

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения
(наименования института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»
(наименование)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроника и робототехника
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему «Лазерно-оптический комплекс позиционирования объекта.
Система позиционирования»

Студент

М.А. Камбур

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, А.А. Шевцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

В выпускной квалификационной работе рассмотрен лазерно-оптический комплекс позиционирования объекта, а именно его система позиционирования.

Выпускная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, таблиц, рисунков, списка литературы, включая зарубежные источники, и графической части, выполненной на 6 листах формата А1.

Целью бакалаврской работы является разработка лазерно-оптического комплекса позиционирования объекта. В рамках чего рассмотрены все составляющие его элементы, а также принцип работы.

В первую очередь представлены назначение и характеристики данной установки, в целях понимания области применения и ценности изобретения, которое направлено на увеличение коэффициента точности работы станка, на котором установлен комплекс, за счет компенсации погрешности.

Далее подробно описаны все составляющие модули и устройства лазерно-оптического комплекса, его структура, примерный дизайн внешнего вида. Рассчитана жесткость резьбовых соединений на стыках платформы составного модуля. Представлены виды и характеристики приборов, осуществляющих питание и правильную работу установки с точки зрения технической части.

Актуальность работы заключается в автоматизации настройки числовых программно-управляемых станков, что поможет выполнять их работу более точно, время от времени устраняя возникающие в механической части станка погрешности координат.

Пояснительная записка выполнена на 50 листах, включает в себя 8 таблиц, 27 рисунков. Графическая часть выполнена на 6 чертежах формата А1.

Abstract

The title of the graduation work is Laser-optical object positioning system.

The senior thesis consists of an explanatory note on 50 pages, introduction, five parts, a conclusion, 8 tables, 27 figures, the list of references including foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The aim of the work is to develop a laser-optical complex for object positioning.

The graduation project touches upon the problem of automating the setting of numerical program-controlled machines, which will help to carry out their work more accurately, eliminating coordinate errors arising in the mechanical part of the machine.

We first discuss the purpose and characteristics of this installation. It is aimed at increasing the accuracy of the tool where the complex is installed, by compensating the error.

The readers' attention is also drawn to all the components of the modules and devices of the laser-optical complex, its structure, and an approximate design of the layout. Next, the calculation of threaded connections at the joints of the platform of a composite module is calculated. We also study the types and characteristics of the power supply devices and present the correct operation of the installation from a technical point of view.

The work is of interest for wide circle of readers.

Содержание

Введение.....	5
1. Актуальность и обзор аналогов	6
2. Назначение и область применения.....	8
3. Описание лазерно-оптического комплекса позиционирования объекта	9
3.1 Технические характеристики.....	9
3.2 Описание установки	11
3.3 Описание устройства съема объема информации о погрешностях координат	15
3.3.1 Описание шпиндельного модуля	16
Способы установки излучателя.....	21
3.3.2 Описание настольного модуля	23
Расчёты резьбовых соединений платформы и жёсткости затянутых стыков	29
4. Описание устройства обработки информации и питаний	36
Устройство обработки информации и питания.	40
5. Разработка экспериментального стенда лазерно-оптического комплекса....	42
Состав и компоненты экспериментальной модели лазерно-оптического комплекса позиционирования объекта.	42
Заключение	49
Список используемых источников.....	50

Введение

Точность работы порой является ключевым параметром того или иного устройства. Чем меньше погрешность, тем выше ценность и стоимость электротехнического прибора. Поэтому неудивителен тот факт, что разрабатывается все больше и больше способов увеличить четкость и точность любого исполняющего устройства с наименьшей затратой средств. Без использования дорогостоящего оборудования.

Одной из самых важных отраслей, где важна точность, является производство. Если попасть в производственный цех какого-либо завода или предприятия, то велика вероятность обнаружить там станок, оборудованный ЧПУ (числовым программным управлением). Такие станки очень ускоряют производство за счет автоматизации. Но тем не менее, даже у самых новых моделей не исключен шанс создания бракованного изделия.

Причиной брака может стать как неправильная размерность заготовки, так и погрешность работы станка. Если в случае с заготовкой, неподходящей для обработки, технологии бессильны, то погрешность обработки потенциально исправной детали можно устранить.

В рамках данной работы представлен комплекс позиционирования объекта. Этот комплекс предназначен для модульной модернизации фрезерного координатно-расточного станка с числовым программным управлением.

Благодаря технике компенсации погрешностей возможно устранить большинство ошибочных действий, совершаемых подвижной частью станка. Данный комплекс состоит из нескольких модулей, устанавливаемых на шпиндель и стол в рабочей области оборудования.

Целью бакалаврской работы является разработка проекта механической части лазерно-оптического комплекса позиционирования объекта.

1. Актуальность и обзор аналогов

Позиционирование объекта – это основа автоматизации как науки. Ведь только зная где находится объект с ним можно производить дальнейшие операции. В связи с развитием автоматизации разработано множество разнообразных методов позиционирования с различным уровнем точности. И почти все они до сих пор применяются в нашей повседневной жизни. Ведь цели позиционирования тоже бывают разные. Начиная от обнаружения наличия объекта и до точного его местоположения в пространстве, вплоть до миллиметров, или даже микрометров.

Самый примитивный пример позиционирования, как уже было сказано ранее, обнаружение объекта. Для этого обычно достаточно самой простой оптопары, состоящих из светодиода и фотодиода, расположенных друг напротив друга. Такая несложная система позволяет узнать, есть ли препятствие между двумя его элементами. Принцип работы оптопары достаточно элементарен (рисунок 1.1). Светодиод излучает свет, который в свою очередь принимает фотодиод. Если это так, то на контроллер поступает соответствующий сигнал – объект отсутствует. Если же фотоприемник перестает получать достаточное количество света, то это сигнализирует о том, что между оптроном находится какой-либо объект.

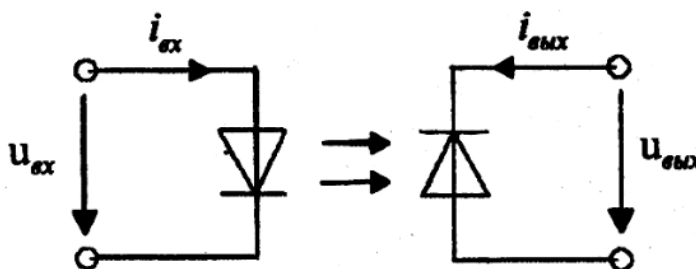


Рисунок 1.1 – Принцип работы оптопары

Для более точного позиционирования используют лазер и фоторезистор. Принцип работы тот же, но за счет того, что у лазера сфокусированный луч, который направлен на точку, растет и точность позиционирования. Такой метод используют, например, на закрытой конвейерной ленте для учета, счета и позиционирования каких-либо предметов. Также, при использовании мощного лазера, такая система применяется при автоматической наводке.

Достаточно аналогичный подход «источник – приемник» использует система позиционирования в реальном времени, основанном на ультразвуковых датчиках. На объект помещают источник ультразвуковых волн, а помещение оснащают приемниками. Точность этого метода достигает 3-5 см.

Также, в двадцать первом веке введены в активную эксплуатацию беспроводные методы позиционирования (рисунок 1.2). Не беря во внимание глобальные спутниковые системы, перейдем сразу к более точным способам навигации.

К примеру, wi-fi позиционирование, которое основано на измерении по уровню сигнала. Но такой путь достигает точности с погрешностью в несколько метров. Этот же принцип использует позиционирование на Bluetooth-передатчиках. Но, к сожалению, ни один из известных беспроводных методов позиционирования не может достичь нужной для этого проекта уровня точности.

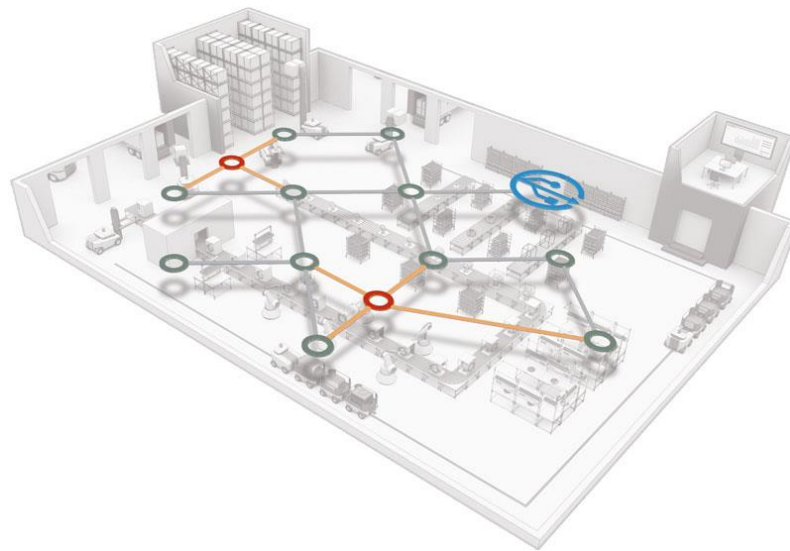


Рисунок 1.2 – Визуализация беспроводной системы позиционирования в режиме реального времени.

2. Назначение и область применения

Техническая часть станка в результате эксплуатации может со временем воспроизводить свои действия с отклонением от заданного условия. Для устранения погрешности нужно вмешательство специалиста, который сможет провести качественную калибровку оборудования. При этом наладка оборудования происходит достаточно непростым образом, в ходе которой может быть использовано и даже испорчено количество заготовок. Для начала производится обработка детали, производятся замеры ее обработанных областей, после чего задаются новые значения с учетом погрешности объекта. Далее проводится повторная обработка. Такой алгоритм проводится вплоть до момента, пока деталь не получится достаточно близка к нужным параметрам и будет готова к эксплуатации.

Лазерно-оптический комплекс позиционирования объекта, именуемый в дальнейшем ЛОКПО, предназначен для устранения возникающей погрешности при обработке на числовых программно-управляемых станках со статично установленным столом при помощи периодической метрологической проверки станка. Аттестация производится на холостом ходу, что поможет предотвратить некачественную обработку и бесполезный перевод

заготовленных материалов. В ходе проверки создается таблица с координатами точек, по которым происходит процесс обработки, после чего сверяется с заданными координатами, благодаря которой юстировка оборудования намного упрощается.

3. Описание лазерно-оптического комплекса позиционирования объекта

3.1 Технические характеристики

Лазерно-оптический комплекс может быть модификацией для большинства станков с числовым программным. К примеру, к координатно-расточному станку 24К40 СФ4 (Рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 - Общий вид координатно-расточного станка 24К40СФ4

Технические характеристики к такой модели будут следующими.

Таблица 1 – Технические характеристики ЛОКПО

Наименование характеристики	Значение	Единица измерения
Объем рабочего пространства, в котором производится измерения	Для станка 24К40 СФ4 400x800x500	Миллиметры
	Для настольного модуля максимального размера 1000x1600x500	Миллиметры

Параметр точности измерения координат и их погрешности	0,5	Микрометры
Количество точек контроля	По осям OX и OY для каждой составной части настольного модуля - 5	-
	По оси OZ лимит отсутствует	

3.2 Описание установки

В состав лазерно-оптического комплекса позиционирования объекта входят:

- устройство съема информации о погрешностях координат;
- устройство хранения и вывода поправок координат на базе ARDUINO и персонального компьютера (ПК).

В процессе разработки был создан концепт-арт внешнего вида ЛОКПО, установленного на координатно-расточном станке 24К40 СФ4 (Рисунок 3.2).

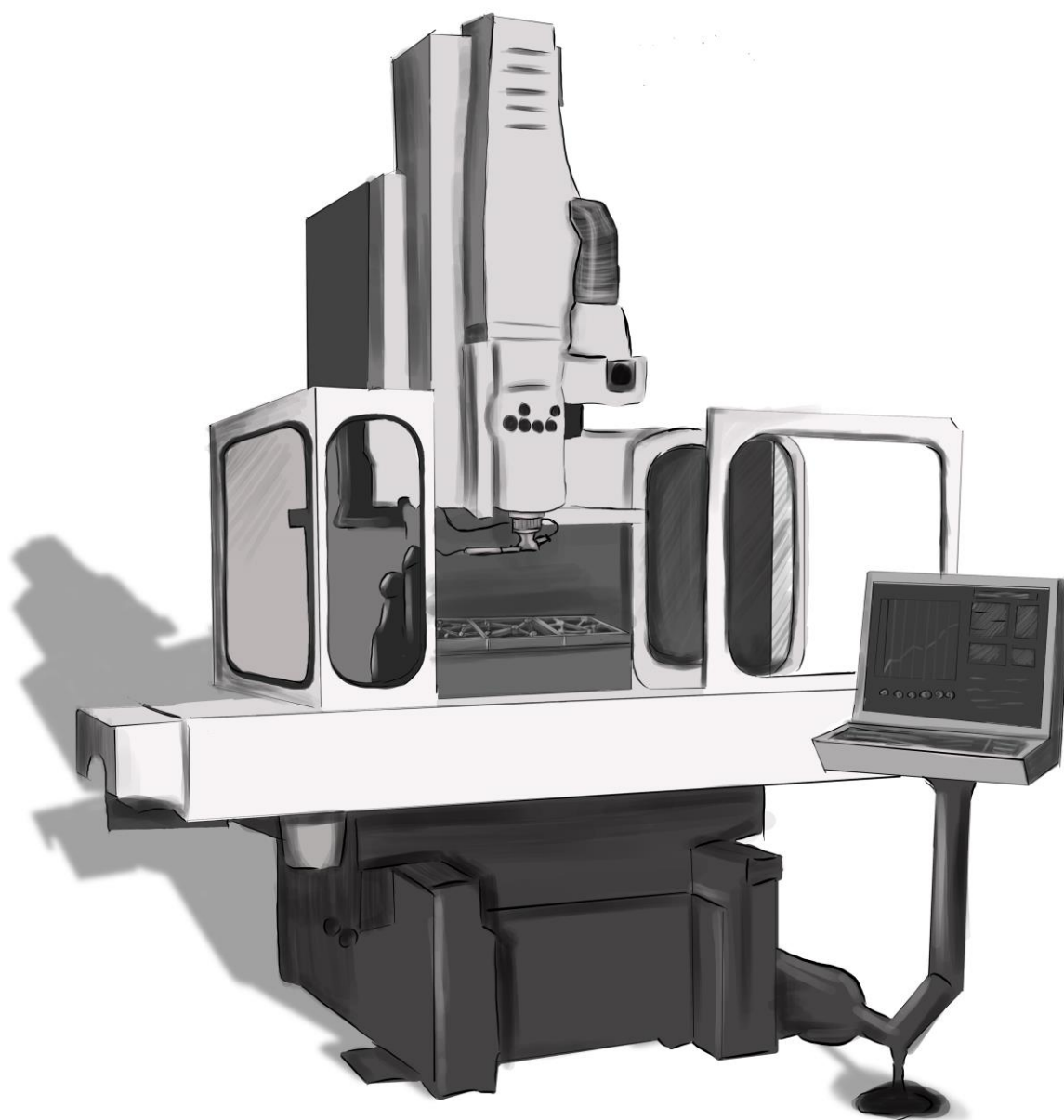


Рисунок 3.2 - Авторский концепт-арт координатно-расточного станка, модифицированного лазерно-оптическим комплексом позиционирования объекта.

Концепт-Арт был создан мной при помощи особого устройства ввода - графического планшета UGEE m708, в программной среде «Adobe Photoshop 2020».

Структурная схема лазерно-оптического комплекса представлена на рисунке 3.3.

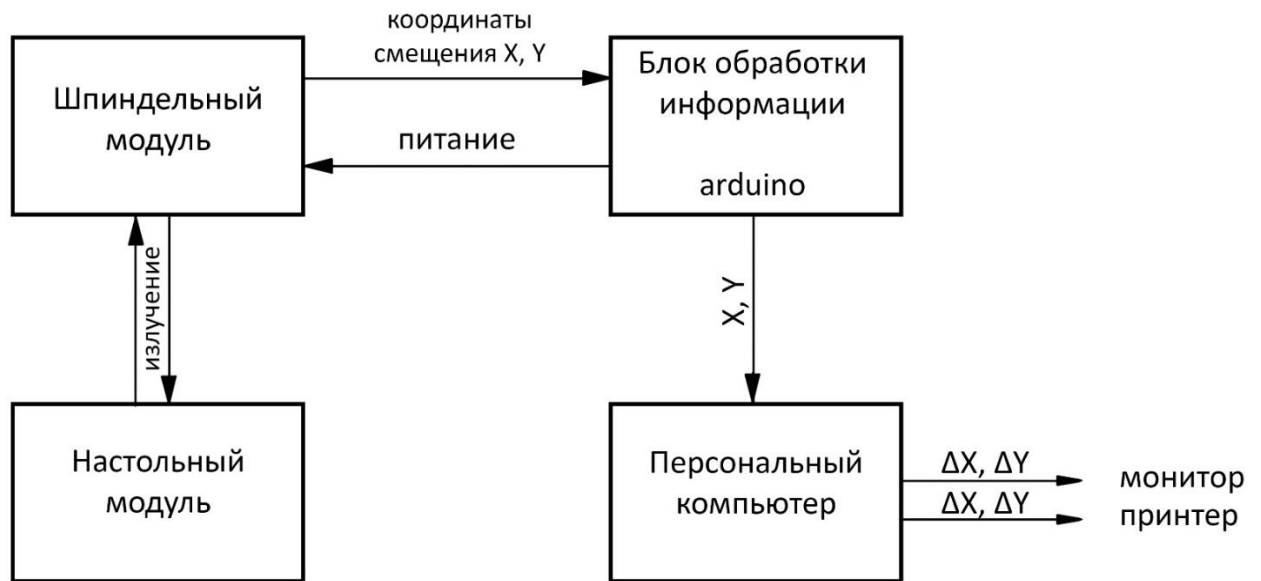


Рисунок 3.3 – Структурная схема разрабатываемого устройства (ЛОКПО)

Излучение лазерного модуля S-2S (рисунок 3.5), подключенного к плате Arduino, отражаясь от трипель-призмы настольного модуля, попадает на двух-координатный матричный фотодиод PIN-4X4D (рисунок 3.4), который также, как и лазер, питается от платы Arduino UNO. Сигналы «И_{смещ X}» и «И_{смещ Y}», снимаемые с фотодиода, которые также являются значениями погрешности координат «X» и «Y», отправляются в блок обработки информации (плату Ардуино), который в свою очередь передает сигнал на персональный компьютер, где происходит преобразование числовых значений до получения величины реальных погрешностей «ΔX» и «ΔY», после чего информация выводится на монитор и прочие периферийные устройства (графопостроитель, принтер и т.д.) в табличной форме.



Рисунок 3.4 - Лазерный модуль S-2S

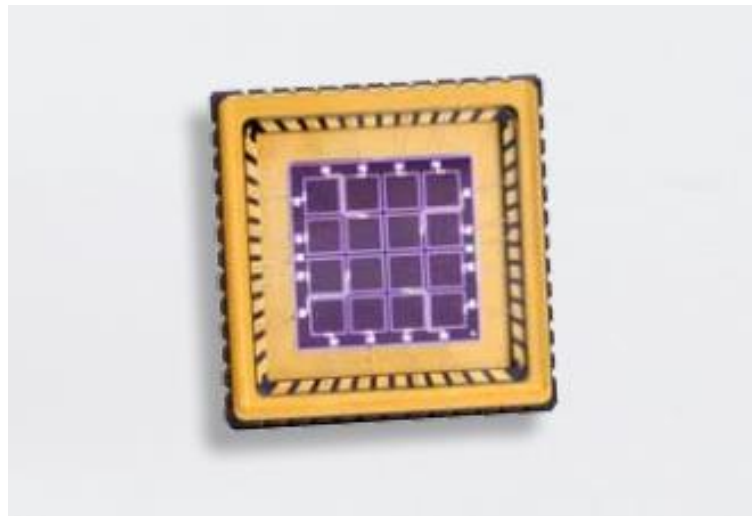


Рисунок 3.5 - Двух-координатный матричный фотодиод PIN-4X4D

Схема электрическая соединений лазерно-оптического комплекса позиционирования объекта представлена на рисунке 3.6.

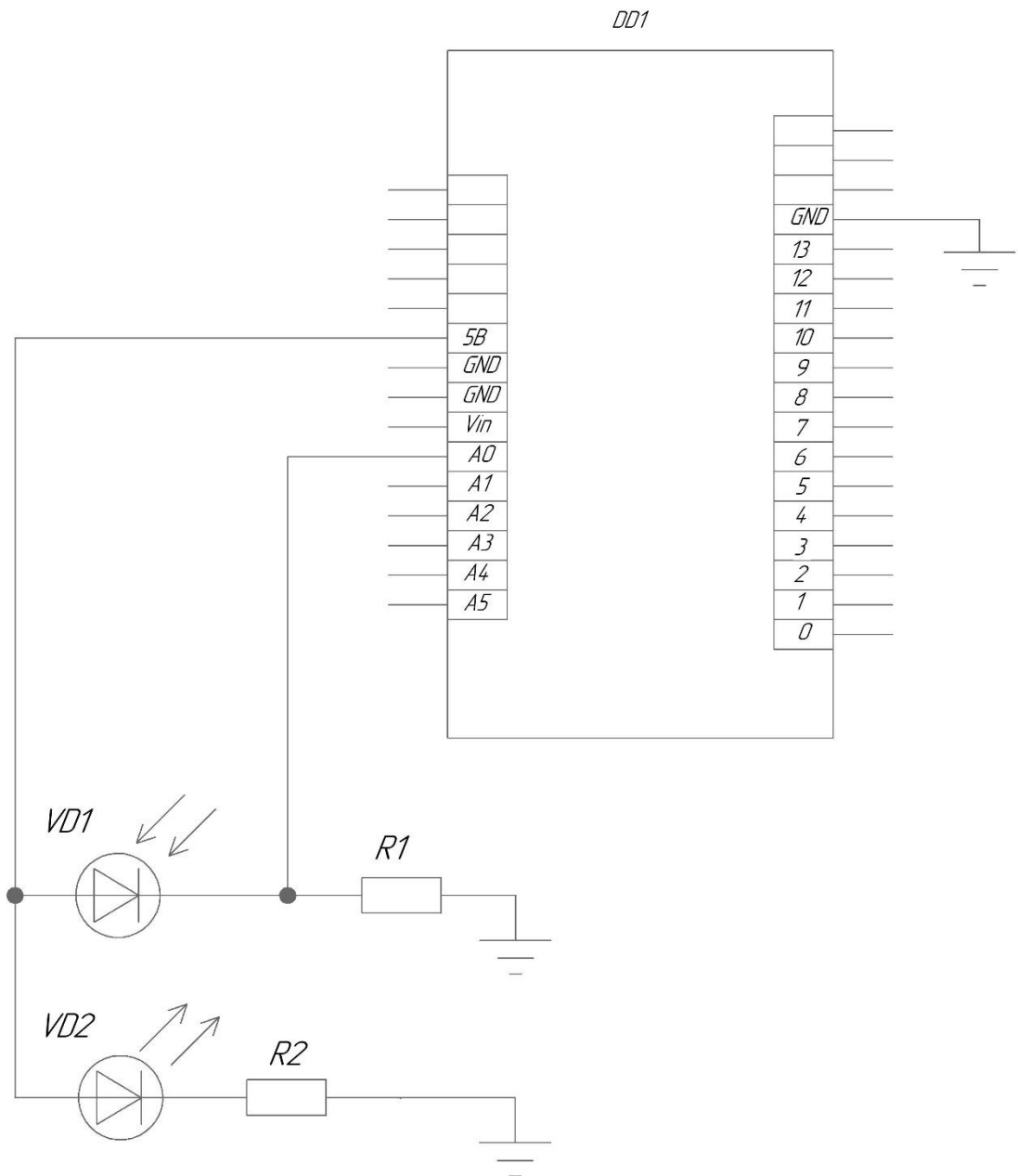


Рисунок 3.6 - Схема электрическая соединений лазерно-оптического комплекса позиционирования объекта

3.3 Описание устройства съема объема информации о погрешностях координат

Устройство съема информации выполняет важную функцию, поэтому для достижения точности необходимо подобрать качественные составляющие.

Устройство съема информации о погрешностях координат является составной частью системы автоматической компенсации погрешностей. Оно предназначено для периодического выявления отклонений координат рабочем пространстве высокоточных прецизионных и многоцелевых станков, имеющих вертикальную компоновку и неповоротный стол.

Предполагается также использовать это устройство при исследованиях точности обработки некоторых деталей.

В состав устройства съема информации о погрешностях координат входят:

- шпиндельный модуль, устанавливаемый в штатном зажимном устройстве шпиндельного узла станка;
- настольный модуль, устанавливаемый на зеркале стола станка;
- устройство обработки информации и питания.

3.3.1 Описание шпиндельного модуля

Шпиндельный модуль предназначен для установки излучателя (лазерного модуля S-2S) и фотоприемника PIN-4X4D, расположенного фоточувствительными элементами параллельно зеркалу стола.

Примерный вид шпиндельного модуля изображен на рисунке 3.7.

Технические характеристики лазера и фотодиода представлены в таблицах 2 и 3 соответственно.

Таблица 2 – Технические характеристики лазерного модуля S-2S.

Оптическая мощность	<5мВт
Длина волны при пиковом излучении	650 ~ 660 нм
Рабочее напряжение	2,7 – 6 В
Рабочий ток	<5 мА
Рабочая температура	-20 ~ +50 °С
Ширина линии при 400 мм	0,6 – 1 мм
Смещение линии при 400 мм	± 3

Таблица 3 – Технические характеристики двухкоординатного матричного фотодиода PIN-4X4D

Активная область	Площадь (мм ²)	1,96
	Габаритные размеры (мм)	1,4 x 1,4
Фото-чувствительность при $\lambda = 632$ нм	мин	-
	тип	0,35 (А/Вт)
Диапазон длин волн	До 850 нм	
Емкость	75 пФ	

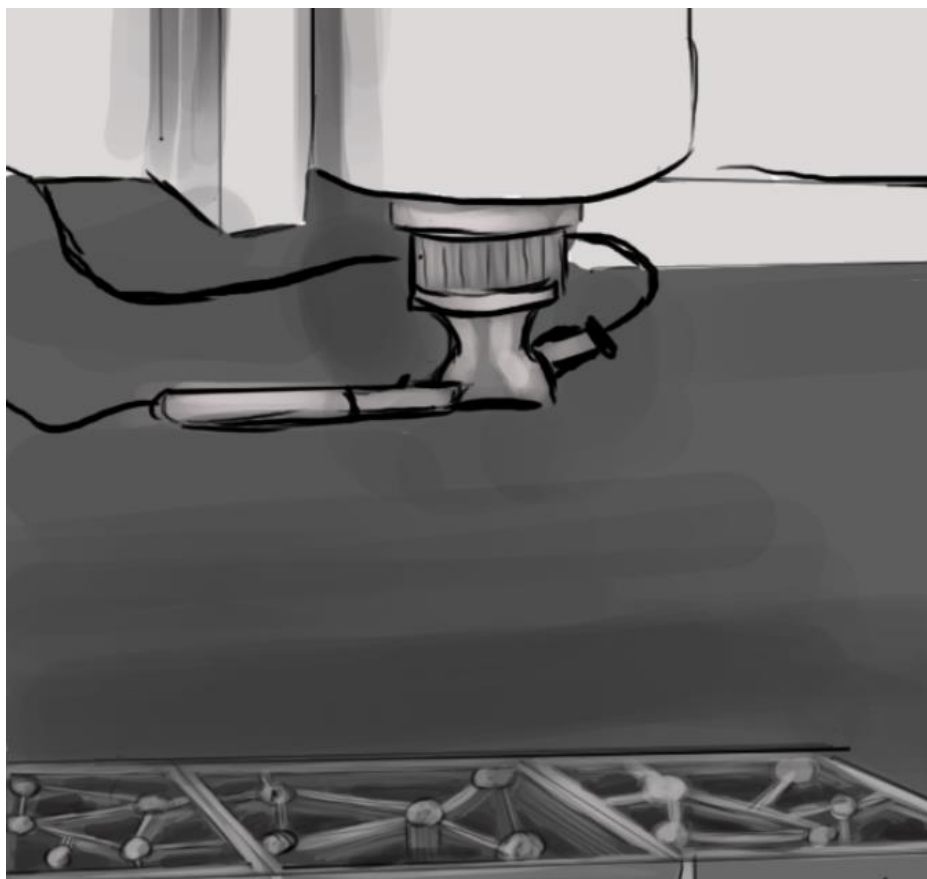


Рисунок 3.7 – Концепт-арт шпиндельного модуля

Шпиндельный модуль устанавливается в шпинделе при помощи конусной оправки (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Конусная оправка

Световой поток, излучаемый лазером параллелен, и имеет диаметр около 0,6 - 1 мм.

С помощью двухкоординатного фотоприемника, установленном в шпиндельном модуле, измеряется смещение луча, отраженного от триппель-призм, расположенных на платформе настольного модуля. Это дает возможность измерить погрешность координат в рабочем пространстве станка.

Представленное на рисунке 3.9 конструктивное исполнение шпиндельного модуля спроектировано таким образом, что методом вынесения лазера за конусную оправку можно использовать различные виды его установки.

Излучателем является полупроводниковый лазер S-2S, линия излучения которого мала, и равна примерно 0,6 мм. Выбор полупроводникового лазера обусловлен тем, что они, в отличие от газовых, не нагреваются и не создают дополнительной погрешности за счет перегрева оборудования.

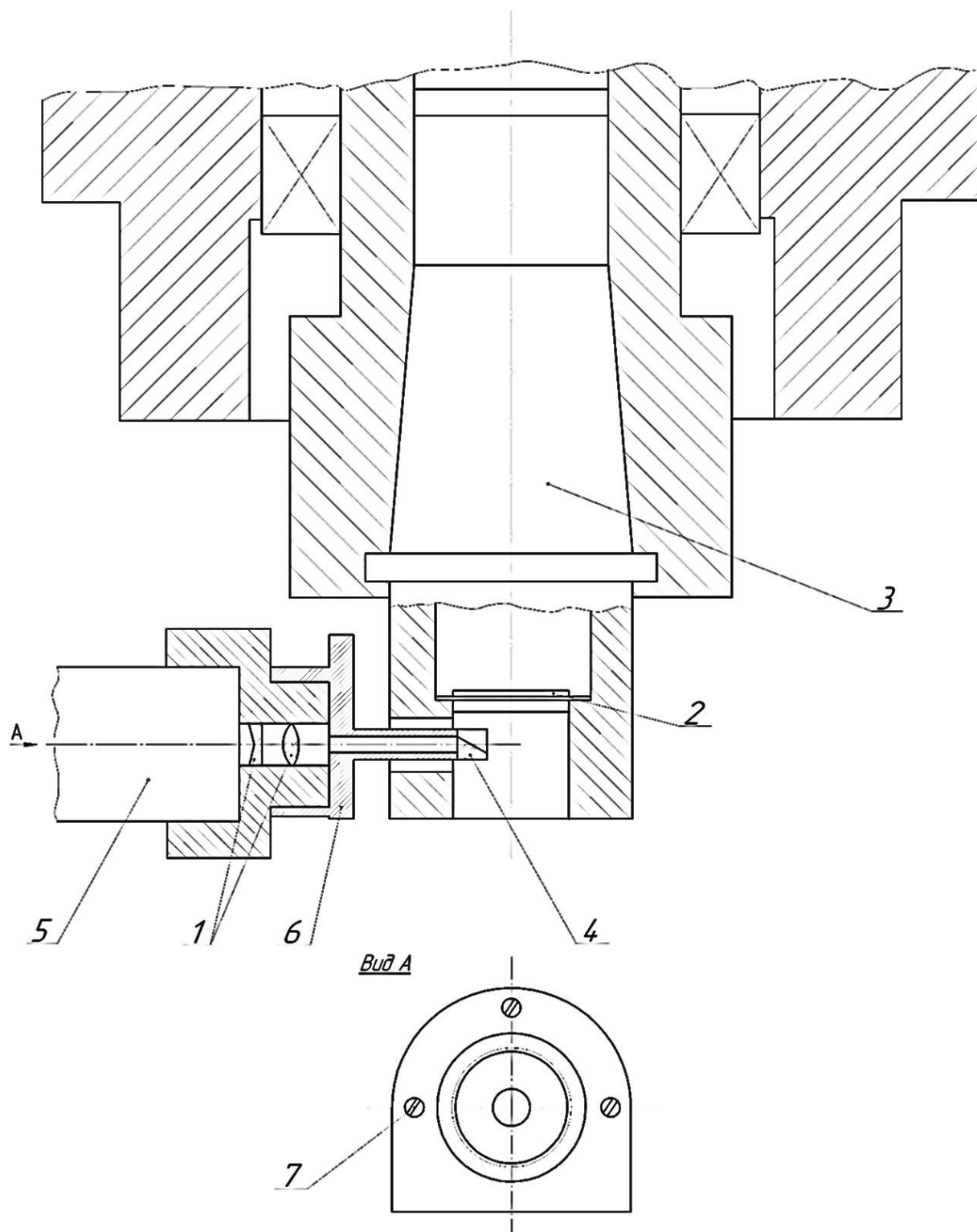


Рисунок 3.9 – Чертеж шпиндельного модуля

Ось излучателя 5 расположена перпендикулярно оси шпинделя и соответственно с ним фотоприемника 2. Плоскость фоточувствительных

элементов фотоприемника 2 расположена выше оси оптической системы 1 и излучателя 5, что дает возможность максимально приблизить луч, излучаемый лазером к оси фотоприемника 2. Это позволяет установить на платформе настольного модуля трипель-призмы сравнительно малого размера. Для поворота луча на 90 градусов используется призма 4, изменяющая направление луча на параллельное оси шпинделя и фотоприемника 2, которая устанавливается в оправке 6 с возможностью юстировки винтами 7. Для того, чтобы предотвратить вращение модуля, он закрепляется фиксатором 5, свободный конец которого крепиться к шпиндельной бабке болтом.

Для верного функционирования всего устройства, шпиндельный модуль должен соответствовать следующим требованиям:

- отклонение осей фотоприёмников и луча от параллельности на длине до 500 мм не более 0,3 мкм;
- отклонение луча на длине до 500 мм не более 0,5 мкм;
- смещение оси фотоприёмника (излучателя) от оси шпинделя не более 0,1 мкм.

Способы установки излучателя

В ходе разработки были рассмотрены несколько вариантов установки излучателя, такие как:

1. Ось излучателя и ось шпинделя совмещены. Такая раскладка позволяет получить малые габариты устройства, в котором излучатель и оптическая система расположены внутри оправки. Конструкция встроенной оптической системы состоит из наборных колец с оптическим элементом в каждой из них. Верхнее кольцо содержит излучатель. С обеих сторон перпендикулярно оси шпинделя (и излучателя) расположены фотоприемники, фоточувствительные стороны которых направлены к зеркалу стола, параллельно ему.

Данная конструкция имеет недостаток. Она нуждается во внедрении в систему, а именно в настольный модуль, уголковые отражатели, которые имеют крупные габариты, относительно комплекса. Они необходимы, так как при такой компоновке между осью лазера и фотодиодами образуется большой промежуток.

2. Ось фотоприемника параллельна оси излучателя. Данный вариант представлен на рисунке 3.10. Этот вариант безопасен от тех недостатков, что имеет предыдущий вариант, а также позволяет использовать оптическую систему, размеры которой не нужно подгонять под размер конусной оправки. Особенностью такой компоновки является то, что ось оптической системы и излучателя (1) перпендикулярна оси шпинделя, а также то, что излучатель находится выше фотоприемников, что позволяет сократить расстояние между излучением и фотоприемниками (2, 3).

Так как луч в данной системе находится параллельно зеркалу стола, его необходимо повернуть на 90° , с внедрением в конструкцию призмы (4). Фотоприемник 3 в данной конструкции является запасным.

Недостаток системы заключается в применении призмы (4), наличие которой усложняет юстировку шпиндельного модуля.

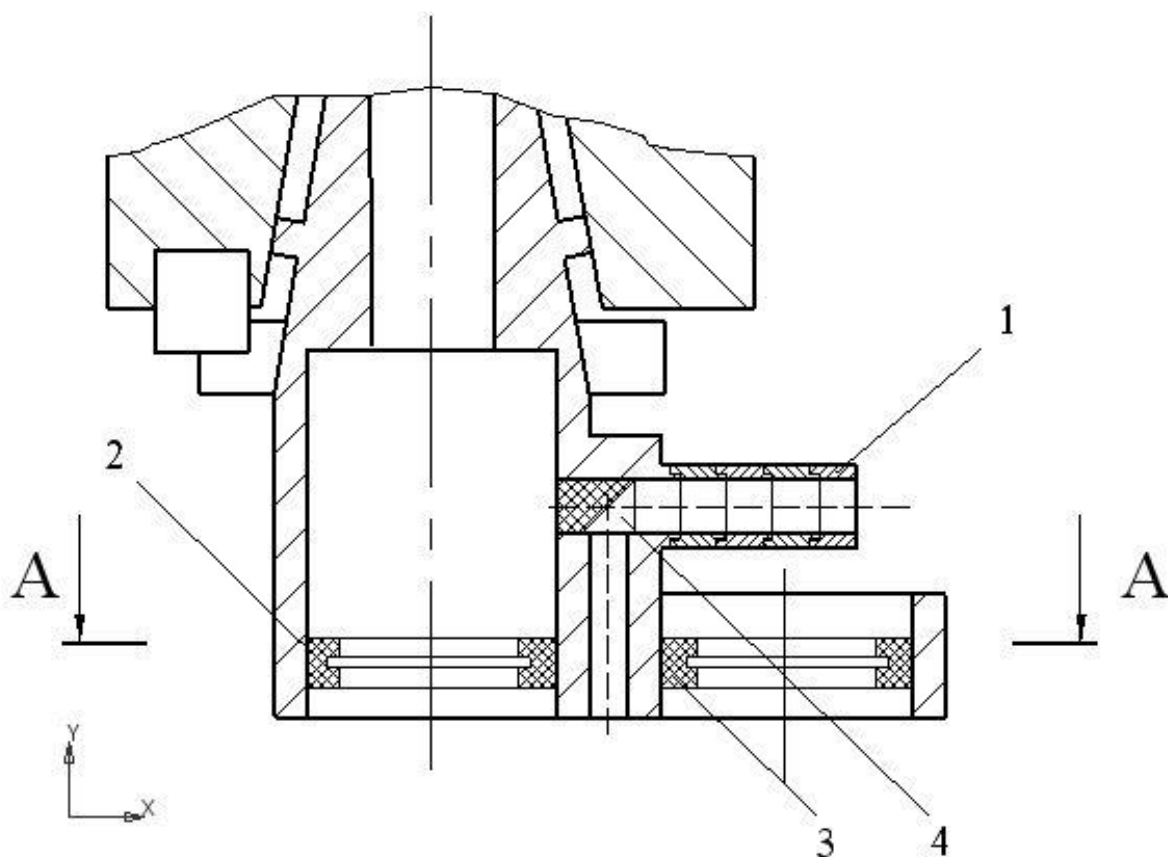


Рисунок 3.10 - Вариант с соосной установкой фотоприёмника в шпиндельном модуле

3.3.2. Описание настольного модуля

Настольный модуль – это составная часть системы для съема и оценки информации о погрешности координат в рабочей области числовых программно-управляемых (ЧПУ) станков. Конструкция представляет собой платформу с внедренной в нее системой призм, а также приводом для ручной подстройки.

Для нормального функционирования всего комплекса модуль должен соответствовать следующим требованиям:

- Конструкция должна быть высокой жёсткости.
- Вес модуля должен стремиться к минимальным показателям.

- Охватываемая площадь должна покрывать всю поверхность зеркала стола (вместе со шпиндельным модулем – всю рабочую область станка).
- Конструкция должна быть сборной, для юстировки станков с отличными друг от друга размерностями стола.
- Иметь возможность микро-регулировок для высокой точности установки модуля в отношении зеркала стола.
- Конструкция не должна оставлять механические повреждения (царапины и сколы) на зеркале в рабочей области станка.

Программно-управляемые станки по стандарту ГОСТ 20523-80 выпускаются согласно таблице размерного ряда столов (мм).

Таблица 4 – Таблица размерностей стола по государственному стандарту (мм).

250x400	400x800	1000x1600
250x500	630x1000	1250x2000
320x500	800x1250	1600x2500
320x630	1000x1000	и т.д.

Размерность столов варьируется в промежутках от 250 до 1600 мм по ширине, а по длине от 400 до 2500 мм. Для того, чтобы получить настольный модуль любого требуемого размера необходимо выбрать размеры составных элементов. Также нужно учесть тот факт, что при выборе малого размера составного элемента, потребует большее их количество для заполнения стола станка. Такая конструкция будет иметь много стыков, и чем больше стол, тем больше их будет. Модуль будет подвержен провисанию под собственным весом из-за упругих деформаций в стыках.

Учитывая характер использования разрабатываемого устройства в станках различной размерности, был проведен анализ унификации и стандартизации настольного модуля. При этом исследованы также

мероприятия по обеспечению точности параметров модуля в условиях эксплуатации. В результате этого была предложена составная (сборная) конструкция с базовым унифицированным элементом размерами 260x400 мм, содержащим 5 трипель призм.

Такой тип унифицированного элемента позволяет перекрыть различными вариантами сборки платформы стандартный ряд станков с площадью до 1000x1600 мм. Для станков базовой размерности настольный модуль составлен из трех унифицированных элементов (рисунок 3.11) и позволяет полностью охватить зеркало стола 400x800 мм.

Для сравнения различных вариантов размеров элементов модуля составим таблицу 5.

Таблица 5 – Варианты составления платформ из различных по геометрическим размерам элементов конструкции.

№ п/п	Размерный ряд столов, мм	Размеры элемента конструкции, мм					
		200x250	200x275	250x400	260x400	300x400	400x400
1	250x400	250x400	275x400	250x400	260x400	300x400	400x400
2	250x500	250x600	276x600	250x400	260x400	300x400	-
3	320x500	400x500	400x550	400x500	400x520	400x600	400x400
4	320x630	400x500	400x550	400x500	400x660	400x600	400x400
5	400x800	400x750	400x825	500x800	400x740	400x900	400x400
6	630x1000	600x1000	600x1100	750x1200	660x1060	600x1200	-
7	800x1250	800x1250	800x1375	750x1200	и т.д.	900x1200	800x1200
8	1000x1000	1000x1000	1000x1100	1000x1200	-	900x1200	-
9	1000x1600	1000x1500	1000x1650	1000x1600	-	900x1600	и т.д.
10	1250x2000	1250x2000	1370x2000	1250x2000	-	1200x2000	-
11	1600x2500	1600x2500	1650x2600	1600x2500	-	1600x2700	-

В ячейках каждого конструктивного элемента 1 в ложементы 2 установлены трипель призмы 3, закрепленные диафрагмами 6 (Рисунок 3.12) Число и расположение трипель-призм выбрано таким образом, чтобы число проекций центров отверстий диафрагм 6 (нуль триппер призмы) на каждую координатную ось было не менее 13. Трипель призмы 3'',3''', играют роль базирующих при начальной ориентации платформы на столе.

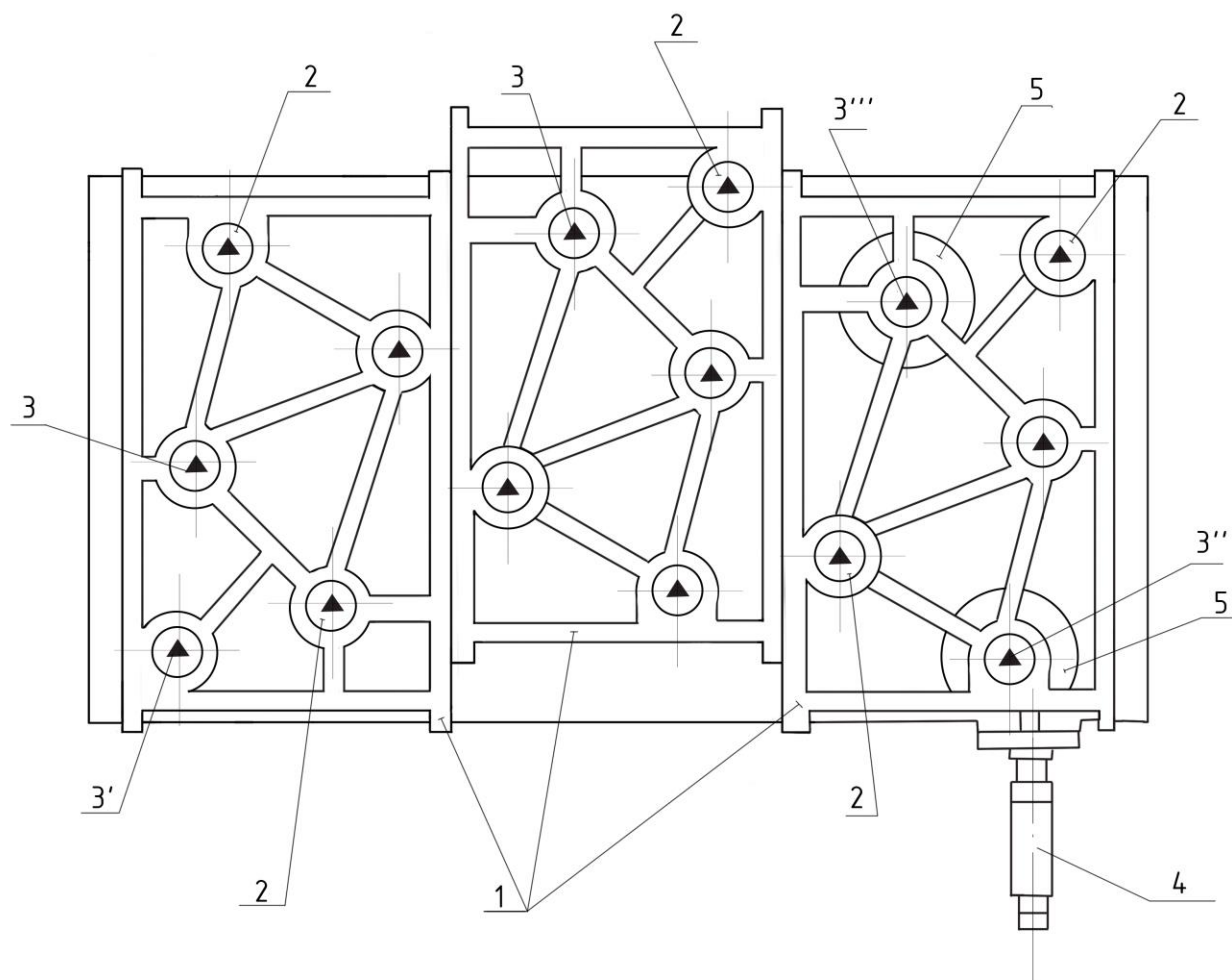


Рисунок 3.11 – Схема настольного модуля



Рисунок 3.12 – Призма и держатель

Настольный модуль снабжен ручным приводом установочных микроперемещений 4 и имеет две опоры 5, совмещённые с триппель призмами 3" и 3". Эти опоры закреплены с возможностью перемещения в плоскости стола. Каждая из опор 3' и 3" (рисунок 3.13) представляет собой опору скольжения, полусфера 1 которой перемещается по подпятнику 2, установленному на зеркале стола. Поверхность подпятника 2 полирована, что обеспечивает улучшенное скольжение. Кроме того, завинчивая или вывинчивая полусферу опоры, можно осуществлять регулировку положения платформы по высоте.

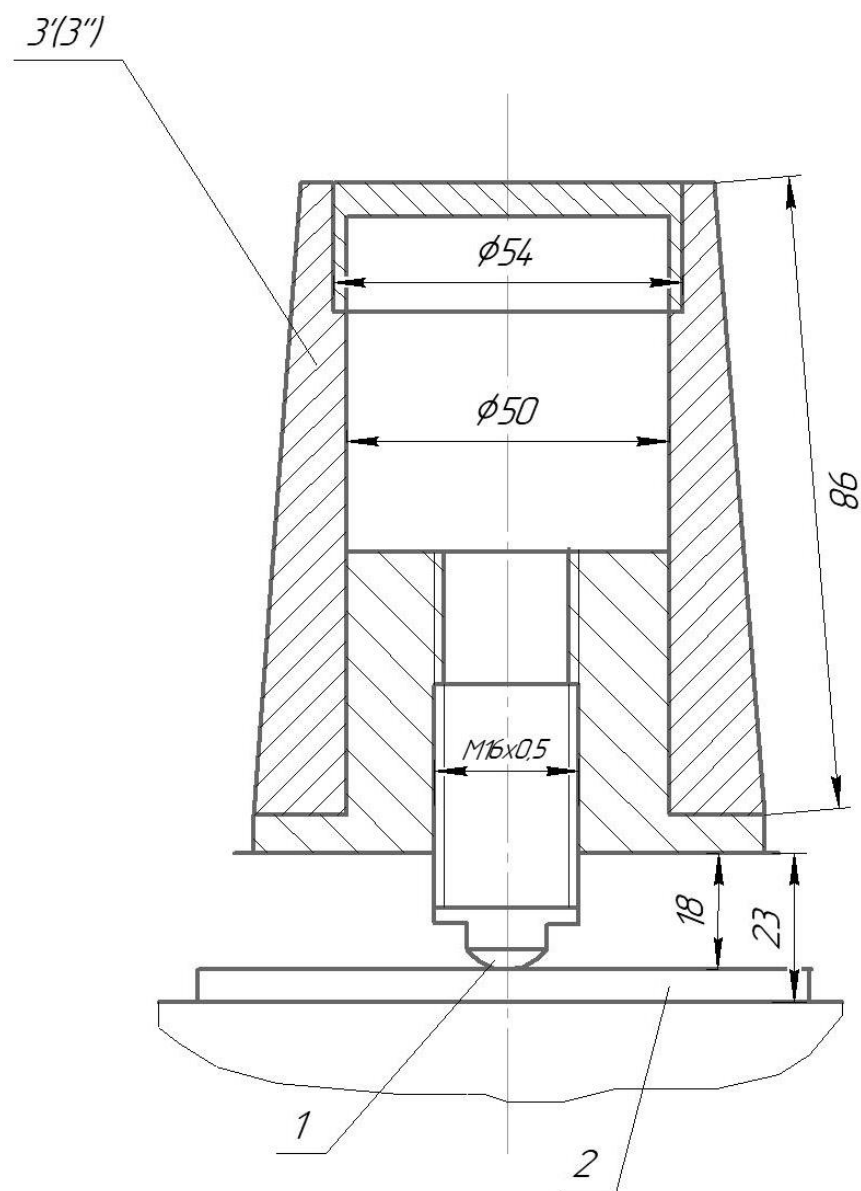


Рисунок 3.13 – Опора настольного модуля

Опора закреплена на зеркале стола неподвижно с возможностью поворота вокруг своей оси. Опора представляет собой конус с корпусом, основание которого крепится к зеркалу стола и ответную часть, принадлежащую платформе. Такая конструкция дает возможность устанавливать платформу таким образом, чтобы ее собственные оси были параллельны осям зеркала стола (системы ЧПУ станка).

Привод установочных микроперемещений состоит из основания, которое крепится к столу станка, закрепленного на основании корпуса

микрометра, винт которого толкает платформу, перемещая ее по зеркалу стола.

Расчёты резьбовых соединений платформы и жёсткости затянутых стыков

Настольный модуль устройства съема информации комплектуется составными частями. Например, при установке модуля на стол координатно-расточного станка 24К40 СФ4, размер зеркала стола которого равен 400x800 миллиметров, настольный модуль состоит из трех составных частей, соединенных шпильками между собой. Размер такой платформы равен 400x900 мм. При соединении возникают два стыка. Определенное влияние на прогиб платформы под собственным весом и сил веса креплений для призм оказывает наличие стыков. Для минимизирования последствий ставится задача рассчитать резьбовые соединения и выбрать нужный момент сборки для жестких стыков на основании параметров стыка.

Стыками высокой жёсткостью называют стыки, которые имеют нормальное давление равное 3 – 3,5 Н/мм², в то время как при 8 Н/мм² стык совсем не заметен.

Для расчета исходные данные приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Исходные данные для расчета резьбовых соединений.

Номинальная площадь стыка	22185 мм ²
Шпилька М16-6gx35.66.05 ГОСТ 22032-76	
d – наружный диаметр шпильки	16 мм
d1 – внутренний диаметр шпильки	13,835 мм
d2 – средний диаметр	14,701 мм
p – шаг резьбы	2 мм
Шайба 16.01.05 ГОСТ 11371-78	
d – внутренний диаметр шайбы	17 мм
D – наружный диаметр шайбы	30 мм
S – толщина шайбы	3 мм
Гайка М16-6Н.6.056 (S24) ГОСТ 5927-70	
p – шаг резьбы	2 мм
S – размер «под ключ»	24 мм
D – диаметр описанной окружности	26,8 мм
H – высота гайки (номинальная)	14,8 мм
Материал элемента конструкции настольного модуля	СЧ 15 ГОСТ 1412-85
Модуль упругости первого рода чугуна	$E_{\text{чуг}} = 0,8 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2.$
Материал шпильки	Сталь 35 ГОСТ 1050-2013.
Модуль упругости первого рода стали	$E_{\text{стп}} = 2,0 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2.$

Чертеж выбранной для монтажа шпильки изображен на рисунке 3.14
Внешний вид шпильки представлен на рисунке 3.15.

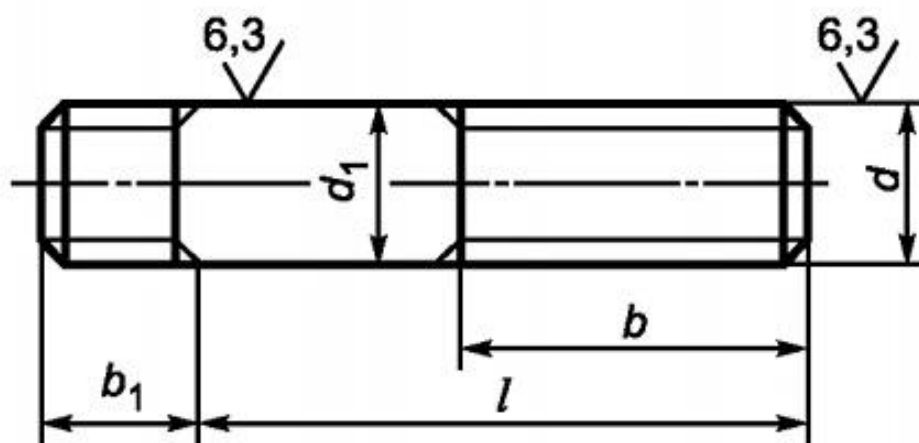


Рисунок 3.14 - ГОСТ 22036-76 Шпилька резьбовая.



Рисунок 3.15 - Шпилька М16-6гх.

Для того, чтобы определить степень податливости соединений, шпилек и фланцев, рассмотрим распространение давления вглубь фланца.

Известно, что только конус, берущий начало в опорной поверхности шайбы подвергается деформации. Диаметр наименьшего основания конуса приравниваем к наружному диаметру шайбы. Ввод конуса влечет изменение действительных напряжений на равномерно распределенные напряжения по всей площади конуса.

Нужно рассчитать запас прочности соединения. Условие прочности выглядит следующим образом:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{Q}{F_{\text{ср}}} \leq [\tau_{\text{ср}}],$$

где: $\tau_{\text{ср}}$, $[\tau_{\text{ср}}]$ – расчётное и допустимое напряжения среза; $F_{\text{ср}}$ - площадь среза; Q – усилие, развиваемое шпилькой.

Значения допустимых напряжений рассчитываются методом деления пределов прочности на её запас.

$$[\tau_{\text{ср}}] = \frac{\tau_{\text{ср}}}{n_i},$$

где: $n_i = 3,0 \dots 4,0$ – коэффициент запаса прочности рекомендуемый для серых чугунов.

Предел прочности резьбы на срез связан с величиной предела прочности при растяжении характеризуется отношением $\tau_{\text{ср}}: \sigma_{\text{в}} = 0,75 \dots 1,8$.

Для материала фланца СЧ 15 $\sigma_{\text{в}} = 150 \text{ Н/мм}^2$.

$$\tau_{\text{ср}}: \sigma_{\text{в}} = 1,3 \dots 1,8$$

При $\tau_{\text{ср}}: \sigma_{\text{в}} = 1,3$ и $n_i = 3$ определим

$$\tau_{\text{ср}} = 1,3 \times 150 = 195 \text{ Н/мм}^2$$

В таком случае допустимое напряжение на срез для резьбы из чугуна будет

$$[\tau_{\text{ср}}] = \frac{\tau_{\text{ср}}}{3} = \frac{195}{3} = 65 \text{ Н/мм}^2$$

При $\tau_{\text{ср}}: \sigma_{\text{в}} = 1,8$ и $n_i = 3$ определим

$$\tau_{\text{ср}} = 1,8 \times 150 = 270 \text{ Н/мм}^2.$$

Тогда

$$[\tau_{\text{ср}}] = \frac{\tau_{\text{ср}}}{3} = \frac{270}{3} = 90 \text{ Н/мм}^2$$

Определим момент трения в резьбовом соединении. При этом угол подъёма винтовой линии

$$\Psi = \arctg \frac{P}{\pi d_2} = \arctg \frac{2,0}{3,14 \times 14,701} = \arctg 0,04319 = 2^\circ 30'$$

Коэффициент трения в резьбе

$$\mu' = \frac{\mu}{\cos \alpha/2} = \frac{0,1}{0,8616} = 0,116$$

где $\mu = 0,1$ – коэффициент трения фиксированной пары 2, 3

$\alpha = 60^\circ$ - угол профиля метрической резьбы.

Угол трения

$$\rho' = \arctg \mu' = \arctg 0,116 = 6^\circ 37' 10''$$

Момент трения в резьбе (1)

$$M_{\text{тр}} = Q_{\text{зат}} \frac{d_2}{2} \text{tg}(\varphi + \rho') \quad (1)$$

где: $Q_{\text{зат}}$ – усиление затяжки резьбового соединения:

$$\begin{aligned} M_{\text{тр}} &= Q_{\text{зат}} \times \frac{14,701}{2} \text{tg}(2^\circ 30' + 6^\circ 37' 10'') = Q_{\text{зат}} \times 7,3505 \text{tg } 9^\circ 7' 10'' \\ &= Q_{\text{зат}} \times 1,179 \end{aligned}$$

Определим момент завинчивания на динамометрическом ключе.

1. Усилие затяжки шпильки

$$Q_{\text{зат}} = [\tau_{\text{ср}}] \pi d \frac{H_1}{2} = 65 \times 3,14 \times 16 \times \frac{20}{2} = 32\,656 \text{ Н}$$

где H_1 – длина ввинчиваемой части шпильки в тело элемента конструкции модуля.

2. Момент трения в резьбе определим из уравнения (1)

$$\begin{aligned} M_{\text{р}} &= Q_{\text{зат}} \frac{d_2}{2} \text{tg}(\varphi + \rho') = 32\,656 \times \frac{14,701}{2} \times \text{tg}(2^\circ 30' + 6^\circ 37' 10'') \\ &= 38,526 \text{ Н} \times \text{м} \end{aligned}$$

3. Момент трения на опорной поверхности гайки (2)

$$M_{\text{тр}} = Q_{\text{зат}} \times f \frac{1,4d}{2} \quad (2)$$

где f – коэффициент трения. В нашем случае $f = 0,1$, т.к. гайки, шайбы и шпильки кадмированы.

$$M_{\text{тр}} = 32\,656 \times 0,1 \times \frac{1,4 \times 1,6}{2} = 36,5747 \text{ Н} \times \text{м}$$

4. Момент завинчивания

$$M_{\text{зав}} = M_{\text{р}} + M_{\text{тр}} = 38,526 + 36,5747 = 75,10078 \text{ Н} \times \text{м}$$

Определим максимальное значение среднего давления в стыке.

1. Площадь опорной поверхности

$$F = F_1 - 8F_2$$

где $F_1 = b_1 h_1 = 400 \times 80 = 32000 \text{ мм}^2$ – номинальная площадь поверхности стыка без учёта отверстий под шпильки;

$$F_2 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \times 17^2}{4} = 226,86 \text{ мм}^2$$

$$F = 32000 - 8 \times 226,86 = 3200 - 1814,88 = 30\,185 \text{ мм}^2$$

2. Определим суммарное осевое усиление, развиваемое всеми шпильками.

$$Q_\Sigma = 8Q_{\text{зат}} = 8 \times 32\,656 = 201\,248 \text{ Н}$$

3. Определим максимальное значение среднего давления

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{Q_\Sigma}{F} = \frac{201\,248}{30\,185} = 6,7 \text{ Н/мм}^2$$

Вывод по разделу

Подводя итоги данного расчета, можно сделать вывод, что подобранные элементы обеспечивают максимальное среднее давление в стыке равное $6,7 \text{ Н/мм}^2$, что означает, что жесткость стыка находится в диапазоне жестких давлений. Также, это давление достигается путем завинчивания гаек на шпильках динамометрическим ключам с моментом $75,10078 \text{ Н}\times\text{м}$.

4. Описание устройства обработки информации и питания

В состав устройства обработки информации и питания входят:

- плата ARDUINO «UNO»;
- соединительные провода;
- персональный компьютер, снабженный необходимым программным обеспечением.

Блок обработки информации предназначен для измерения напряжения на двухпозиционном фотоприемнике и выдачи результата измерений в двоично-десятичном коде.

Сигнал с фотоприемника поступает на вход платы Arduino Uno (Рисунок 4.1), откуда через USB порт передает информацию на персональный компьютер, где преобразовывается для определения погрешности.

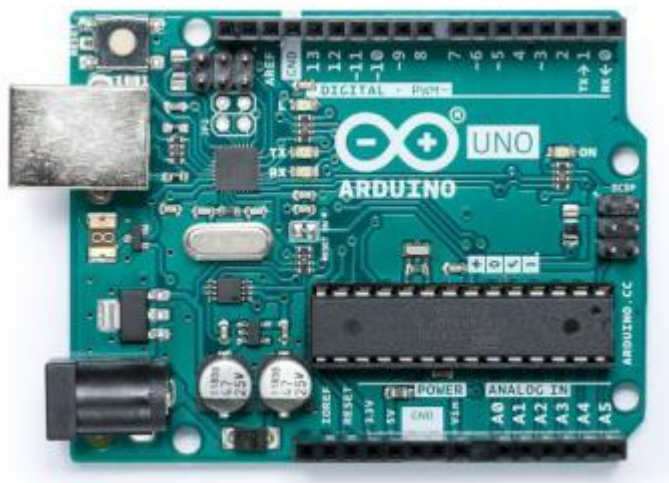


Рисунок 4.1 – Контроллер Arduino Uno

Arduino Uno – это контроллер, построенный на 8-битном микроконтроллере ATmega328 (рисунок 4.2). Данная модель снабжена четырнадцатью цифровыми входами/выходами, шестью аналоговыми входами, кварцевыми генераторами частотой 16 МГц. Также он имеет разъем

USB для совместной работы с персональным компьютером, силовой разъем, разъем ICSP, а также кнопку для перезагрузки. Для того, чтобы начать работу, необходимо подключить плату к персональному компьютеру с помощью USB кабеля, либо же запитать её с помощью адаптера или батареи. Более развернутая информация о технических характеристиках контроллера обозначены в таблице 7.

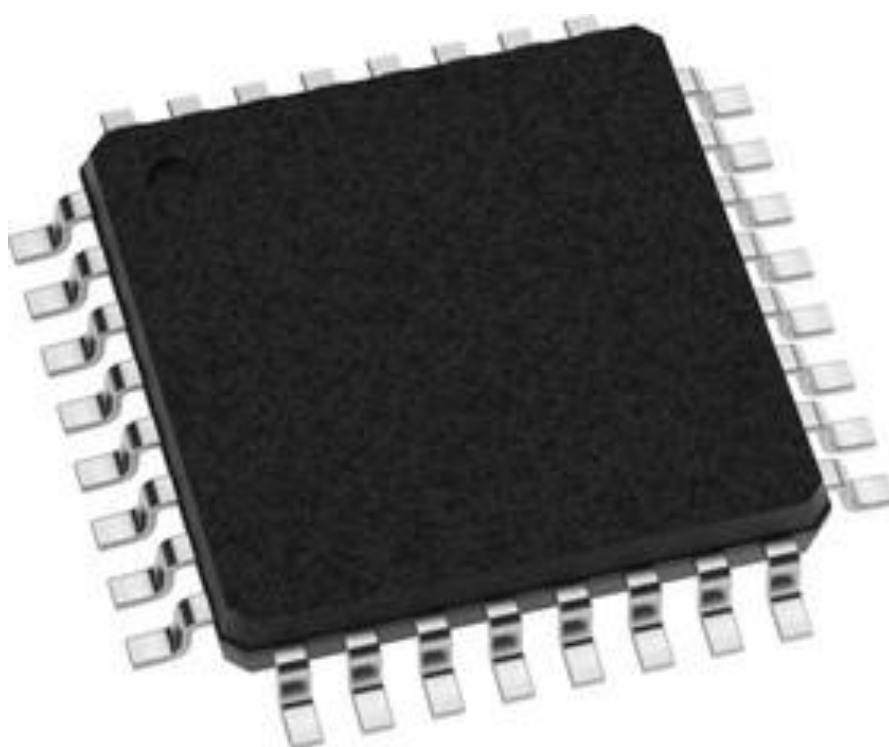


Рисунок 4.2 – Микроконтроллер Atmega328

Таблица 7 – Технические характеристики контроллера «Arduino UNO»

Микроконтроллер	АТmega328
Рабочее напряжение	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12 В
Входное напряжение (предельное)	6-20 В
Цифровые Входы/Выходы	14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	6
Постоянный ток через вход/выход	40 мА
Постоянный ток для вывода 3.3 В	50 мА
Флеш-память	32 Кб (АТmega328) из которых 0.5 Кб используются для загрузчика
ОЗУ	2 Кб (АТmega328)
EEPROM	1 Кб (АТmega328)
Тактовая частота	16 МГц

Для того, чтобы установить связь между контроллером Arduino и компьютером, а также иными устройствами Arduino или микроконтроллерами, в платформу установлены специальные устройства. Микроконтроллер, на котором базируется данная плата (Atmega328) поддерживает последовательный интерфейс UART TTL, производимый выходами 0 и 1.

На плате установлена микросхема АТmega8U2, которая посылает через USB порт интерфейс UART TTL. Обмен информации между платой и программой на компьютере производится через виртуальный COM порт.

Установка сторонних драйверов для прошивки ATmega8U2 не требуется, так как она использует стандартные драйвера USB COM. Но для того, чтобы подключить его к Windows, нужен файл ArduinoUNO.inf.

Текстовые данные позволяет получать мониторинг последовательной шины, при подключении к платформе. У платформы есть два светодиода RX и TX, они будут мигать при передаче данных через микросхему или при подключении USB порта. При использовании портов выводов 0 и 1 светодиоды моргать не будут. Технические параметры микроконтроллера Atmega328 представлены в таблице 8.

Таблица 8. Технические параметры микроконтроллера Atmega328.

Серия	avr atmega
Ядро	avr
Ширина шины данных	8-бит
Тактовая частота	20 мгц
Объем памяти программ	32 кбайт (16k x 16)
Количество входов/выходов	23
Тип памяти программ	flash
Объем EEPROM	1k x 8
Объем RAM	2k x 8
Наличие АЦП/ЦАП	ацп 8x10b
Встроенные интерфейсы	i2c, spi, uart
Встроенная периферия brown-	outdetect/reset, por, pwm, wdt
Напряжение питания	1.8...5.5 В
Рабочая температура	-40...+85с

Программа, которая необходима для работы программы называется Arduino IDE. Она находится в общем доступе и подходит для самых

распространенных операционных систем, таких как Windows, MacOS и Linux. Она базируется на языке C и C++. Также программа имеет простой в освоении интерфейс, в котором достаточно просто разобраться даже новичкам (рисунок 4.3)

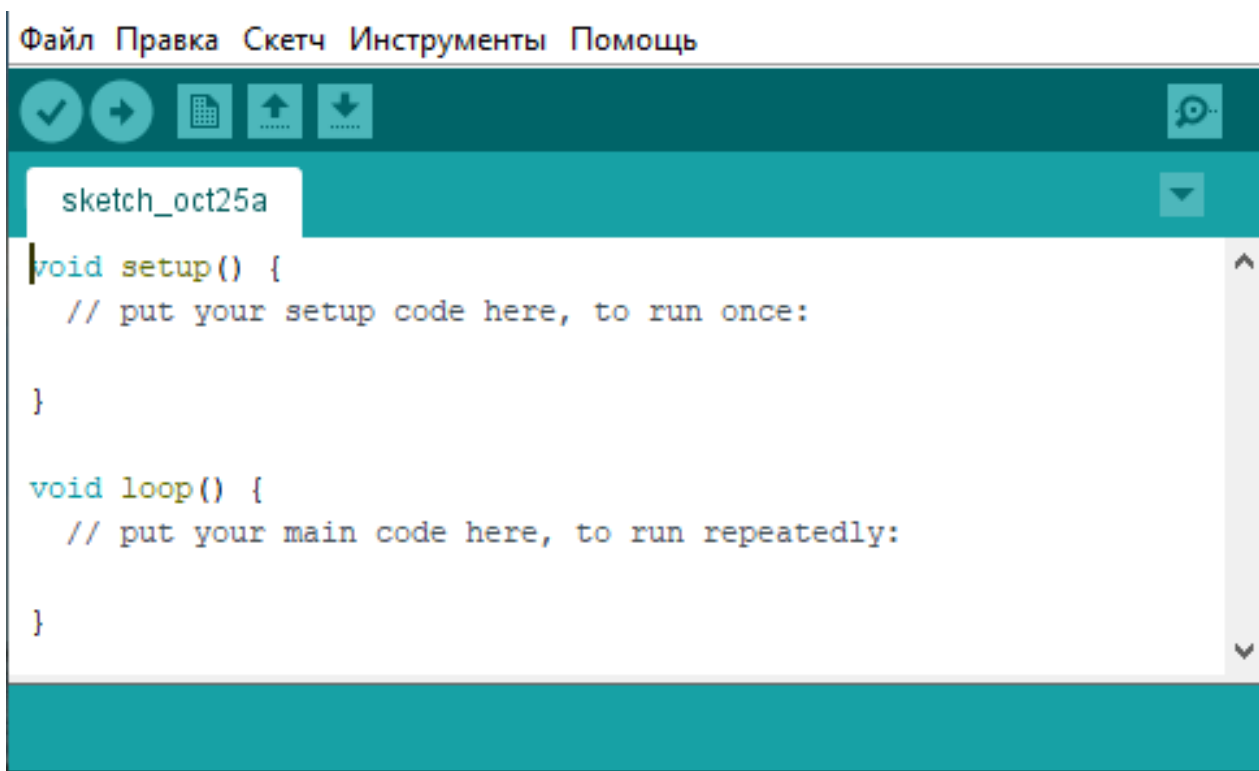


Рисунок 4.3 – Интерфейс программного оборудования.

Устройство обработки информации и питания.

Плата Arduino также служит и для питания устройства съема информации. С портов контроллера поступает постоянный ток 40 мА и напряжение 5 В, чего достаточно для питания лазера и фотодиода.

Сама же плата питается от USB порта персонального компьютера, после чего передает питание элементам устройства съема объема информации о погрешностях координат.

Излучатель и фотоприемник подключаются к портам платы Arduino. При помощи программы подается напряжение на эти порты, что приводит элементы в работу.

В результате холостого хода лазера и фотодиода на персональный компьютер поступает цифровой сигнал, который преобразуется в координаты.

Далее происходит сравнение полученной информации с заданными изначально координатами. Если отклонение не обнаружено, то это значит, что станок работает исправно. В ином случае производится ручная настройка станка, после чего алгоритм повторяется до того момента, пока результат не достигнет отсутствия погрешности.

Для удобства, данные о погрешностях, выводимые с блока обработки можно сводить в таблицу, с помощью которой можно легко определять разницу получаемых в следствии хода комплекса значений.

Также, такую таблицу можно вести как учет состояния станка. Если добавлять к каждой проверке дату и время, то возможно вычислить временную закономерность, с которой механическая часть станка начинает работать с погрешностью.

Вывод по разделу

Подводя итоги раздела, можно заметить, что блок обработки информации состоит из достаточно доступных элементов и элементарных соединений. Также, примечательно то, что программное обеспечение, необходимое для работы блока, достаточно несложное, из чего следует тот факт, что для работы с установкой не потребуются отдельное специальное глубокое обучение.

5. Разработка экспериментального стенда лазерно-оптического комплекса.

Для создания модели, описываемой выше в работе, а именно шпиндельного и настольного модулей, требуется немалый бюджет, а также, для наглядного показа его в рабочем состоянии необходим и сам станок с числовым программным обеспечением.

Так как мы не владеем вышеупомянутыми материалами и элементами, то на стадии разработки, было принято решение о создании экспериментальной уменьшенной модели лазерно-оптического комплекса позиционирования объекта.

Для разработки минимизированного стенда используются те комплектующие, которые из всех подходящих, составят минимальные экономические затраты, при этом не изменяя основную функцию, выполняемую оригинальной разработкой.

Главная задача модели состоит в том, чтобы показать принцип работы комплекса. Точность такой установки, соответственно, будет меньше, за счет упрощенных вариантов выбранных комплектующих элементов. Габаритные размеры также будут в разы меньше.

Состав и компоненты экспериментальной модели лазерно-оптического комплекса позиционирования объекта.

Как уже было сказано ранее, модель является уменьшенным вариантом лазерно-оптического комплекса позиционирования объекта. За счет наипростейших вариантов деталей для стенда, неизбежны потери точности работы установки.

В качестве модернизируемого объекта был взят стол 3D-принтера. По своей структуре и принципу работы механизмов он схож с промышленными станками за счет наличия подвижных элементов.

Так как в наличии находился 3D-принтер модели «ANET A6» (рисунок 5.1), то именно его каркас и подвижные элементы взяты за основу установки.

Рабочая область такого принтера составляет 220x220x240 мм по осям OX, OY и OZ соответственно.

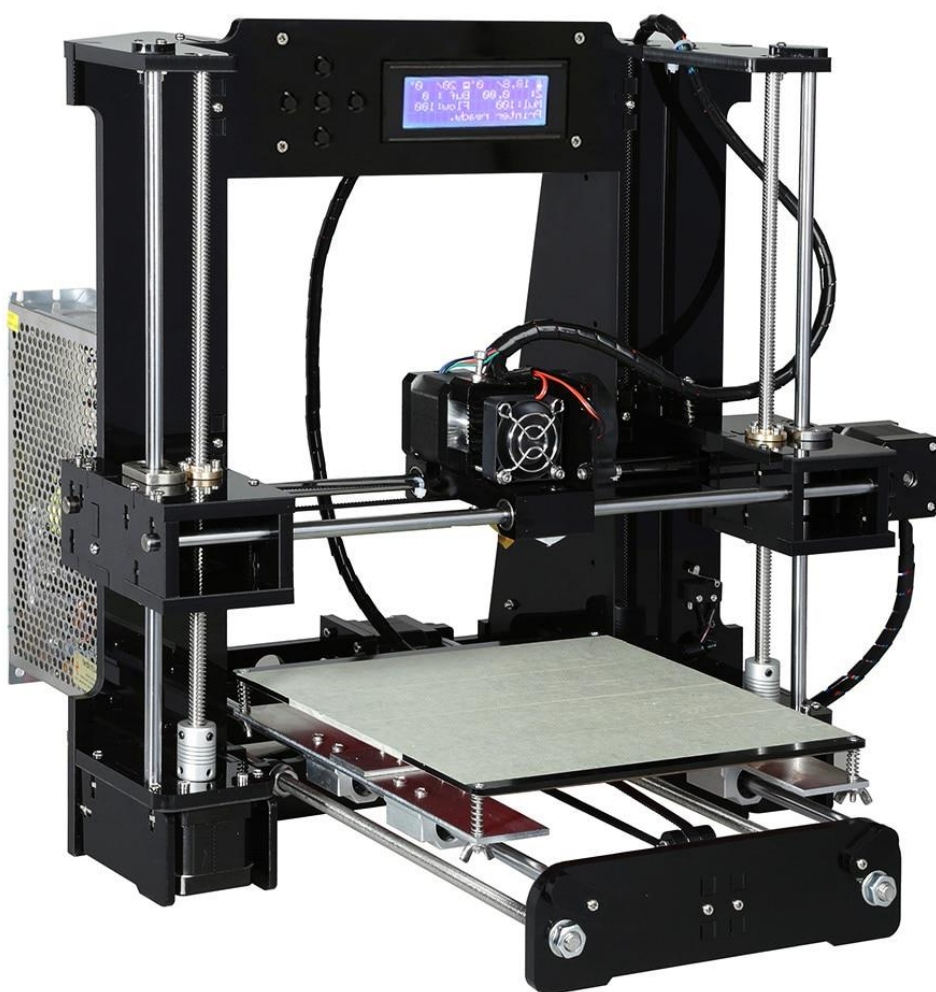


Рисунок 5.1 - 3D-принтер модели «ANET A6»

Экструдер принтера, передвигающийся по осям OX и OZ в данной работе выполняет функцию шпинделя в оригинальном варианте, на который устанавливается шпиндельный модуль.

«Шпиндельный модуль» в данном случае представляет собой только инфракрасный излучатель. В качестве излучателя можно использовать лазерный модуль КУ-008 (рисунок 5.2) или любой другой излучатель с небольшой точкой излучения.

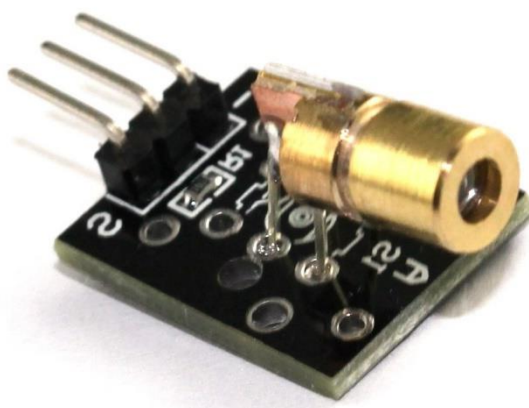


Рисунок 5.2 – Лазерный модуль КУ-008

Настольный модуль состоит из 1-8 фотоприемников. К лазеру КУ-008 идеально подходит для совместного использования фоторезистор КУ-018 (рисунок 5.3), но фактически мы используем несколько классических фоторезисторов 5528 (рисунок 5.4).

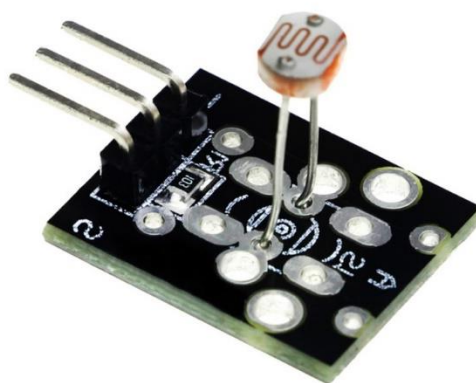


Рисунок 5.3 – Модуль фотоприемника КУ-018



Рисунок 5.4 - Фоторезистор 5528

Фотоприемники расположены на столе 3D принтера таким образом, чтобы число проекций центров каждого из фотоэлементов имел на каждую координатную ось не менее 4.

Для того, чтобы привести двигатели, установленные на 3D-принтере недостаточно тока, который выдает Arduino UNO (800 мА всего, и 40 мА на каждый порт), поэтому к устанавливаются Модуль драйвера моторов L293D Motor Shield для Arduino Uno (рисунок 5.5), которые питаются от блока питания «IP20 Activ ACP-5A-1», он выдаёт 12 В и 5 А, чего достаточно для питания двигателей.



Рисунок 5.5 – Драйвер L293D

Блок обработки информации в экспериментальном стенде не отличается от того, что был описан ранее и также состоит из Arduino UNO и персонального компьютера. Структурная схема устройства представлена на рисунке 5.6. Схема электрическая соединений представлена на рисунке 5.7.

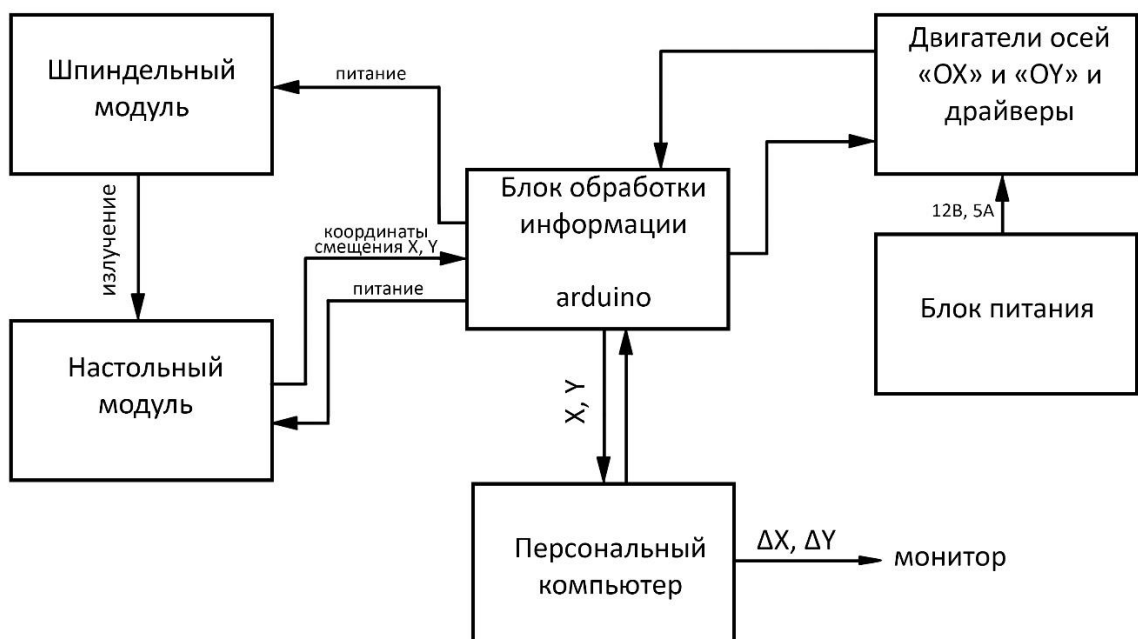


Рисунок 5.6 – Структурная схема экспериментальной модели комплекса

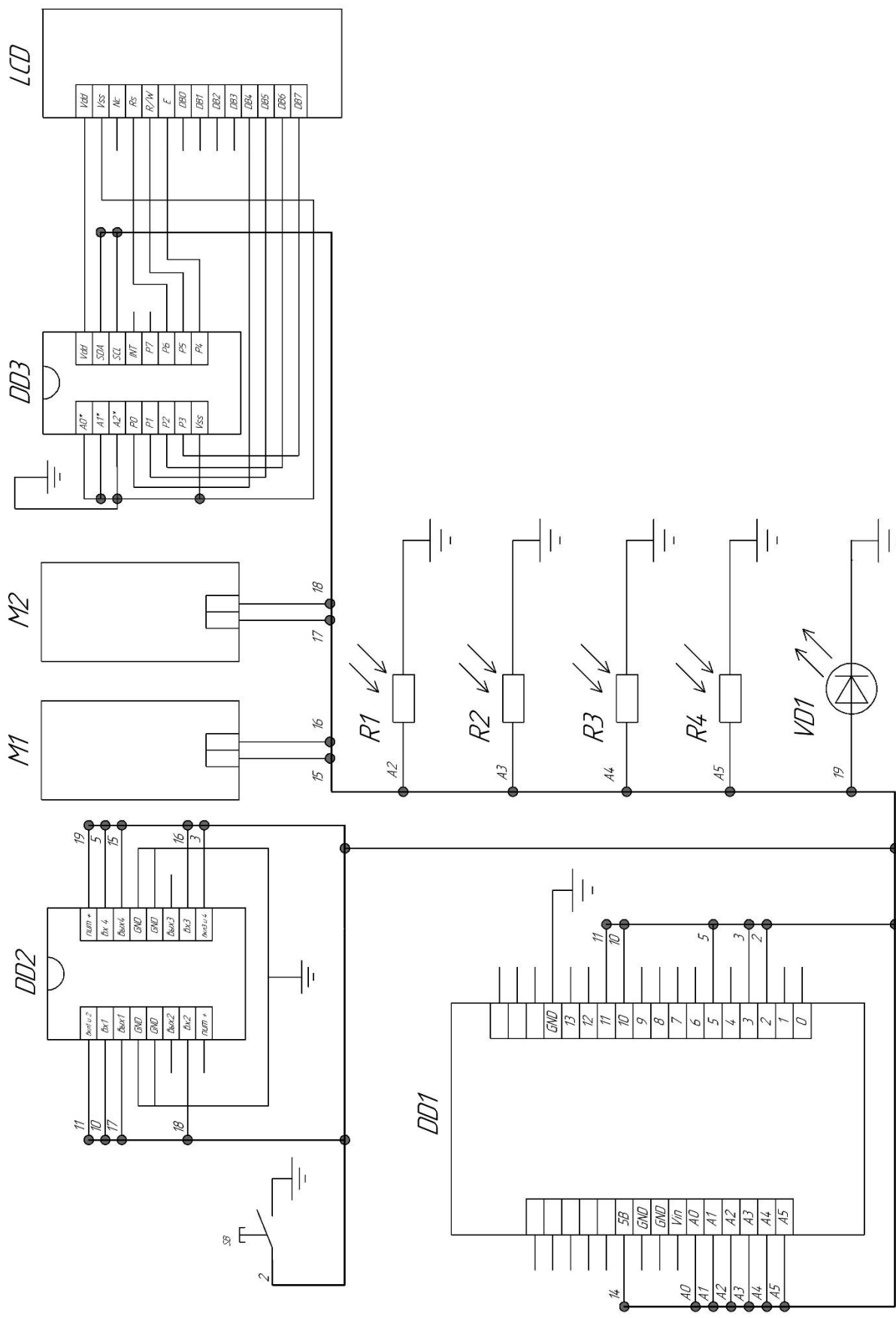


Рисунок 5.7 – Схема электрическая соединений экспериментального стенда

Вывод по разделу

Подводя итоги данного раздела, важно отметить, что экспериментальная установка создана лишь для наглядного показа принципа работы лазерно-оптического комплекса позиционирования объекта и не является одной из версий модернизации станка. Все компоненты были выбраны по мере доступности и невысокой ценовой категории.

Установка имеет более чем в 3 раза меньше опорных точек (в данном случае фоторезисторов, а в оригинальной версии призм-отражателей). А также, точность позиционирования, за счет выбранных компонентов, значительно ниже оригинальной.

В разделе приведены структурная схема и схема электрическая соединений. С их помощью можно наглядно увидеть всю разницу между оригинальной и экспериментальной моделями.

Заключение

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы был разработан лазерно-оптический комплекс, система позиционирования. Отдельно рассмотрен каждый модуль системы, представлены их схемы и разработан внешний вид элементов. Комплекс представляет собой систему для юстировки числовых программно-управляемых станков.

В первом разделе проведен анализ актуальности данного комплекса путем обзора аналогов – различных способов позиционирования и принципы их работы.

Во втором разделе подробно описаны назначение и область применения разрабатываемой установки, где приведены аргументы того, что данная разработка по сей день актуальна и решает проблемы механической погрешности станков.

Третий раздел описывает лазерно-оптический комплекс, устройство съема информации и его технические характеристики. В нем подробно рассказано о его составе, а также предоставляется информация о каждом из составляющих ее модулях. Приведены технические характеристики составляющих их элементов, рассмотрены вариации их компоновки и установки, а также проведены расчеты резьбовых соединений.

Четвертый раздел посвящен блоку обработки информации и составляющих его компонентах. Также представлены технические характеристики элементов.

В пятом разделе описывается система позиционирования экспериментального стенда (упрощенной и уменьшенной версии лазерно-оптического комплекса), выбраны все составляющие его элементы и представлена структурная схема.

Как итог выпускной квалификационной работы разработана экспериментальная модель для наглядного показа примера работы лазерно-оптического комплекса позиционирования объекта.

Список используемых источников

1. 24К40СФ4 станок координатно-расточный. — Текст : электронный // Рубикон : [сайт]. — URL: http://stanki-katalog.ru/sprav_24k40sf4.htm (дата обращения: 14.04.2021).
2. Баловнев, Н. П. Расчет резьбовых соединений и винтовых механизмов : учеб. пособие / Н. П. Баловнев. — 1-е изд. — Москва : МГТУ "МАМИ", 1999. — 39 с. — Текст : непосредственный.
3. Виды позиционирования объектов. — Текст : электронный // RealTrac : [сайт]. — URL: <https://real-trac.com/ru/company/blog/the-types-of-position-objects-what-applies-each-of-the-positioning-technologies/> (дата обращения: 30.02.2021).
4. Виды станков. — Текст : электронный // StepMotor : [сайт]. — URL: <https://stepmotor.ru/vidy-stankov> (дата обращения: 14.04.2021).
5. ГОСТ 20523-80 Устройства числового программного управления станками. — Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023225> (дата обращения: 02.05.2021).
6. Драйверы двигателя L298N, L293D и Arduino Motor Shield. — Текст : электронный // ArduinoMaster : [сайт]. — URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/drajver-dvigatelya-i-motor-shield-arduino/> (дата обращения: 14.05.2021).
7. Манаев, Е. И. Основы радиоэлектроники / Е. И. Манаев. — 3-е изд. — Москва : Радио и связь, 1985. — 511 с. — Текст : непосредственный.
8. Подключение дисплея LCD 1602 к arduino по i2c / ПС. — Текст : электронный // ArduinoMaster : [сайт]. — URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/lcd-i2c-arduino-display-ekran/> (дата обращения: 18.05.2021).
9. Улли, Соммер. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino / Соммер Улли. — 2-е изд. — Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2016. — 256 с. — Текст : непосредственный.

10. Урок 4. Подключение LCD1602 по I2C к Ардуино. — Текст : электронный // IARDUINO : [сайт]. — URL: <https://lesson.iarduino.ru/page/urok-4-podklyuchenie-lcd1602-po-i2c-k-arduino/> (дата обращения: 18.05.2021).
11. 3D ПРИНТЕР ANET A6. — Текст : электронный // MYGS.RU : [сайт]. — URL: <https://mygs.ru/products/anet-a6> (дата обращения: 20.05.2021).
12. 4x4-Silicon-Arrays. — Текст : электронный // datasheet : [сайт]. — URL: <https://www.osioptoelectronics.com/Libraries/Datasheets/4x4-Silicon-Arrays.sflb.ashx> (дата обращения: 06.05.2021).
13. Arduino UNO. — Текст : электронный // datasheet : [сайт]. — URL: <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf> (дата обращения: 18.05.2021).
14. ATmega328-AU, Микроконтроллер. — Текст : электронный // ChipDip. : [сайт]. — URL: <https://www.chipdip.ru/product/atmega328-au> (дата обращения: 18.05.2021).
15. KY-008 Модуль лазера. — Текст : электронный // Datasheet : [сайт]. — URL: <https://datasheetpdf.com/pdf-file/1415009/ETC/KY-008/1> (дата обращения: 21.05.2021).
16. KY-018 Photoresistor module. — Текст : электронный // Datasheet : [сайт]. — URL: <https://datasheetpdf.com/pdf-file/1402029/Joy-IT/KY-018/1> (дата обращения: 21.05.2021).
17. Optical specification S-2S. — Текст : электронный // datasheet : [сайт]. — URL: <https://static.chipdip.ru/lib/715/DOC000715997.pdf> (дата обращения: 05.05.2021).
18. PIN-4X4D. — Текст : электронный // GoPhotonics : [сайт]. — URL: <https://www.gophotonics.com/products/photodiodes/osi-laser-diode-inc-/56-198-pin-4x4d> (дата обращения: 06.05.2021).
19. S-2S, Лазерный модуль. — Текст : электронный // ChipDip. : [сайт]. — URL: <https://www.chipdip.ru/product/s-2s> (дата обращения: 05.05.2021).
20. Si Photodiodes. — Текст : электронный // Hamamatsu : [сайт]. — URL: https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/si_pd_kspd0001e.pdf (дата обращения: 06.05.2021).