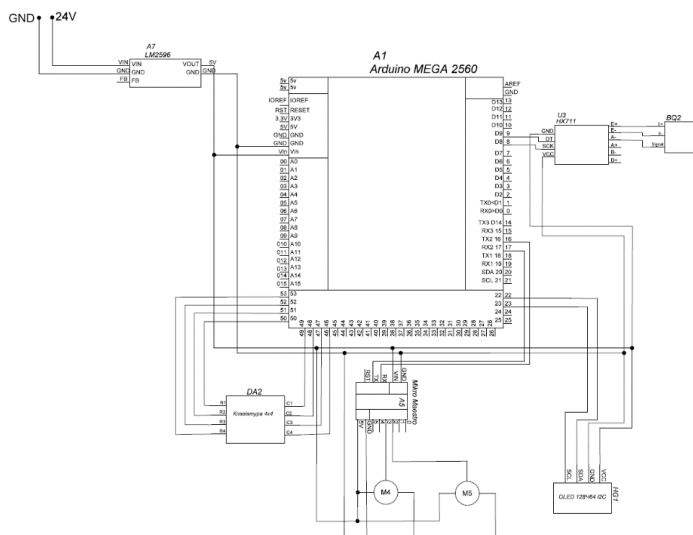


Рисунок 2.8. Схема електрична принципова

2.2.4. Загальна схема розроблюваного нами апарату

На даному етапі нами були розроблені структурні і принципові схеми основних систем автоматизації. Опираючись на попередні розробки нам потрібно створити загальний вигляд нашої системи. Першим кроком до створення цієї системи, буде опис електричної структурної схеми, що дозволить нам розуміти основні процеси, які повинні проходити в нашому приладі і те які компоненти з якою метою будуть задіяні. Схема електрична структурна всього приладу буде зображено на рис. 2.9.

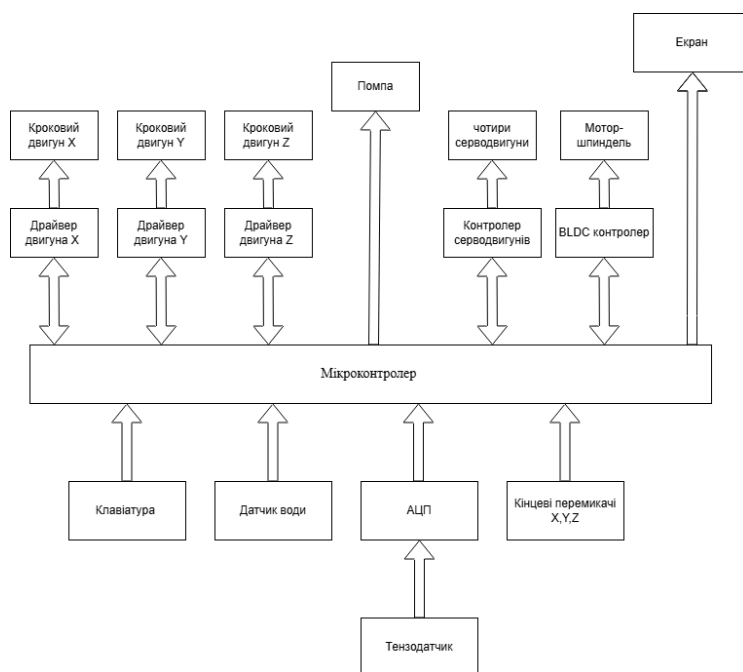


Рисунок 2.9. Схема електрична структурна всього приладу

2. Придатність до підтримки – можливість простого внесення змін в пеній компонент або систему.
3. Продуктивність – пришвидшення роботи за рахунок оптимізації обробки даних і розподілу навантаження на різні частини системи.

Вдалі архітектурні рішення також безпосередньо впливають на швидкість розробки. Чіткість структури, модульність і повторне використання компонентів зменшує час необхідний для написання коду, а чітке розуміння архітектури спрощує комунікацію та прискорює прийняття рішень.

Існує велика кількість підходів до побудови архітектури ПЗ. В даному проекті нами була використана модель яка носить назву «Монолітна архітектура». Ця модель є класичною для розробки приладів які не мають великої кількості систем і не будуть масштабуватись. В рамках даного підходу уся система реалізується як одна суцільна структура з тісним зв'язком між компонентами. Це дозволить системі швидко виконувати ті функції які будуть перед нею поставлені. Проте, для кращого розуміння розіб'ємо нашу систему на модулі, по їх призначенню:

1. Виконавчі модулі. В нашій роботі до таких можна віднести компоненти за допомогою яких прилад виконує поставлену задачу. Це можуть бути як крокові двигуни, так і мотор свердлильного верстата і сервомотори системи затискання

2. Керуючий модуль. До них можна віднести основний мікроконтролер і всі інші контролери, наприклад контролери крокових двигунів або сервомоторів.

3. Сенсорний модуль. До нього можна віднести всі датчики і кінцеві перемикачі задіяні в розробці.

Кожен із цих модулів виконує важливу роль в рамках нашого приладу і тільки правильна їх взаємодія дозволяє розробити робочий прилад.

Висновок до розділу 2

В даному розділі ми визначили які основні характеристики потрібно враховувати під час позиціювання свердла у просторі. Наступним нашим кроком стала розробка структурних схем які відображають процеси і взаємозв'язки які

відбуваються в даному приладі. На основі отриманих структурних схем ми розробили схеми електричні принципові систем, з яких складається наш прилад. Далі, шляхом об'єднання цих систем, нами була створена схема, що повністю описує підключення і функціонал електронних компонентів приладу.[14]

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СКЛАДОВИХ ЧАСТИН СИСТЕМИ СВЕРДЛІННЯ ОТВОРІВ

3.1. Опис складових частин

При розробці нашого приладу основною частиною роботи було створення системи руху свердлильного верстата. Дана система повинна мати можливість руху за осями X , Y і Z . При аналізі вже існуючих рішень було знайдено кінематичні системи які відповідають нашим вимогам і це системи руху 3D принтерів. На даний час основними системами кінематики є:

Картезіанський. В основі даного методу знаходиться декартова система координат з лінійним рухом вздовж осей X , Y та Z . Здебільшого в даних системах одна вісь переміщує виконавчу частину, а інша переміщує платформу. Кожна вісь такого принтера рухається незалежно одна від одної. Серед представлених на ринку апаратів, саме 3D-принтери даного типу набули самого найбільшого розповсюдження (рис.3.1)[15]



Рисунок 3.1. Принтер на базі картезіанської кінематики

Дельта. Даний тип кінематики відрізняється від картезіанського за способом реалізації механіки. В ньому використовується три важелі які розташовані вертикально в трикутній конфігурації. Замість того щоб

переміщувати робочу поверхню, екструдер самостійно рухається у всіх площинах. Це відбувається за рахунок руху кареток на рейках, які є перпендикулярними осі Z, на різну висоту.

У порівнянні з попереднім варіантом дані принтери мають вищу швидкість роботи, проте через необхідність одночасного руху всіх трьох двигунів, точність таких апаратів є меншою. Також принтери з дельта-кінематикою є більш дорогими і складними в обслуговуванні.[16]

Принтер з дельта кінематикою представлено на рис.3.2.



Рисунок 3.2. Принтер на базі дельта кінематики

Роботизований маніпулятор. Дані системи використовують для руху програмовані роботизовані руки. Через можливість заміни виконавчого модуля дані апарати можуть використовуватись не тільки для друку предметів, а також для інших технологічних операцій – фрезерування, фарбування предметів, зварювання і т.д.

Дані принтери мають певні обмеження через що набули меншого поширення на відміну від попередніх попередніх прикладів, на сам перед вони є

дорожчими ніж інші принтери, мають більш складну конструкцію що ускладнює обслуговування, є досить громіздкими і мають малу робочу зону в площині XY.

На рис. 3.3 показаний принтер з роботизованим маніпулятором. За рахунок різних змінних головок він є багатофункціональним. Так він має змінні головки що дозволяють гравіювати, паяти та складати.[17]



Рисунок 3.3. 3D-принтери з роботизованими маніпуляторами

Проаналізувавши розглянуті варіанти за основу розробки апарата для обробки очкових лінз було вибрано використовувати картезіанську кінематичну систему, а саме її тип під назвою XZ Head Y Bed. У даного типу принтерів екструдер рухається у поздовжньому напрямку по осі X і у вертикальному напрямку по осі Z, а робочий стіл рухається у поздовжньому напрямку по осі Y. Така конструкція забезпечує чіткість руху екструдера, а простота збірки спрощує процес обслуговування даних апаратів[18]. Приклад такого руху приведено на рис. 3.4.

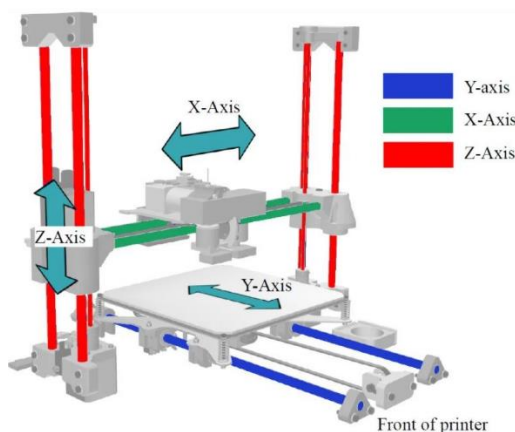


Рисунок 3.4. Кінематика XZ Head Y Bed

3.1.1. Опис електричних компонентів системи обробки очкових лінз.

Мікроконтролер. Основою складовою робочого приладу є мікропроцесорна система яка буде виконувати необхідні нам функції. Так вибір даної системи залежить від великої кількості факторів, наприклад точності вимірювання, кількості оброблюваних вхідних сигналів, швидкості обробки даних, доступності на ринку, наявності додаткових функцій і готових модулів.[19]

Для забезпечення точності роботи і швидкої обробки даних нами потрібно обрати мікроконтролер який має високу швидкість роботи і велику кількість вхідних каналів що дозволить підключати велику кількість компонентів. Важливими також є підтримка додаткових функцій, наприклад збереження даних на пам'яті або можливість віддаленого доступу до даних.

Ще однією важливою характеристикою є розмір мікроконтролера і можливість вбудовування його за необхідності в прилад. Для таких випадків потрібно віддавати перевагу приладам з компактними розмірами і невеликим споживанням енергії.

На сьогоднішній день на ринку представлено велику кількість мікроконтролерів, на основі яких відбувається конструювання. Найбільш поширеними є такі мікроконтролери як:

- Arduino;
- ESP32 та ESP8266;
- STM32;
- Raspberry Pi;
- PIC мікроконтролери від Microchip.

Найбільш поширеним для конструювання з усіх перелічених є мікроконтролери від італійської компанії Arduino. Дані плати які носять однойменну назву з компанією і буде обрано для створення нашого приладу.

Так Arduino являє собою електронне обладнання, що складається з апаратної та програмної складової. Її було створено для полегшення процесу

розробки електронних пристроїв. Також дана плата забезпечує легку взаємодію різних компонентів електричної схеми.[20]

Основним елементом Arduino є платформа, що складається з мікроконтролера і входних/вихідних пінів, дану плату зображено на рис. 3.5. За допомогою цієї платформи відбувається підключення різних електронних компонентів.



Рисунок 3.5. Зовнішній вигляд Arduino

Arduino уже багато років служить основним компонентом тисяч проектів різної складності. Завдяки відкритості платформи і простоті системи, навколо неї була створена міжнародна спільнота, яка об'єднує спеціалістів з різних сфер, що і надалі продовжують розвивати дану систему. Через настільки велику популярність для даної платформи було розроблено велику кількість уже готових для використання модулів, що ще більше спростило використання даної системи. На рисунку 3.6. можна побачити невелику кількість із тих модулів які можна підключити.

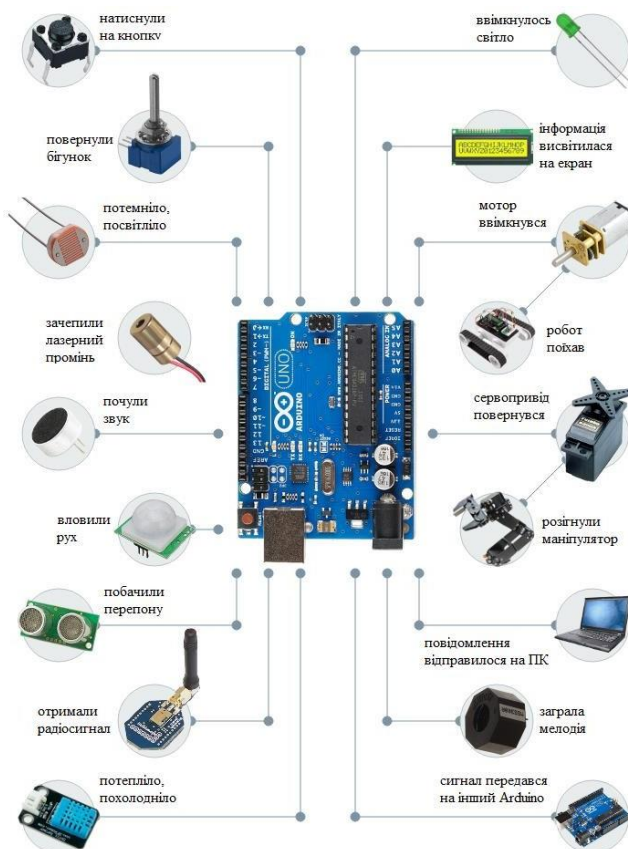


Рисунок 3.6. Варіанти підключення до Arduino

Основним середовищем розробки для систем на базі Arduino є офіційне інтегроване середовище IDE. Arduino IDE являє собою програмне забезпечення з відкритим кодом яке написано мовою Java і пристосоване для роботи на різних платформах, таких як: Windows, Mac і Linux. IDE використовується для написання коду у спеціальному середовищі яке має функцію підсвічування синтаксису і інші функції що спрощують роботу.

Отже, проаналізувавши всі представлені на ринку мікроконтролери на базі Arduino було прийняте рішення використовувати для даного приладу плату моделі Arduino Mega 2560. Даний мікроконтролер є розширеною версією плати Arduino Uno. Вона виконана на основі чіпа типу ATmega2560 і має більшу кількість контактів, також збільшену кількість serial-портів, що використовуються при роботі з ПК і іншими пристроями.

Модель контролера яка буде використана в даній роботі це Arduino Mega 2560 Rev3, яка стало логічним розвитком більш ранніх моделей Mega 2560 і Mega 1280.[21] В табл. 3.1 представлені характеристики Arduino Mega 2560.

Таблиця 3.1 – Характеристики контролера Arduino Mega 2560

Параметри	Значення
Об'єм Flash-пам'яті, кБ	256
Об'єм EEPROM-пам'яті, кБ	8
Об'єм SRAM-пам'яті, кБ	4
Кількість цифрових входів/виходів, шт	54
Кількість аналогових виходів, шт	16
Тактова частота, МГц	16
Робоча напруга, В	5
PWM підтримують	15
Контакти для апаратного переривання, шт	6
Постійний струм через вхід/вихід, мА	40
Кількість апаратних serial-потрів	4

Драйвер крокового двигуна. Кроковими двигунами називають особливий тип двигунів які мають високий крутний момент, даний тип двигунів зазвичай використовують для керування рухомими частинами 3D-принтерів. Вони працюють з магніточутливим валом, котрий рухається за рахунок електромагнітних котушок які розташовані навколо нього. Коли лише одна котушка живиться повністю, вал робить переміщення на один повний крок.

Проте, вал має можливість рухатись мікрокроками, це досягається за допомогою живлення електромагнітних котушок що розташовані на різних рівнях. Мікрокрок – це більш точний метод пересування, що має як переваги так і недоліки. Існують різні ступені мікрокроків, що залежать від частини повного кроку, котру проходить двигун.

Для управління кроковими двигунами використовують драйвери крокових двигунів. Даний прилад представляє собою компонент на материнській платі, що

відповідає за керування потужністю, яка йде на котушки крокового двигуна щоб повернути вал на певний кут.

Від драйвера також залежить рівень шуму який створює система руху. В залежності від мікрокрокових властивостей драйвера тим плавнішими є рухи двигуна і тим меншими будуть вібрації від чого і залежить рівень шуму.

На даний момент є три найбільш популярних драйверів крокових двигунів, які ми можемо використовувати для даного проекту.[22]

Драйвер крокового двигуна A4988 (рис.3.7)

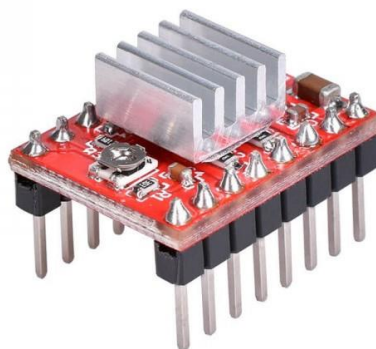


Рисунок 3.7. Плата A4988

Характеристики цього драйвера крокового двигуна наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Технічні характеристики A4988

Характеристика	Величина
Напруга живлення	8-35 В
Захист від перегріву	Наявний
Режим мікрокроку	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16
Максимальний струм на фазу	1А без радіатора; 2А з радіатором
Розмір	20 x 15 мм

Даний драйвер набув широкого розповсюдження в робототехніці, 3D-принтерах, станках з ЧПК і пристроях які потребують точного керування

кроковими двигунами. Для роботи A4988 потребує використання мікроконтролера, наприклад, Arduino.

Драйвер A4988 може підтримувати струм до 2А і режим роботи до 1/16 кроку. Якщо кроковий двигун рухається з кроком 1.8 градусів і робить повний оберт за 200 кроків, то з використанням драйвера мікрокрок стане 0,1125 градусів, що означає, що повний оберт буде зроблено за 3200 кроків, дане збільшення покращує точність позиціювання.

Кроковий двигун. Ключовими компонентами, що приводять всю систему в дію, є біполярні крокові двигуни. Дані двигуни мають чотири виводи (складаються з двох обмоток). Рух валу крокового двигуна є дискретним, тобто повертається на певний заданий кут. Зазвичай в картезіанських системах руху використовують крокові двигуни, що роблять повний оберт валу за 200 кроків, а сам крок дорівнює 1.8 градусів.

Існує велика кількість різних моделей крокових двигунів з яких потрібно обрати найбільш оптимальний варіант. Для таких систем як наша, найбільш розповсюдженими варіантами є двигуни моделі NEMA17 і NEMA11. Основні технічні параметри даних двигунів приведено у табл. 3.3 і табл. 3.4.

Таблиця 3.3. Характеристики двигуна NEMA17

Характеристика	Величина
Кут кроку	$1.8 \pm 0.09^\circ$
Номінальний струм/фаза	1.8 А
Момент утримання	>5.4 кг*см
Розміри	42 x 42 x 48 мм
Вага	350г

Таблиця 3.4. Характеристики двигуна NEMA11

Характеристика	Величина
Кут кроку	$1.8 \pm 0.09^\circ$
Номінальний струм/фаза	0.67A
Момент утримання	$>1.2 \text{ кг*см}$
Розміри	28 x 28 x 51 мм
Вага	180г

Враховуючи всі характеристики, для подальшого виконання роботи нами будуть використовуватись крокові двигуни NEMA17 з більшим крутним моментом[23]. На рис. 3.8. зображено кроковий двигун NEMA17.



Рисунок 3.8. Кроковий двигун NEMA17

Серводвигуни. Серводвигун представляє собою вже готовий прилад який складається з корпусу в середині якого розміщені друкована плата, приводний двигун до якого підведений редуктор та елементи які визначають положення. Принцип роботи полягає в тому, що приймач направляє керуючий сигнал серводвигуну, сам двигун запускається в дію мікросхемою яка знаходиться на друкованій платі, через редуктор на важіль подається обертання від валу двигуна, в цей час детектор положення формує зворотній сигнал що вказує на те чи досяг важіль потрібного положення.

На даний момент існує безліч різних сервомоторів, проте в нашій роботі нам потрібно вибрати серводвигуни які зможуть працювати при високому навантаженні на них. Саме тому при конструюванні нашого приладу було обрано серводвигуни моделі MG995 (рис.3.9). В конструкції даного приладу використовуються металеві шестерні, які мають хороший крутний момент який може досягати 13 кг/см, саме тому його часто використовують при конструювання свердлильних верстатів та інших приладах де важлива надійність. Основним його недоліком є велика маса і об'єм[24]. В табл. 3.5 наведені характеристики даного сервомотора.



Рисунок 3.9. Серводвигун MG995

Таблиця 3.5. Характеристики сервомотора MG995

Характеристика	Величина
Живлення	4.8-7.2 В
Швидкість відпрацювання команди	0.17с/60° при 4.8 В 0.13с/60° при 6 В
Крутний момент	13 кг/см
Відхилення кута	Відхилення по руху ліворуч і праворуч: <3° Відхилення центрування: 0°
Робоча температура	Від 0°C до 55°C
Вага	55г
Ширина зони нечутливості	1 мкс

Контролер сервомоторів. При роботі з великою кількістю інформації навіть самий кращий мікроконтролер почне втрачати швидкість обробки інформації, через витрату великої кількості ресурсів пам'яті та процесора на підтримання точності сигналу для кожного серводвигуна. Щоб розгрузити основний мікроконтролер в нашому проекті буде використаний контролер сервомоторів. Враховуючи необхідність підключення чотирьох сервомоторів найкращим варіантом для нас виявилось використання Micro Maestro 6-Channel (рис.3.10). В нашому випадку як зрозуміло з назви даний контролер має шість незалежних каналів для підключення моторів і дозволить керувати ними з дуже високою точністю не напружаючи основний мікроконтролер.[25] В табл. 3.6. наведені відповідні характеристики даного приладу.



Рисунок 3.10. Шестиканальний контролер сервомоторів Micro Maestro

Таблиця 3.6. Характеристики контролера сервомоторів Micro Maestro

Характеристика	Величина
Кількість каналів	6 шт.
Робоча напруга	5 В
Частота імпульсу	33Гц – 100Гц
Діапазон імпульсів	64 мкс – 3280 мкс
Регулювання швидкості і прискорення	Індивідуально для кожного каналу
Розмір	21 x 30.5 мм
Вага	3.1 г

Кінцевий перемикач. При розробці системи руху автоматизованої системи свердління отворів постає питання стосовно того як система буде розуміти, коли вона повернулась на початок відліку координат, бо від цього залежить точність виконання поставленої задачі. В подібних до нашої системах для таких цілей використовують кінцеві перемикачі.

Зазвичай на кожну вісь встановлюють свій власний кінцевий вимикач, який визначає початкове (мінімальне) положення робочих частин. Максимальне положення здебільшого задається програмно. Проте в деяких випадках на кожну з осей встановлюють два кінцеві перемикачі. В такому випадку вони визначають мінімальне і максимальне положення, хоча здебільшого такий метод не використовують. [26] В нашому випадку буде використано 3 кінцеві вимикачі, по одному на осі X, Y і Z. (рис. 3.11).



Рисунок 3.11. Кінцевий перемикач KW11

Дисплей. Для реалізації автономного керування нашим приладом без використання комп'ютера нам знадобиться дисплей. На дисплеї оператор зможе бачити вибрані ним режими і ті значення які були введені для обробки даної заготовки. В нашому випадку найкращим варіантом виявився 1,3-дюймовий I2C OLED-дисплей 128x64 SH1106(рис.3.12).

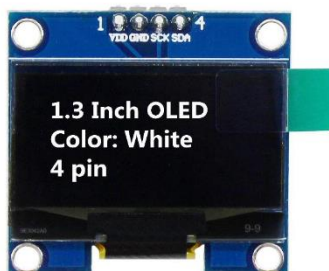


Рисунок 3.12. 1,3-дюймовий I2C OLED-дисплей

Дані дисплеї є одним з найпопулярніших варіантів які використовуються в сучасних вбудованих системах. Вони забезпечують високу контрастність, компактний розмір і низьке енергоспоживання, що робить їх чудовим вибором для проектів на базі платформи Arduino. Враховуючи те що цей екран використовує технологію OLED він не потребує підсвічування, а сам дисплей має високу контрастність, широкі кути огляду і чудову читабельність при поганому освітлення.[27] Характеристики дисплею вказані в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7. Характеристики екрану

Характеристика	Величина
Тип дисплея	Пасивна матрична OLED-діаграма
Роздільна здатність	128 × 64 пікселів
Робоча напруга	3,3 В – 5 В постійного струму
Робочий струм	~20 мА (всі пікселі ввімкнено)
Кут огляду	> 160°
Розмір модуля	35 × 33 мм
Робоча температура	від -30°C до 70°C

Цифрова клавіатура. Під час процесу обробки очкових лінз при виготовленні біноклярів постає питання стосовно необхідності керування даним приладом, так як оператор повинен вводити інформацію стосовно позиціювання

отвору в лінзі, вмикати і вимикати систему затискання заготовки і аналогічно вмикати/вимикати подачу охолоджувальної рідини, нами було прийняте рішення використати в даній розробці клавіатуру яка буде мати достатню кількість кнопок для вводу необхідного значення і вибору інших функцій. Для такої задачі було обрано звичайну цифрову клавіатуру типу 4x4. Ця клавіатура складається з 16 кнопок, які розташовані в матриці, що означає що всі кнопки які знаходяться в одному стовпці пов'язані зі спільним входом, а кнопки розташовані в рядку – з іншим. Якщо натиснути кнопку вхід, який відповідає за рядок, з'єднується з входом який відповідає за стовбець, це призводить до замикання кола. Даний метод керування дозволяє керувати 16 кнопками всього лиш за допомогою 8 входів на мікроконтролері.[28] Приклад даної клавіатури приведено на рис. 3.13.



Рисунок 3.13. Цифрова клавіатура 4x4

Свердлильний верстат. На даний момент на ринку представлено велику кількість моторів-шпинделів які можна було б використати в нашій розробці. Проте аналізуючи характеристики різних моделей наш вибір пав на шпиндель моделі LD42WS-250W(рис.3.14).



Рисунок 3.14. Мотор-шпиндель LD42WS-250W

Він використовується як компактний шпиндель для невеликих CNC-станків таких як наприклад CNC 1310 і CNC 3018 для гравіювання, свердління або фрезерування різних матеріалів. Даний функціонал забезпечується його високою потужністю, а висока точність, стабільність і компактність роблять його одним з найкращих моторів даного класу що можна знайти на ринку. Ще одним плюсом є наявність патрона моделі ER11 що дозволяє швидко змінювати свердло в залежності від того який діаметр отвору потрібен. Сам мотор є безщітковим, тому він працює тихіше, зношується повільніше і краще працює під навантаженням ніж щіткові.[29] Характеристики даного шпинделя наведені в табл. 3.8.

Таблиця 3.8. Характеристики шпинделя LD42WS-250W

Характеристика	Величина
Робоча напруга	24 В
Швидкість обертів	12000 об/хв
Потужність	250 Вт
Крутний момент	0.250 Нм
Опір ізоляції	>2 МОм
Діаметр	42 мм
Довжина	130 мм
Вага	0.7 кг

BLDC контролер. Для керування роботою безщітковими шпиндельними електродвигунами потрібно використовувати BLDC контролери. Дані контролери подають сигнал правильного імпульсу на мотор чим дозволяє керувати обертами або змінювати напрямок обертання двигуна. Також такі контролери виконують роль захисту двигуна від перевантажень або заклинювань, що в поєднанні з вище згаданими характеристиками запобігає можливому пошкодженню двигуна.

Для нашого приладу одним з найкращих варіантів буде використання контролера DC 12V-36V 500 W з датчиком Холла моделі LDC JUYI JYQD-V7.3E2. На рис. 3.15 показаний контролер цієї моделі.



Рисунок 3.15. Контролер моделі LDC JUYI JYQD-V7.3E2

Даний контролер є найкращим рішенням при роботі з шпиндельними електродвигунами обраної нами моделі. Так діапазон робочої напруги в межах від 12 В до 36 В і можливість роботи з приладами з потужністю до 500 Вт буде створювати запас по значенням, що буде запобігати перегріву контролера яка може призвести як до пошкодження самого пристрою так і виходу з ладу підключеного двигуна. Наявність можливості керування ще й датчиком Холла, при наявності його в двигуні, дозволяє покращити якість роботи, через збільшення плавності пуску, покращенню роботи на малих обертах та і взагалі покращити надійність керування. Це досягається тим що датчик Холла може визначати положення ротора в конкретний момент часу.[30] Наведемо характеристики даного контролера в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9. Характеристика контролера LDC JUYI JYQD-V7.3E2

Характеристика	Величина
Напруга живлення	12В – 36В
Потужність драйвера	<500 Вт (при наявності радіатора)
Струм споживання	<15А
Робоча температура	-40°C – 85°C
Напруга керування швидкістю	0.1В – 5В
Розмір	63 x 42 x 17 мм

Датчик рівня води. При розробці системи подачі охолоджувальної рідини для нашого приладу, постало запитання стосовно необхідності оператору розуміти кількість рідини в контейнері який знаходиться в корпусі. Для таких цілей розглядалися різні датчики рівня води. Першим розглянутим варіантом були датчики поплавкового типу, тобто ті що знаходяться на поверхні води, однак при подальшому аналізі стало зрозуміло, що при витяганні контейнера оператором датчик буде заважати, одночасно з цим його постійний рух може спричинити обрив якогось проводів датчика. Тому наш вибір упав на безконтактні датчики рівня води. Вони не потребують прямого контакту з рідиною, а вимірювання можуть відбуватись через стінку контейнера з водою. Одним з найбільш розповсюджених датчиків такого типу є безконтактний датчик рівня рідини ХКС-Y25-V.[31] Зовнішній вигляд наведено на рис. 3.16.



Рисунок 3.16. Безконтактний датчик рівня рідини ХКС-Y25-V

Даний датчик використовує складну ємнісного зондування, що може проникати через неметалеві стінки контейнера не вступаючи в контакт з рідиною. За допомогою цього усуваються ризики корозії датчика, а високий час відгуку дозволяє моніторити рівень води в режимі реального часу. Сам датчик може бути встановлений на поверхню неметалевих контейнерів з таких матеріалів як скло, пластик або кераміка з товщиною стінок до 20 мм. Сам датчик виготовлений з вогнетривких матеріалів і має клас водонепроникності IP67, що робить його використанні безпечним навіть в важких умовах. Характеристики датчика буде наведено в табл. 3.10.

Таблиця 3.10. Характеристики датчика ХКС-У25-V

Характеристика	Величина
Напруга живлення	5-24 В постійного струму
Споживання струму	5 мА
Час відгуку	500 мс
Відстань сприйняття	до 20 мм
Робоча температура	-20 – 105 °С

Насос. Для перекачування рідини з контейнера до заготовки, для її охолодження, нами був використаний звичайний малопотужний мініатюрний водяний насос-помпа, в даному випадку моделі RS-360SH (рис.3.17.).



Рисунок 3.17. Насос-помпа RS-360SH

Цей насос є одним з найбільш розповсюджених на ринку через свою ціну і високо оцінюється серед користувачі за свою простоту і надійність.[32] Характеристики насосу зазначимо в табл. 3.11.

Таблиця 3.11. Характеристики насоса-помпи.

Характеристика	Величина
Напруга живлення	5 – 12 В
Продуктивність	1 - 1.5 л/хв
Довжина	52 мм
Діаметр	27 мм
Діаметр трубки, що підключається	4 мм
Вага	70 г

Тензодатчик. Для контролю сили затискання заготовки в посадковому пазі при обробці лінзи, нами було прийняте рішення використати тензодатчик, що допоможе уникнути випадків при яких лінза матиме недостатньо надійну фіксацію, через що порушиться точність висвердлювання отвору і як результат псування заготовки, з іншого боку занадто сильне затискання може призвести до надмірного навантаження на систему, що призводить до швидкого зносу обладнання. Для самої лінзи надмірний тиск може стати причиною утворення тріщин у матеріалі. Також, використання тензодатчика дозволяє надійно фіксувати заготовки різних розмірів без потреби в попередньому калібруванні апарату тому що система орієнтується саме на кінцеве значення тиску зняте з датчика.

Для нашого приладу був вибраний тензодатчик від компанії EVT з максимальним значенням навантаження до 50 кг (рис. 3.18). Завдяки своїм малим розмірам, прилади знайшли своє застосування як в побутових, так і промислових цілях, а надійна будова корпусу, виготовленого з металевго сплаву, гарантує надійність і довговічність навіть при регулярній експлуатації.[33] Характеристики даного тензодатчика можна побачити в табл. 3.12.



Рисунок 3.18. Тензодатчик виробництва EVT

Таблиця 3.12. Характеристики тензодатчика

Характеристика	Величина
Напруга живлення	5 – 10 В
Максимальна вага вимірювання	50 кг
Розмір	34 x 34 x 8 мм
Вага	20 г

Аналогово-цифровий перетворювач. При використанні тензодатчиків у даній роботі, постала проблема, що сигнал який надходить від датчика має дуже маленьке значення, яке може становити декілька мілівольт, через що мікроконтролер не здатен коректно його зчитати. Для таких задач при роботі з тензодатчиками використовують аналогово-цифрові перетворювачі. Їх роль полягає у зчитуванні сигналу з датчика, підсиленню його в 32, 64 або 128 разів, після чого сигнал з аналогового перетворюється в цифровий код з високою точністю, який може зчитати плата Arduino. Найбільш підходящим для даної задачі став АЦП моделі HX711 (рис.3.19).

Даний модуль був розроблений саме для виконання таких задач і знайшов широке застосування в системах де використовуються тензодатчики. Він є двоканальним, тобто може одночасно працювати з двома вимірювачами, проте

рівень посилення сигналу на кожному каналі не однаковий. Для А-каналу коефіцієнт посилення може бути 64 і 128. Для В-каналу коефіцієнт буде становити всього 32.[34] Характеристики даного АЦП вкажемо в табл. 3.13.

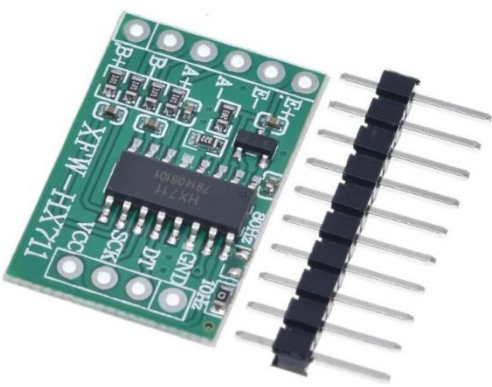


Рисунок 3.19. Аналогово-цифровий перетворювач НХ711

Таблиця 3.13. Характеристики НХ711

Характеристика	Величина
Робоча напруга	5 В
Робоча сила струму	До 10 мА
Частота оновлення	80 Гц
Диференціальна вхідна напруга	±40 мВ / ±20 мВ
Робоча температура	-40 - 85°С
Розмір	34 x 21 x 10 мм
Вага	3 г

Блок живлення. Для комфортного використання нашого приладу в звичайних умовах виробництва потрібно було продумати способи живлення нашого приладу від звичайної розетки з напругою 230 В і частотою 50 Гц, однак всі компоненти нашого приладу живляться постійним струмом, для вирішення цього нами повинен бути встановлений блок живлення який зможе перетворювати 230 В перемінного струму в 24 В постійного, бо саме з такою напругою працюють

основні силові системи. Отже, з усіх представлених варіантів наш вибір пав на XDR-240E-24 від Mean Well (рис.3.20).



Рисунок 3.20. Блок живлення XDR-240E-24

XDR-240E-24 представляє собою компактний і надійний блок живлення який широко застосовується у промислових системах автоматизації. Завдяки високому ККД і стабільності роботи навіть при високих температурах, даний прилад забезпечує тривалу і безпечну експлуатацію.[35] В табл. 3.14. вказані характеристики блоку живлення.

Таблиця 3.14. Характеристики блоку живлення XDR-240E-24

Характеристика	Величина
Потужність	240 Вт
Вхідна напруга	85-264 В
Вихідна напруга	24 В
Макс. вихідний струм	10 А
ККД	94.5 %
Робоча температура	-40 – 70 °C
Розмір	116 x 40 x 125.2 мм
Вага	0.65 кг

DC-DC перетворювач. Після проходження блока живлення, електричний струм в нашій приладі став дорівнювати 24 В постійного струму, що ідеально підходить для роботи крокових і шпиндельного двигунів, проте більшість електронних компонентів схеми потребують меншого значення напруги, так наприклад при подачі цієї 24 В на плату Arduino вона просто вийде з ладу. Для зменшення напруги до необхідних нам для більшості приладів і датчиків 5 В в нашій схемі продумано встановлення DC-DC перетворювача. В нашому випадку це буде перетворювач моделі LM2596. Вигляд даного модуля зображено на рис.3.21.

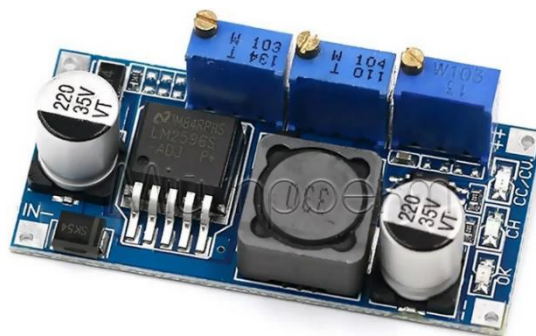


Рисунок 3.21. DC-DC перетворювач моделі LM2596

Даний перетворювач є високоефективним модулем з функціями стабілізації і напруга, і струму. На відміну від більш простих моделей він забезпечує не тільки точне регулювання напруги на виході в діапазоні 1.25-30В, а й дає можливість встановлювати обмеження струму, що важливо для живлення чутливих приладів. В модулі є три потенціометри для налаштування і система індикації режимів роботи за допомогою світлодіодів.[36] Всі ці параметри роблять даний перетворювач ідеальним рішенням для широкого спектру проектів. Характеристики будуть наведені в табл. 3.15

Таблиця 3.15. Характеристики DC-DC перетворювач моделі LM2596

Характеристика	Величина
Вхідна напруга	7 – 35 В
Вихідна напруга	1.25 – 30 В
Вихідний струм	до 3 А
Робоча температура	-40 – 85°C
ККД перетворювача	92 %
Частота комутації	150 кГц

3.1.2. Опис конструкторських рішень

При розробці даного приладу велике значення надавалось безпеці користування. Тому першим, що побачить користувач нашим приладом буде корпус, його функція зводиться до ізоляції робочої зони для мінімізації ризику травмування, через не дотримання правил безпеки при роботі із свердлильними верстатами або в результаті руйнування заготовки в процесі свердління. Контакт з робочою зоною відбувається через спроектовані дверцята виконані з прозорого акрилу, щоб оператор міг вести спостереження за процесами що виконуються. Зовнішній вигляд захисного корпусу можна побачити на рис.3.22.

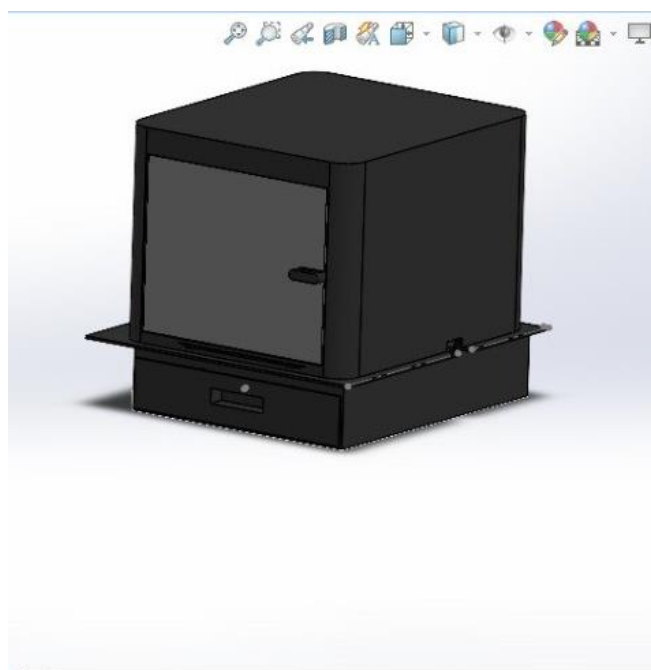


Рисунок 3.22. Зовнішній вигляд корпусу.

Під захисним корпусом знаходиться основна частина нашого приладу, яку можна розділити на три частини в залежності від функціоналу. Так силова частина нашого приладу, яка складається з блоку живлення і DC-DC перетворювача знаходяться в правій частині приладу в ізолюваному блоці, щоб мінімізувати контакт оператора з електронними компонентами. З цією ціллю, керуюча частина, яка знаходиться зліва, також розміщена в окремому ізолюваному блоці, в неї входять мікроконтролери, драйвери двигунів і взагалі вся електрична частина яка виконує обчислення і керування. Основною ж для нас є виконавча частина, яка розташовується в центральній частині на передньому плані, в неї входять всі рухомі компоненти і робочі системи. Внутрішня конструкція зображена на рис. 3.23.

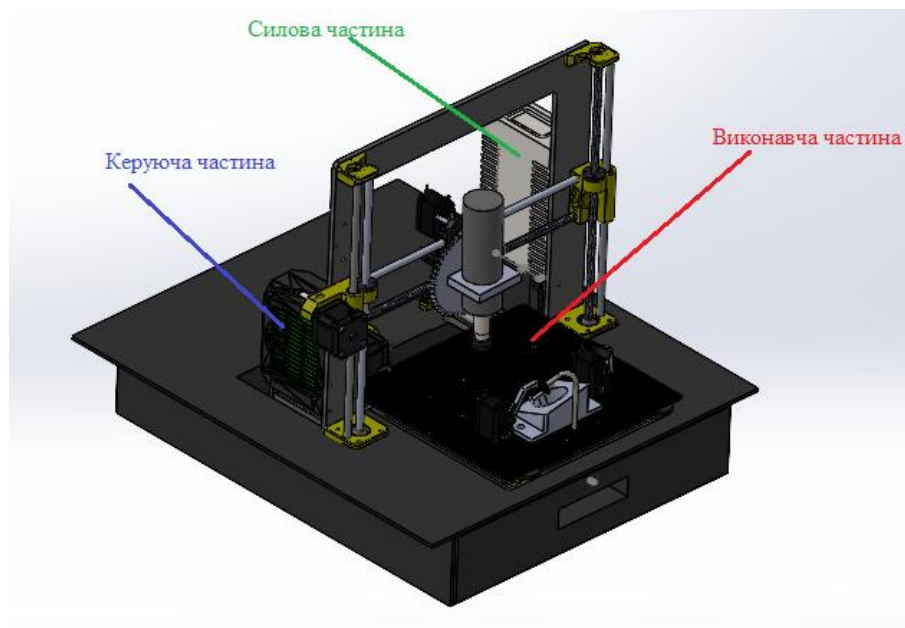


Рисунок 3.23. Внутрішня конструкція приладу

Найбільшого інтересу з точки зору конструкційних рішень представляє саме виконавча частина. Розглянемо її більш детально.

Система руху. Система руху нашого приладу, як вже було сказано раніше, надихалася системами руху 3D-принтерів, тому рух забезпечують три крокових двигуни, кожен з яких відповідає за свою координату руху (рис.3.24). Сам принцип за допомогою якого відбувається рух досить простий, кроковий двигун обертає гвинт з різьбою, на якому знаходиться гайка, що рухається по цьому гвинту в залежності від напрямку обертання. Для надійності, на всіх осях руху

розташовані направляючі, що мінімізують коливання при роботі апарата які можуть призвести до похибки. Також за допомогою такої конструкції наш прилад здатний розуміти пройдену відстань, так як лінійне переміщення для гайки яка буде переміщатись по гвинту можна визначити як:

$$S = n * P \quad (3.1)$$

Де n – кількість обертів, а P – крок різьби

Однак дана формула може використовуватись у нас тільки при описі руху по осі Z, тому що вісь X і Y передають свій крутний момент до валу через редуктор, через що формула для визначення їх лінійного переміщення буде виглядати так:

$$S = N * \frac{Z_1}{Z_2} * P \quad (3.2)$$

Де N – кількість обертів двигуна;

Z_1 – кількість зубів ведучої шестерні;

Z_2 – кількість зубів веденої шестерні;

Також, за рахунок можливості двигуна робити мікрокроки, точність вимірювання зростає

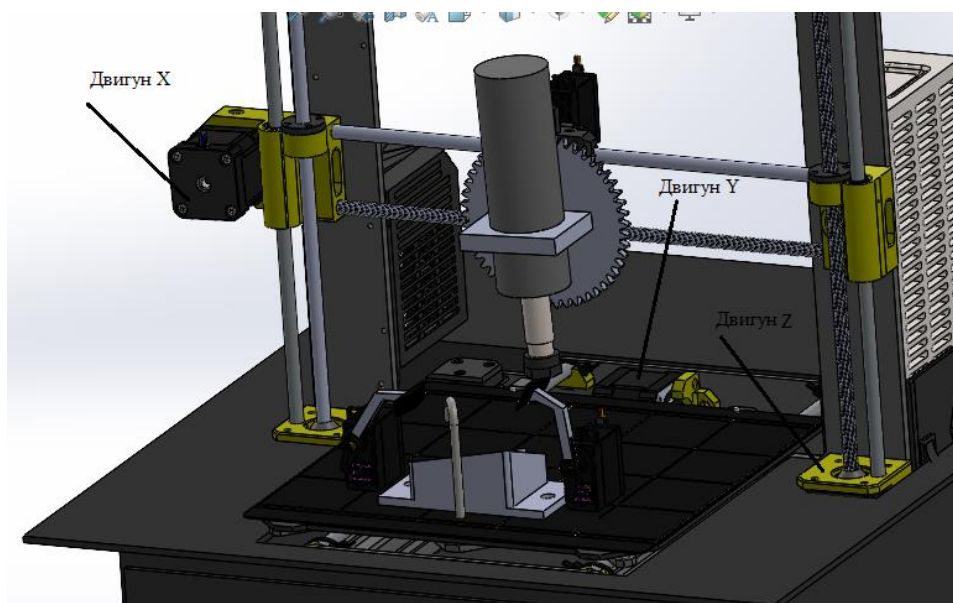


Рисунок 3.23. Розташування і будова системи руху

Система подачі рідини. Основні частини, такі як насос і датчик рівня рідини знаходяться і трубки подачі рідини, знаходяться в середині основного корпусу, на робочу поверхню виходить тільки кінцева металева трубка, з якої і

подається рідина на заготовку. Проте на самому корпусі можна замітити наявність двох контейнерів.

Перший контейнер, який знаходиться ззаду, використовується як ємність для охолоджувальної рідини. Щоб збільшити кількість рідини яку можна було б розмістити там, задня частина апарату була збільшена. Сам контейнер виконаний з пластику для забезпечення роботи безконтактного датчика рідини, який притискається з середини корпусу до ємності.

Другий контейнер використовується для збору відпрацьованої рідини за допомогою отвору в робочій зоні.

На рис. 3.24. зображено контейнер і металеву трубку.

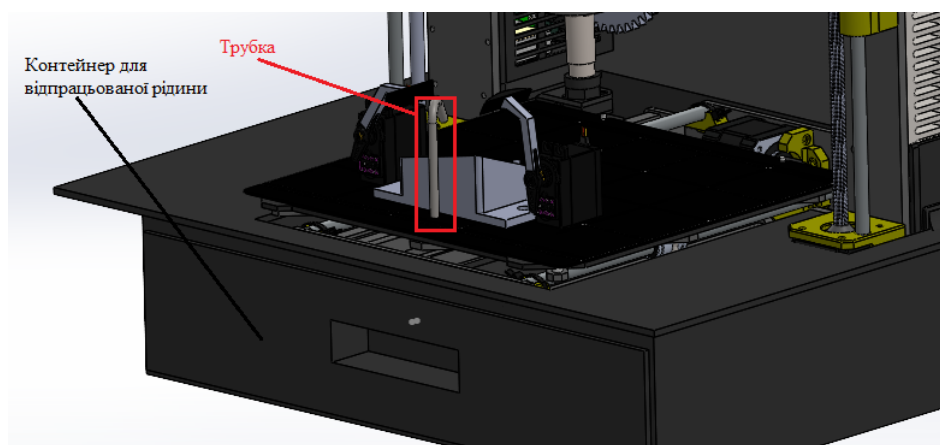


Рисунок 3.25. Розміщення контейнера і трубки

Система затискання. Конструкція даної системи досить проста. В місце для фіксації заготовки кладеться лінза, після чого два сервомотори, які розташовані по бокам, починають притискати лінзу до посадочного місця, силу затискання контролює тензодатчик, який розташований під посадковим місцем. Для більш надійного затискання, кінці насадок на серводвигуни виконані з резини, що запобігає ковзанню заготовки. Конструкція системи зображена на рис. 3.26.

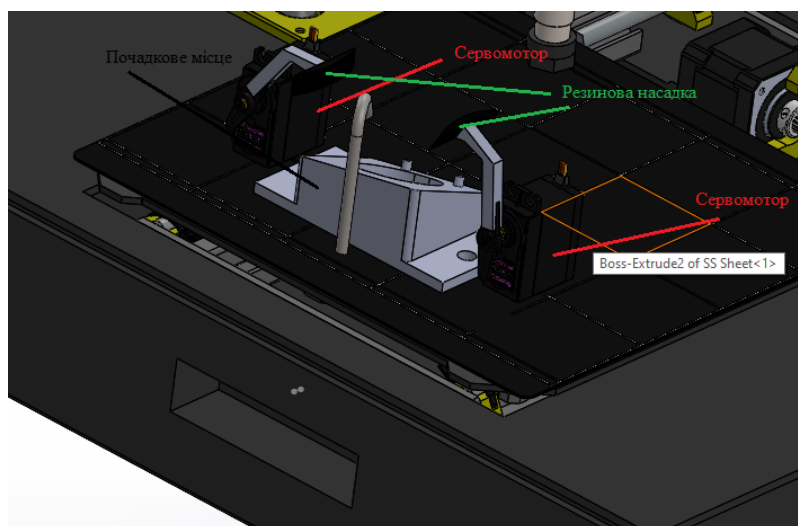


Рисунок 3.26. Система затискання

Система свердління. Останньою ми розглянемо конструкційні рішення стосовно розміщення і роботи свердлильного двигуна-шпинделя. Він розміщується на рухомій каретці, за допомогою комплектної фіксаційної деталі. Щоб зробити можливим поворот верстата, нами було використано серводвигун, який за допомогою шестерні повертає іншу шестерню, до центру якої і прикріплений двигун (рис. 3.27).

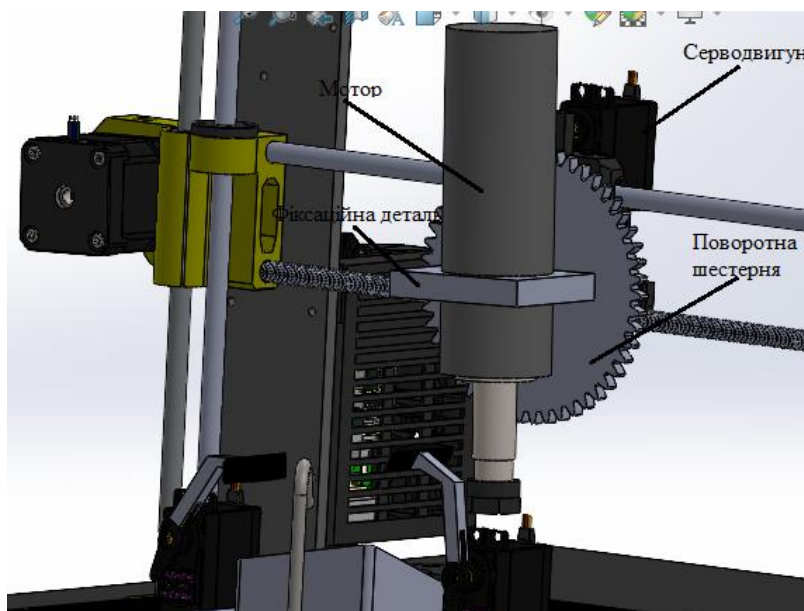


Рисунок 3.27. Будова системи свердління

3.2. Вибір та обґрунтування комерційних рішень

На даний момент ринок апаратів для свердління лінз представлений малою кількістю компаній. Основними виробниками обладнання для свердління лінз є такі компанії як: NIDEK, Huvitz, Santinelli International, Coburn Technologies і Link

Eye Group. Через відсутність більш дешевої і якісної альтернативи, дані виробники займають переважну більшість ринку приладів для роботи з лінзами, навіть маючи велику кількість недоліків, як з конструктивної точки зору, так і з безпекою роботи і необхідністю мати кваліфікованих робітників для виконання завдань, а вартість апаратів такого типу може досягати мільйонів гривень. Розглянемо ці прилади більш ретельно. Для порівняння будуть використовуватись найбільш популярні прилади даних виробників.

Компанія NIDEK не представлена офіційно на ринку України що ще більше підвищує вартість приладу через необхідність замовлення закордону і неможливості офіційного обслуговування. Одним з найбільш популярних приладів цієї компанії є модель ME-1[37]. Даний прилад можна побачити на рис.3.24. Середня ціна на нашому ринку за апарат який вже був в використанні становить від 559 000 до 816 000 грн, по при такі високій вартості даний апарат має велику кількість недоліків, на сам перед малий розмір робочої камери, що не дозволяє оператору швидко змінювати заготовки та і в принципі погано впливає на комфорт користування, плюсом системи є її герметичність, що забезпечує безпечність роботи для людини, за рахунок відсутності ризику вдихання скляного пилу і розльоту шматків скла при руйнуванні заготовки, проте через це заготовка не має надходження повітря яке могло її охолоджувати, що може спричинити псування лінзи, а як така система охолодження в даному приладі не була продумана.



Рисунок 3.28. Апарат фірми NIDEK моделі ME-1

Наступним ми розглянемо прилад компанії Huvitz моделі HDM-8000 (рис.3.25). Прилади даної компанії є більш доступними на нашій території, на відмінну від попереднього виробника, проте, навіть так, ціна даного приладу є досить великою і складає приблизно 282 000 грн, що куди дешевше за попередній приклад, але все ще багато.[8] Перевагами даного приладу є його висока точність обробки, однак, через малу потужність свердлильного блоку, що складає 100 Вт, процес обробки є досить довгим, а як такої системи охолодження, аналогічно попередньому приладу, немає.



Рисунок 3.29. Прилад компанії Huvitz моделі HDM-8000

Останній апарат вибраний для порівняння, буде прилад компанії Link Eye Group під назвою DM-200. Розглянемо прилад на рис. 3. 26. З усіх апаратів, прилади даної компанії мають саму низьку вартість, проте за це доводиться жертвувати як автоматизацією процесів, так і безпекою оператора. Дана модель не має захисту від скляного пилу, а система затискання побудована на трьох резинових ковпачках, які одягаються на штирі, розміщені на робочій поверхні. Системи охолодження, яка могла б запобігти утворенню пилу в приладі також не має.[38]



Рисунок 3.30. Прилад компанії Link Eye Group

На прикладі даних апаратів ми зможемо продемонструвати доцільність використання саме нашого приладу. Так, відмінно від апаратів, які були представленими вище, наша розробка об'єднує в собі всі кращі характеристики інших приладів за більш доступними цінами.

З точки зору безпеки робітника, наш апарат має досить високий рівень захисту, за рахунок наявності знімного захисного корпусу, виготовленого з пластику, що допомагає ще й з зменшити вартість приладу. Для комфорту роботи оператора і швидкої заміни заготовки у корпусі є віконце зроблене з акрилу, який є легшим за скло, надійним і більш дешевим варіантом. Всі рухомі системи мають захисні кожухи, що унеможлиблює потрапляння будь якого предмету, який може призвести до пошкодження приладу або травми. Щоб зменшити утворення скляного пилу і перегріву заготовки, було продумано систему охолодження лінзи, під час процесу свердління, за рахунок подачі рідини на поверхню оброблювального предмету. У випадку якщо сталась непередбачувана ситуація, на панелі керування передбачена кнопка, за допомогою якої оператор повністю може зупинити весь апарат.

Стосовно затискання заготовки і позиціювання свердлильного приладу, наша апарат використовує перевірені часом рішення, які знайшли своє застосування в різних приладах. Так система затискання побудована на базі сервомоторів які затискають заготовку з певним зусиллям яке визначається тензодатчиком під заготовкою, дана схема дозволяє використовувати прилад під

різні розміри лінз, без переналаштування нашого апарату. За систему руху відповідає проста, в той же час надійна система руху 3D принтерів. Яка дозволяє швидко і точно зробити отвір. За сам процес свердління відповідає потужний мотор-шпиндель, який швидко виконує свою роботу, що дозволяє збільшити швидкість обробки лінз.

Стосовно ціни, наш апарат є більш дешевим за всі інші апарати в рази. Основною статтею витрат при розробці стала електроніка, яка в нашому випадку зібрана з компонентів які є доступними на ринку. Щоб оцінити собівартість розробки електронного компоненту апарату, знайдемо вартість модулів за ринковими цінами. Отримані дані занесемо до табл. 3.16.

Таблиця 3.16. Вартість компонентів електричної складової приладу.

Компонент	Кількість	Вартість за 1 шт, грн
Мікроконтролер Arduino Mega 2560	1	720
Драйвер крокового двигуна A4988	3	45
Кроковий двигун NEMA17	3	325
Серводвигун MG995	4	238
Контролер сервомоторів Micro Maestro	1	1134
Кінцевий перемикач KW11	3	12
1,3-дюймовий I2C OLED-дисплей	1	170
Цифрова клавіатура 4x4	1	111
Мотор-шпиндель LD42WS-250W	1	2360
Контролер LDC JUYI JYQD-V7.3E2	1	755
Датчик рівня рідини ХКС-Y25-V	1	400
Насос-помпа RS-360SH	1	217
Тензодатчик виробництва EVT	1	45
АЦП HX711	1	22
Блок живлення XDR-240E-24	1	2242
DC-DC перетворювач моделі LM2596	1	35

Отже, розрахувавши собівартість електроніки нашого приладу, ми отримали 10 309 грн вартості. Враховуючи рівень автоматизації і всі додаткові функції які має наш прилад, навіть з урахуванням витрат на створення корпусу, його вартість дуже сильно вирізнятиме наш прилад з усіх наявних на ринку моделей, що дозволить конкурувати з іншими компаніями за даний ринок.

3.3. Реалізація керування

При розробці нашого приладу, акцент ставився на простоті використання навіть не підготовленим працівником, для цього з метою спрощення управління основна частина роботи була переведена в автоматичний режим, роль оператора буде полягати у встановленні заготовки в спеціальний паз, вибору необхідних даних для свердління і доливанню/зливанню охолоджувальної рідини при її використанні, якщо вона використовується. Розглянемо всі необхідні для розуміння роботи функції управління доступні оператору.

Етап керування відбувається за рахунок використання клавіатури 4x4, де кожна допоміжна кнопка отримала власне призначення, а цифри використовуються для вводу значень параметрів розташування отвору, тобто розташування по осям X, Y, Z і нахил до низу на кут γ і нахил в середину на кут ρ . В цей час вся основна інформація про процес що виконується і про введені оператором дані відображається на екрані. Розглянемо розташування кнопок і їх призначення на самій клавіатурі на рис. 3.27.



Рисунок 3.31. Схема розташування функцій

Для комфорту користування всі можливі етапи роботи і виконувані функції розташовані на клавіатурі по черзі. Так першим етапом роботи є фіксація заготовки для виготовлення бінокюляру в затискачі, для цього оператор вставляє заготовку в виямку, після чого натискає літеру «А» на клавіатурі, система самостійно надійно зафіксує лінзу. Наступним і основним кроком є встановлення необхідних параметрів отвору, що можна зробити після натискання літери «В». Потрібно зазначити, що система вводу даних не працює до моменту поки не буде зафіксована заготовка. Після спрацювання затискання, по черзі, почнуть з'являтися повідомлення про необхідність вводу значень параметрів таких як: координата по X; координата по Y; кут нахилу α ; кут нахилу β . Всі ці дані потрібно буде підтверджувати перед переходом до наступного параметру, натисканням кнопки «*», при необхідності скасування значення якогось параметру через помилку вводу, оператор повинен натиснути кнопку із знаком «#». При вводі самих даних, будуть використовуватись клавіші з цифрами. Наступним кроком буде ввімкнення системи подачі води, дана функція працює при натисканні літери «С», оператор в залежності від необхідних умов свердління може вмикати і вимикати подачу рідини в будь який момент, навіть до моменту затискання заготовки. При необхідності зупинити процес свердління, через можливу небезпеку, потрібно натиснути клавішу «D», що повністю зупиняє роботу всієї системи.

Висновок до розділу 3

В ході виконання третього розділу, нами було проаналізовано і обрано електричні компоненти які будуть використані при розробці приладу для автоматизації процесу обробки лінз, при виготовленні бінокюлярів. Розписано принципи роботи кожної системи в нашому приладі і обґрунтовано вибір конструкторських рішень. Було порівняно наш прилад з приладами інших компаній, для розуміння доцільності вибраних нами комерційних і технологічних рішень. Визначено вартість електричних компонентів нашого приладу.

ВИСНОВОК

В даному дипломному проекті було розроблено концепцію приладу для автоматизованої обробки лінз для виготовлення біноклярів. Даний апарат складається з трьох основних систем, а саме:

1. Системи затискання
2. Системи подачі води
3. Системи позиціювання свердлильного верстатів.

Для кожної із описаних систем було створено схеми електричні структурні і схеми електричні принципові, що допомогло зрозуміти принципи їх роботи і обрати необхідні для їх створення електричні компоненти. Шляхом аналізу наших схем була розроблена загальна система, яка включає в себе всі інші і задовольняє наші вимоги до автоматизації.

Нами було проведено аналіз ринку для визначення схожих систем, їх вартості і конструкційних рішень. В результаті цього аналізу стало зрозуміло проблеми з невеликим вибором схожих систем, при чому вартість деяких з них може перевищувати сотні тисяч. Через що стала зрозуміла наша привабливість на ринку таких систем і доцільність подальшого розвитку системи. Також в ході роботи була визначена вартість електронних компонентів нашого приладу з урахуванням їх вартості на ринку.

Було розписано принцип керування для оператора нашого приладу за допомогою клавіатури, за допомогою якої і відбувався вибір потрібних нам параметрів і режимів. Весь зворотній зв'язок з приладом відбувається за рахунок екрану.

ДЖЕРЕЛА

1. Бінокулярні. URL: https://univet.up-and-do.com/?utm_source=google&utm_medium=search2026&gad_source=1&gad_campaignid=23492234833&gbraid=0AAAAA-G-xFKUvBBD6mwcgxyGASCSwNSeI&gclid=Cj0KCQjwrZTRBhDSARIsAHidYfd0CgKclXfc_08p8KBX8qYO4ZKMLFKXyv0lNu8rZNi5ok4C_qFDaDcaAqS0EALw_wcB (дата звернення 26.04.2026)
2. Бінокулярні лупи та їх застосування. URL: <https://medicine.rayon.in.ua/news/681970-binokulyarna-lupa-ta-ii-zastosuvannya-v-stomatologii> (дата звернення 26.04.2026).
3. Різновиди бінокулярів. URL: <https://electronoff.ua/ua/binokulyary> (Дата звернення 26.04.2026).
4. Бінокулярні лупи в медицині. URL: <https://d-optic.com.ua/blog/binokuliarni-lupy-zastosuvannia-v-medytsyni-vydy-ta-perevahy/> (дата звернення 26.04.2026).
5. Бінокулярні закріплені на шоломі. URL: https://bauersmedical.com.ua/6173-slh-35x-binokulyari.html?srsId=AfmBOorLP-VEr_VIDLFrhD_ZLhnlAIs4332skANnd8m14asL5IjG1DA (дата звернення 26.04.2026).
6. Патент № US 11366342 B2. Бінокулярні лупи / Кікуко Йонезава, дата патенту 21 червня 2022 р.
7. Патент № US 0284484 A1. ROTATIONAL ALIGNMENT OF INTERCHANGEABLE LOUPES. / Thomas R . Lindsey. Oct . 4 , 2018.
8. Свердлильний прилад HDM-8000. URL: <https://ravita.ua/product/avtomatychnyi-blok-sverdlinnya-hdm-8000/> (дата звернення 16.05.2026).
9. Патент № US 7,377,729 B2. METHOD OF DRILLING HOLES IN LENSES BY MEANS OF A NUMERICALLY CONTROLLED DRILL AND APPARATUS FOR IMPLEMENTING METHOD. / Jean-Louis Negroni.
10. Ю.А. Запорожець, С.В. Плашихін, Д.М. Складанний. // Проектування систем автоматизації. 2023.
11. Патент № US 20150286076A1. METHOD FOR MANUFACTURING BNOCULAR LOUPE. /Shoichi NAKAMURA, Oct. 8, 2015

12. Патент № USOO946.5235B2. / THROUGH-THE-LENS (TTL) LOUPES WITH IMPROVED DECLINATION ANGLE. / Byung J. Chang, Oct. 11, 2016.

13.Схема підключення. URL: https://www.scribd.com/document/664088852/Ender3-Schematic?utm_source=chatgpt.com&v=0.654#page=2&bby=0.05 (дата звернення 16.05.2026).

14. Архітектура програмного забезпечення URL <https://wezom.com.ua/ua/blog/arhitektura-programnogo-zabezpechennya>

15. Кінематика 3D-принтерів. Види та особливості. URL: <https://www.3dprinter.ua/kinematyka-3d-prynteriv-vydy-ta-osoblyvosti-robymo-svijvybir/> (дата звертання: 26.04.2026).

16.Кінематика 3D-принтера: переваги і недоліки всіх варіантів. URL: <https://3dplast.biz/ua/a398991-kinematika-printera-preimuschestva.html> (дата звертання: 26.04.2026).

17. Маніпулятори. <https://wiki.polymaker.com/the-basics/3d-slicers>

18. 3D-принтер RepRap Prusa Mendel. – URL: <https://arduino diy.com/arduino-3D-printer-RepRap-Prusa-Mendel> (дата звертання 16.05.2026).

19. Поджаренко В.О., Кучерук В.Ю., Севастьянов В.М. Основи мікропроцесорної техніки. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2006. - 226 с.

20. Офіційний сайт Arduino. URL: <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino>

21. Mega2560 Плати Arduino. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Mega2560/> (дата звертання 11.05.2026).

22. Анотація до драйвера A4988. – URL: <https://reprap.org/wiki/A4988> (дата звертання 21.05.26)

23. Крокові двигуни та їх властивості. URL: <https://cncmarket.in.ua/tehnicheskiedanye/krokovy-dviguni> (дата звертання 19.05.2026).

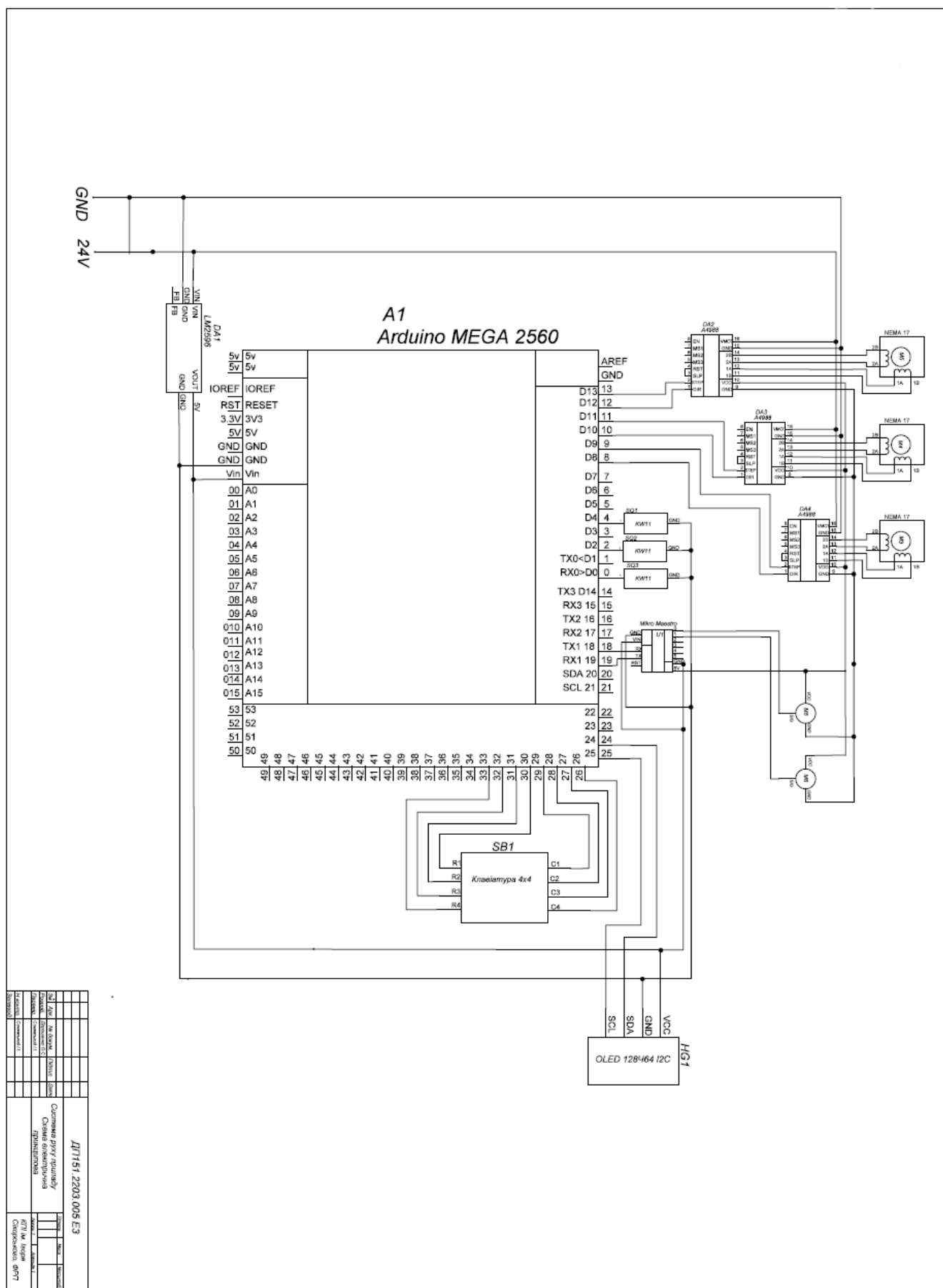
24.Серводвигуни. URL: <https://www.sew-eurodrive.ua/produkty/dvigateli/servodvigateli/servodvigateli-2.html> (дата звертання 12.05.2026).

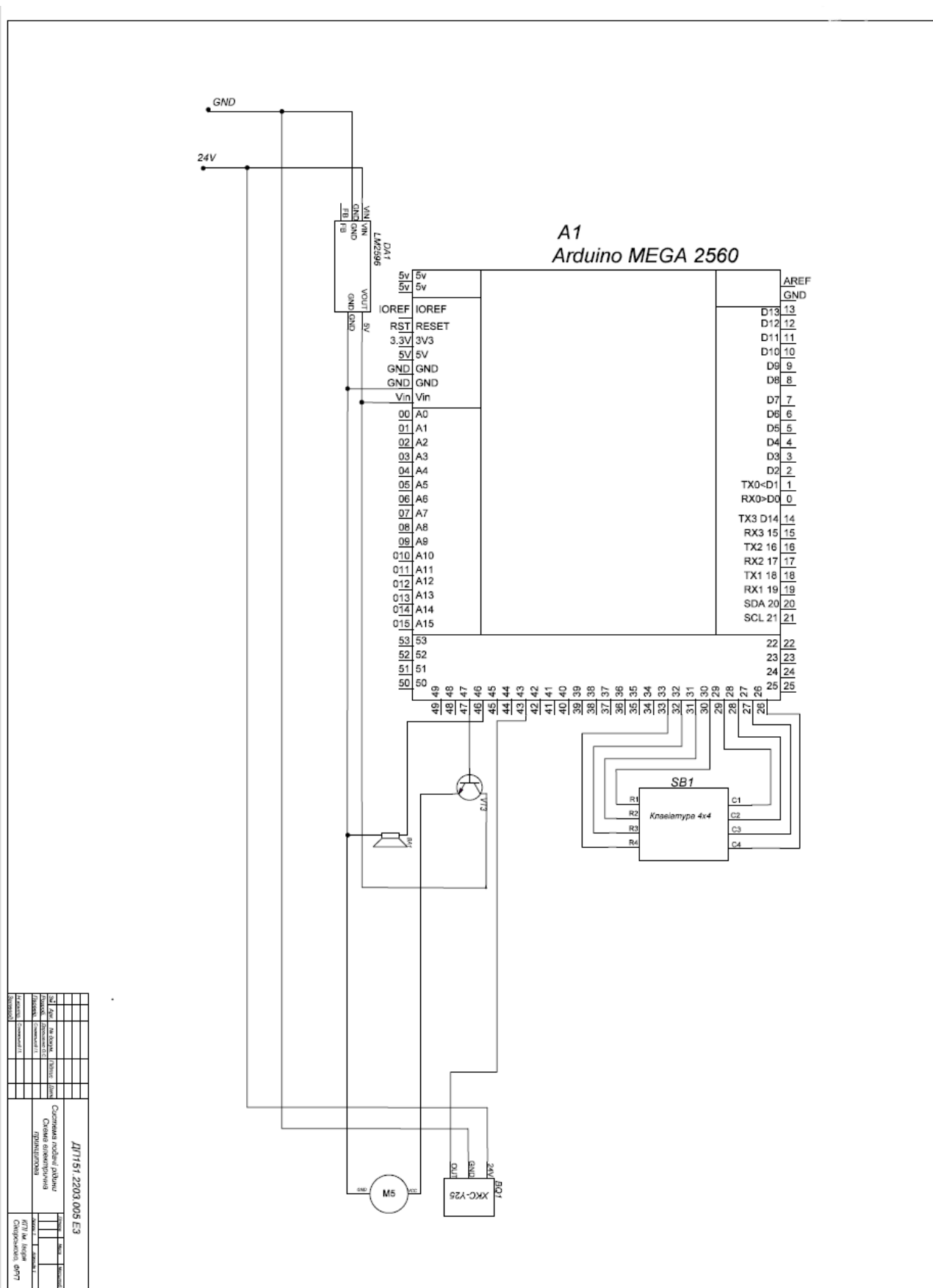
25. Контролер сервомоторів URL: https://arduino.ua/prod1403-micro-maestro-6-channel-usb-servo-controller?srsltid=AfmBOoqGIpk9bfvJ4tJrFM_ZOYdP3vrHT_ry9bVN5kZMPgI1Dzf-FCWv(дата звернення 12.05.26).
26. Кінцевий перемикач. URL: <https://www.3dprinter.ua/shop/mechanichnyj-endstop-goryzontalnyj-dlya-3d-pryntera-z-platoyu/> (дата звернення 17.05.26).
27. Дисплей. URL: https://shillehtek.com/blogs/shillehtek-product-manuals/1-3-i2c-blue-oled-display-module-4-pin-sh1106-manual?utm_source=chatgpt.com.(дата звернення 17.05.26).
28. Цифрова клавіатура. URL: https://www.aranacorp.com/en/using-a-4x4-digital-keypad-with-arduino/amp/?utm_source=chatgpt.com. (дата звернення 17.05.26).
29. Мотор-шпindel. URL: <https://www.amazon.com/Jieotwice-High-speed-Brushless-Woodworking-LD42WS-250W/dp/B09Z839CSK> (дата звернення 17.05.26).
30. Контролер. URL: https://sxemki.com/ua/p1895054972-shim-pwm-blcd.html?srsltid=AfmBOOp_vwywFhYtAQTjiJHbCTwZDG0BvMr8ZDrGFL6zVJj_YD1sJ65L (дата звернення 25.05.26).
31. Безконтактний датчик рівня рідини. URL: https://www.xkc-sensor.com/detail/1432.html?utm_source=chatgpt.com (дата звернення 25.05.26).
32. Насос-помпа RS-360SH. URL: https://arduino.ua/prod633-miniaturnyi-vodyanoi-nasos-pompa-rs-360sh?utm_source=chatgpt.com (дата звернення 25.05.26).
33. Тензодатчик. URL: <https://myproject.com.ua/ru/tenzodatchik-do-50kg-tenzometricheskij-datchik-dlja-elektronnyh-vesov-ru.html> (дата звернення 25.05.26).
34. Аналогово-цифровий перетворювач. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/hx711-module-ad%D1%81> (дата звернення 01.06.26).
35. Блок живлення. URL: <https://svetodiody.com.ua/xdr-240e-24/?srsltid=AfmBOOpCGWYcBvzzJUsHvw4mjTMt9Qr93Iv2l8no5reqPzYoRmlgKFxa> (дата звернення 01.06.26).
36. DC-DC перетворювач. URL: <https://arduino.ua/prod650-dc-dc-ponijyuchii-konverter-lm2596-z-4-5-40v-do-3-35v> (дата звернення 01.06.26).

37. Апарат фірми NIDEK моделі ME-1. URL: <https://www.nidek-intl.com/items/multifunction-edger-me-1/> (дата звернення 04.06.26).

38. Прилад компанії Link Eye Group. URL: https://linkeyegroup.com/product/dm-200-lens-drilling-machine/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення 04.06.26).

ДОДАТОК А. СИСТЕМА РУХУ СВЕРДЛИЛЬНОЇ ГОЛОВКИ. СХЕМА
ЕЛЕКТРИЧНА СТРУКТУРНА





ДОДАТОК В. СИСТЕМА ЗАТИСКАННЯ ЛІНЗИ. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА

