

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ СОРЕВНОВАНИЕ

«ШАГ В БУДУЩЕЕ, МОСКВА»

№ 26035

*регистрационный номер*

Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»

*название факультета*

Кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»

*название кафедры*

Станок для полуавтоматического монтажа

микро SMD компонентов

*название работы*

**Автор:**

Штефан Елена Витальевна

*фамилия, имя, отчество*

МБОУ «Шлиссельбургская средняя школа №1», 11 класс

*наименование учебного заведения, класс*

**Научный руководитель:**

Штефан Виталий Игоревич

*фамилия, имя, отчество*

ведущий инженер Кировского филиала АО «Концерн «Океанприбор»

*должность*

г. Кировск 2024

## Станок для полуавтоматического монтажа

### Микро SMD компонентов

#### *Аннотация*

Современная электроника требует применения микрокомпонентов, устанавливаемых на печатные платы. Это вынуждает применять микрокомпоненты на ранних стадиях разработок, прототипирования изделий.

Известные станки автоматического монтажа имеют большой и трудоемкий процесс подготовки и отладки, требуют специальной упаковки радиоэлементов. При автоматическом монтаже отсутствует возможность выборочной замены компонентов, это обстоятельство часто возникает при отладке нового изделия. По этим причинам при штучных партиях автоматический монтаж SMD компонентов на печатные платы не выполняют.

Ручной монтаж SMD компонентов является очень трудоемким процессом, характеризующимся монотонностью, требует от человека чрезвычайно точных движений и внимания, проблемы с качеством очень сильно возрастают, если элементы особо малых размеров и плотность монтажа высокая.

Целью данной работы является создание станка для полуавтоматического монтажа SMD компонентов на печатные платы для существенного облегчения труда монтажника. Такой станок потребует минимальной настройки и подготовки производства.

При изготовлении станка используется метод агрегатирования с минимальным количеством оригинальных деталей из готовых компонентов. Также потребуется разработка программы для управления работой станка.

Полученные результаты и выводы: проект разработанного решения, способный увеличить производительность радиоэлектронной аппаратуры, способствующий развитию нашей радиоэлектронной промышленности.

## *Содержание*

<i>Введение.....</i>	<i>4</i>
<i>Основная часть</i>	
1 Обзор и анализ.....	6
1.1 Функции станка.....	7
2 Сборка станка.....	7
2.1 Сборка манипулятора.....	12
2.2 Сборка пульта управления.....	14
2.3 Подключение клавиатуры.....	14
2.4 Полная сборка станка.....	16
<i>Заключение.....</i>	<i>19</i>
<i>Список использованных источников.....</i>	<i>20</i>
<i>Приложение I.....</i>	<i>21</i>

## ***Введение***

Электроника прочно заняла нишу в жизни человека на бытовом и производственном уровне. Нас повсюду окружают различные автоматизированные приборы, компьютеры, телевизоры, счетчики и другое. В каждом подобном изделии есть печатная плата, она является основой любого малогабаритного электронного изделия. На печатную плату стараются ставить радиоэлектронные компоненты (транзисторы, диоды, резисторы, конденсаторы, микросхемы) малых размеров, чтобы уменьшить размеры и вес изделия.

Относительно недавно платы вручную заполнял человек, это и сейчас практикуется. Но прогресс идет, теперь на производстве внедряют машины – SMD<sup>1</sup> установщики. Они заметно ускоряют производственные процессы, обеспечивая высокую точность и качество товаров микроэлектроники.

**Актуальность** создания станка для полуавтоматического монтажа, который обеспечивает необходимые качество и точность и работает с компонентами в россыпи определила цель моей работы.

**Цель работы:** разработка станка для полуавтоматического монтажа для установки SMD компонентов малых размеров на печатную плату, точность установки компонентов должна быть на высоком уровне, быстродействие не должно уступать подобным аппаратам, такое устройство не должно быть разработано конкурентами. Установщик должен работать с россыпью компонентов, разложенных кучками по разным ячейкам. Такой установщик позволит изготавливать изделия штучно или в малом количестве, займет немного времени на установку и наладку.

Для достижения данной цели были поставлены следующие

---

<sup>1</sup>SMD (Surface Mounted Device)- Деталь Поверхностного Монтажа

**задачи:**

- узнать о проблемах по монтажу SMD компонентов на производстве;
- определить функции станка;
- разработать конструктив станка;
- обеспечить наличие всех материалов компонентов для создания станка;
- разработать программное обеспечение для работы двигателей;
- сборка станка;
- отладка производства;
- анализ полученных результатов и устранение ошибок.

При разработке станки мною были использованы следующие **методы:**

- Анализ и синтез (этап обзора и анализа).
- Метод агрегатирования: сборка устройства из готовых компонентов (с минимальным количеством оригинальных деталей): механизмов гравировального аппарата, насосов, клапанов, микропроцессорного модуля Arduino, готовых плат драйверов двигателей, LCD индикатора. Также потребуется разработка программы для управления шаговыми двигателями, обеспечения циклограмм захвата и установки компонента вакуумным пинцетом, для навигации по печатной плате.
- Эксперимент (подготовка и наладка станка для работы).
- Обобщение (выявление режима оптимальной работы).

## 1 Обзор и анализ

В зависимости от производительности и метода автоматизации можно выделить четыре основных типа установщиков: ручные, полуавтоматические, настольные автоматические, автоматические.

Ручная установка SMD компонентов осуществляется вакуумными пинцетами. Ручная установка сильно усложняется и может быть невозможна если речь идет о малых габаритах и о корпусах типа QFP и BGA. Производительность и точность ручной установки невысока. Здесь следует отметить, что при этом способе монтажник вынужден постоянно обращаться к комплекту конструкторской документации, чтобы понять, какой именно элемент должен стоять на данном участке платы.

Полуавтоматические установщики оснащены видеосистемами для удобства установки, это хоть и увеличивает точность, по сравнению с ручной установкой, но она уступает той точности, которая должна быть, чтобы изделие прошло контроль качества. Это связано с тем, что система наблюдения позволяет нам видеть компонент и место установки под небольшим углом, вследствие чего формируется неточность. При этом способе контроль позиционирования происходит от руки оператора, что тоже добавляет погрешность на точность.

Автоматические настольные имеют как правило от одной до четырех насадок, установленных на «голове», которая перемещается при помощи двигателей. Центрирование компонентов происходит при помощи камер, установленных на раме установщика. Упаковка с компонентами для подобного установщика должна быть либо в ленте, либо в обрезках ленты. Минусом такого установщика является сложная и долгая наладка первого запуска изделия.

Автоматические установщики наиболее быстрые и точные из всех типов установщиков. Но данный тип оборудования ориентирован на компоненты,

поставляемые только в лентах, кассетах, пеналах или матрицах и используется для крупносерийных производств.

Проанализировав имеющиеся на рынке предложения и их ценовую категорию мне стало очевидно, что в том случае, когда надо изготовить на производстве (где каждое изделие проходит приемку ОТК и на некоторых заказах военную приемку представителя заказчика) с соблюдением поставленных сроков только одно изделие или несколько штук с применением монтажа SMD компонентов, закупленными в россыпи, то рассмотренные выше установщики компонентов на печатную плату нам не подходят.

Разработка собственного станка для установки SMD компонентов на печатную плату является, по моему мнению, наиболее перспективным решением поставленной задачи для опытного производства и производства в малых количествах.

### 1.1 Функции станка

Станок должен брать SMD компонент из ячейки с помощью вакуумного пинцета, затем подносить элемент к месту его будущей установки с помощью управления манипулятором с клавиатуры. После контроля позиционирования (с помощью микроскопа) на некоторой высоте от платы мы опустим компонент на его посадочное место нажатием на кнопку клавиатуры.

## 2 Сборка станка

Покупка через интернет-магазин необходимых для сборки станка компонентов, представленных на рисунке 1, заняла у меня пять дней.



Рисунок 1 – Набор компонентов

1– подшипники; 2 – вакуумный мембранный насос;

3 – силиконовые трубки; 4 – вакуумный мембранный насос;

5 – инсулиновая ила 0,5 мм;

6 – USB микроскоп; 7 – зубчатая рейка;

8 – два шаговых двигателя для поворота и вертикальной подачи

Лазерный гравёр (рисунок 2) был заказан также через интернет-магазин и получила я его через две недели. На рисунке 3 можно увидеть место установки манипулятора.



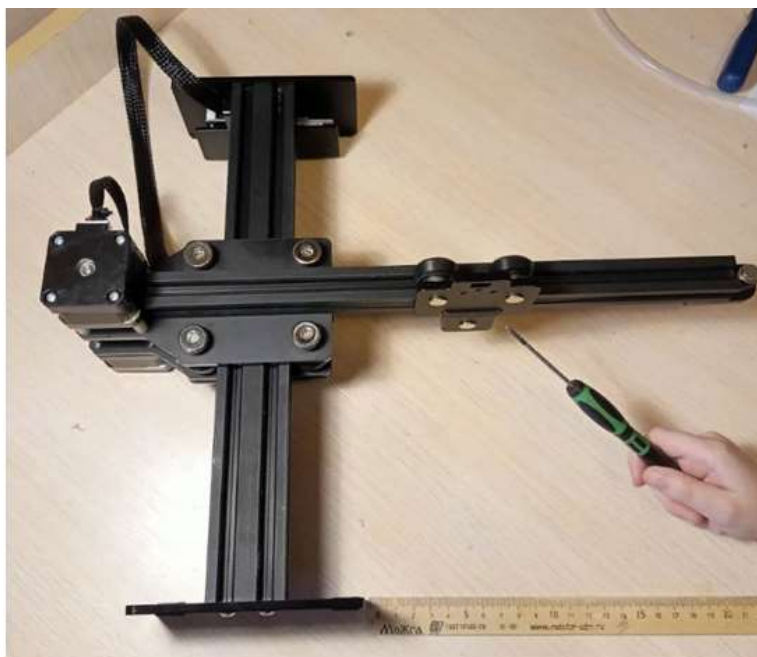


Рисунок 2 – Лазерный гравер



Рисунок 3 – Механизм лазерного гравера

Компоненты электронного блока (Рисунок 4) доставили через интернет-магазин через три недели.

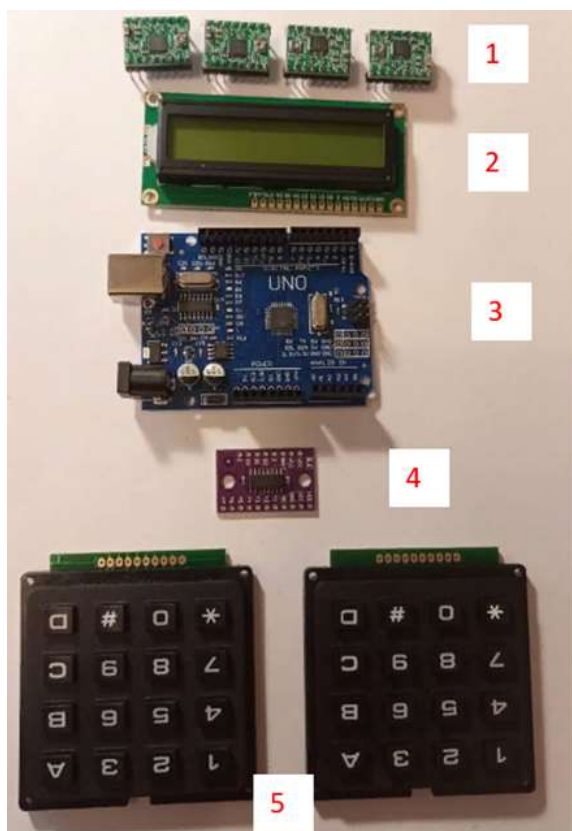


Рисунок 4 – Компоненты электронного блока

- 1 – четыре драйвера шаговых двигателей (ШД);
- 2 – жидкокристаллический (ЖК) текстовый дисплей;
- 3 – плата Arduino Uno; 4 – мультиплексор клавиатуры (74НС4051);
- 5 – две клавиатуры

Мое устройство (станок) является мехатронным комплексом, выполняющим сложные действия, которые можно описать программой. Поэтому в его составе есть готовая плата Arduino Uno на базе микроконтроллера ATmega328.

В качестве драйверов шаговых двигателей я выбрала модель A4988. Это законченный модуль управления двигателем с возможностью управления по микрошагам и встроенным преобразователем (транслятором).

На рисунке 5 представлен этап сборки станка.

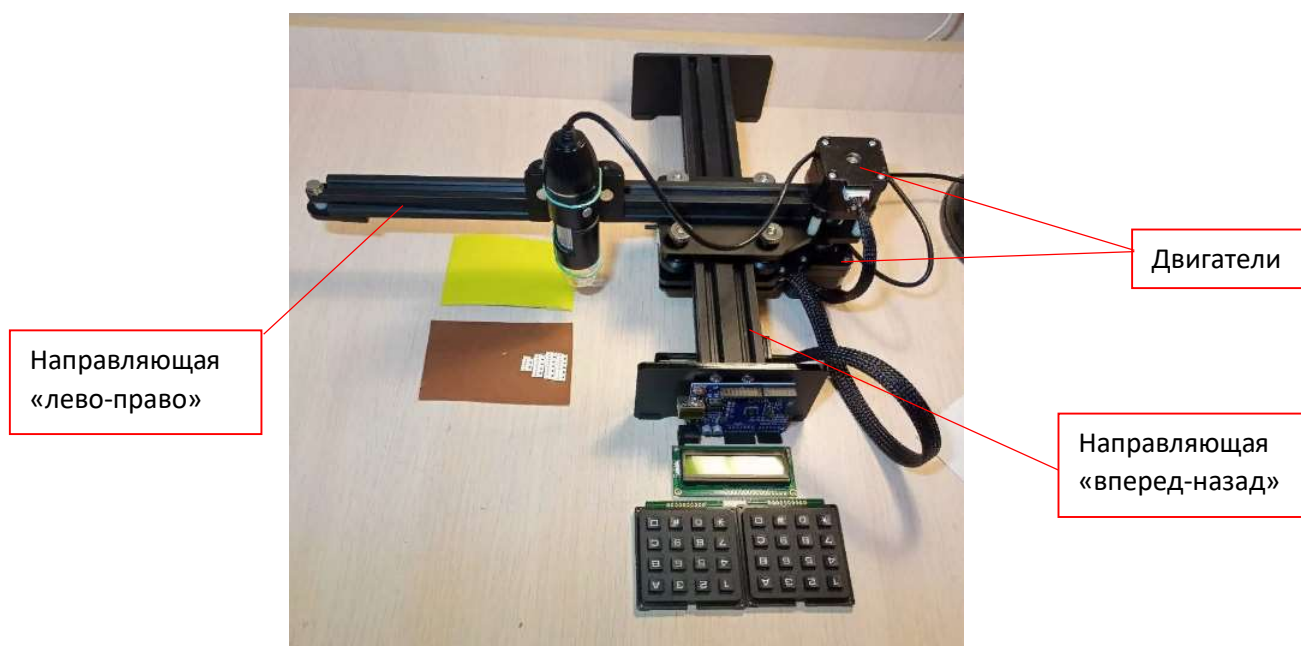


Рисунок 5 – Общий вид станка

Здесь коричневым прямоугольником показана будущая кассета с компонентами. Желтый прямоугольник – место, где будет лежать монтируемая плата.

Левая клавиатура предназначена для ручного управления шаговым двигателем. Каждый ряд из четырех кнопок привязан к одному мотору: «быстро влево», «медленно влево», «медленно вправо», «быстро вправо». Правая клавиатура – для ввода команд и навигации. Левая клавиатура по кнопке «взять» перемещает манипулятор к ячейке с компонентом и дает разрешение на «присоску», а по кнопке «положить» перемещает манипулятор в место установки, вакуум отключается при повторном нажатии на кнопку «положить».

## 2.1 Сборка манипулятора

Важная часть станка – это его манипулятор, т.е. устройство, с помощью которого станок может захватывать компонент, поворачивать его и подносить к месту установки.

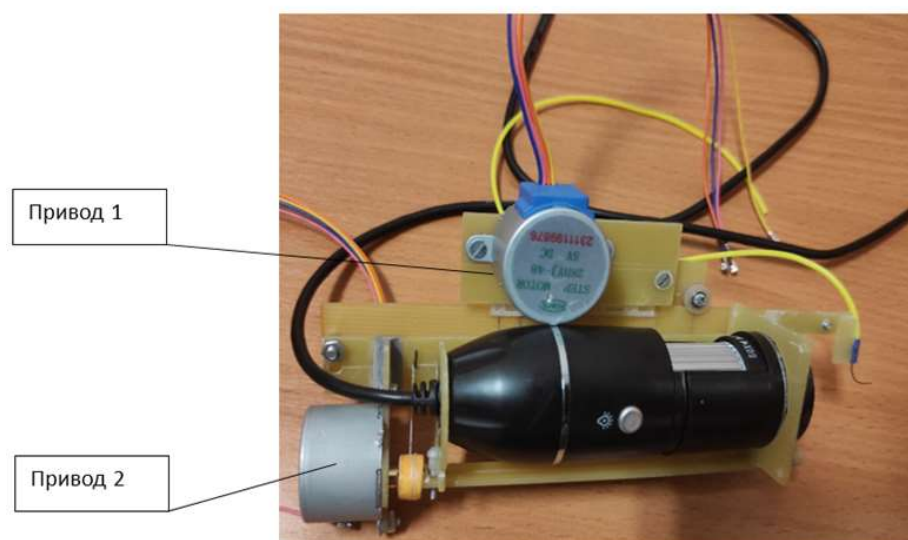


Рисунок 6 – Манипулятор, вид спереди

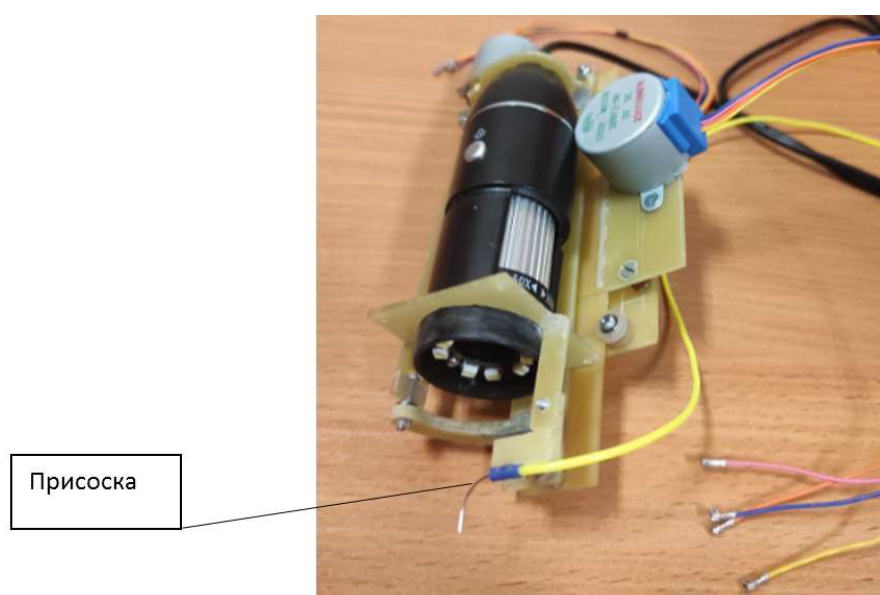


Рисунок 7 – Манипулятор, вид сбоку

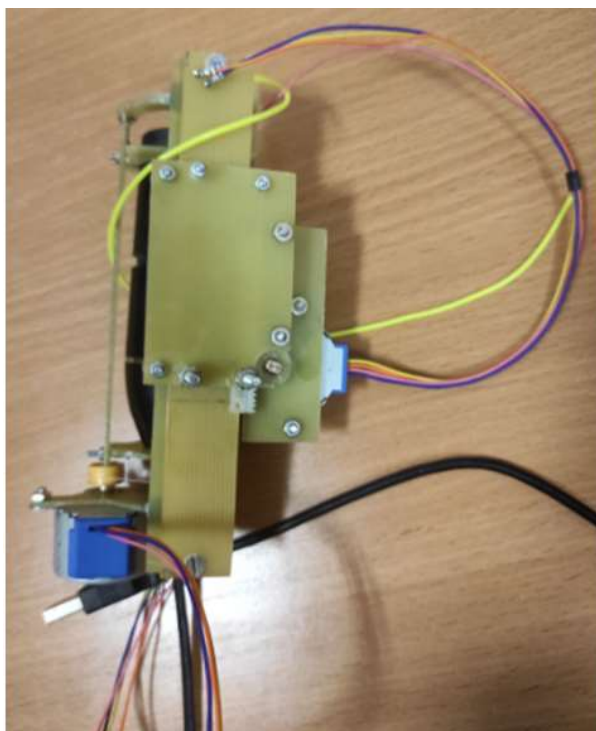


Рисунок 8 – Манипулятор, вид сзади

Манипулятор (рисунок 8) состоит из двух приводов и присоски.

Линейный привод (привод 1) вертикальной подачи состоит из шагового двигателя, зубчатого колеса, передвигной пластины (направляющей), зубчатой рейки, роликов с шарикоподшипником, каретки.

Поворотный привод (привод 2) состоит из шагового двигателя и держателя микроскопа, закрепленного с помощью пластин из стеклотекстолита. Привод 2 поворачивает микроскоп. Ось поворота выведена в сторону от оптической оси микроскопа, чтобы обеспечить простоту конструкции.

Присоска состоит из инсулиновой иглы, силиконовых трубок, маломощного вакуумного насоса, ресивера и клапана.

Оригинальные детали манипулятора были изготовлены вручную с помощью слесарного инструмента из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Крепление оригинальных деталей выполнено с помощью винтов и гаек, некоторые соединения склеены суперклеем.



Манипулятор получился длиной 17 см, шириной 10 см, глубиной 5 см.

## 2.2 Сборка пульта управления

Пульт управления (рисунок 9) нам нужен для осуществления процесса обработки и выполнения станком различных команд. Пульт управления состоит из Arduino Uno, четырех контроллеров шаговых двигателей и дисплея, на который будет подаваться различная информация. Все части пульта соединены между собой жгутами, по которым подаются сигналы.

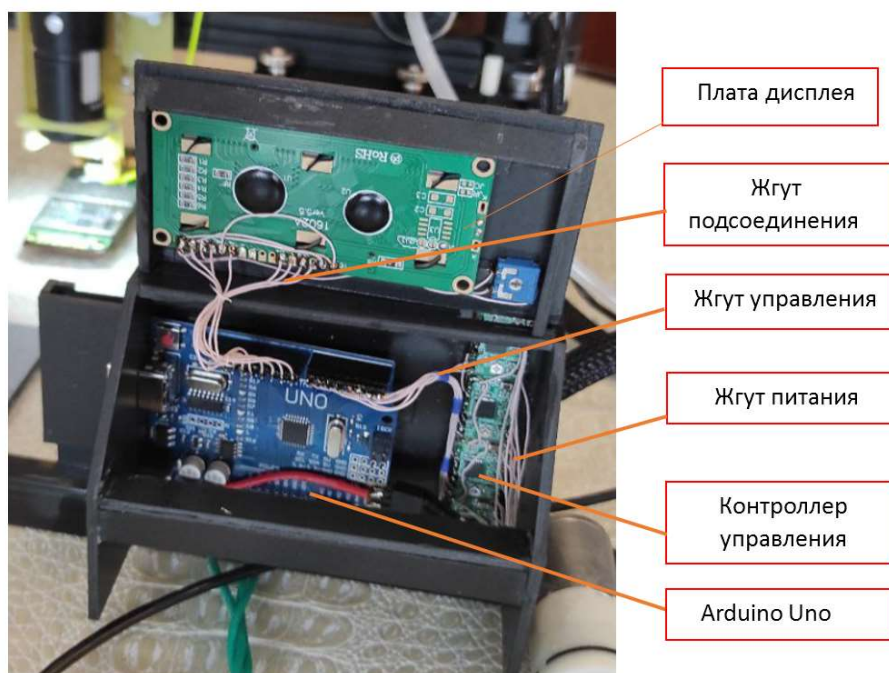


Рисунок 9 – Пульт управления

## 2.3 Подключение клавиатуры

В станке используем клавиатуру с совмещенной матрично-резистивной схемой. Это решение нигде пока не описано на просторах интернета и является продуктом моего собственного интеллектуального труда.

Кнопки клавиатуры соединяются в прямоугольную матрицу, располагаясь в узлах рядов и столбцов из проводников.

Каждая кнопка, при нажатии на нее, замыкает контакты между конкретным столбцом и конкретным рядом, создавая цепь, которую можно программно обнаружить. Любой кнопке соответствует своя индивидуальная пара контактов. Каждый столбец подключен к напряжению с помощью делителей. Клавиатуру подключим к Arduino Uno в соответствии с рисунком 10.

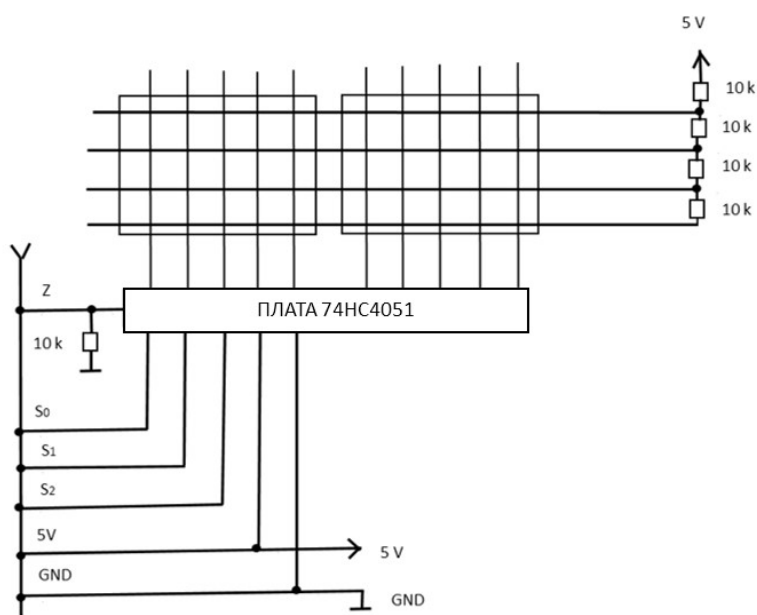


Рисунок 10 – Схема подключения клавиатуры

С помощью мультиплексора (плата 74НС4051) получилось объединить два типа клавиатуры (резистивную и матричную). В каждой клавиатуре по четыре столбца, а в двух- восемь. Такая схема позволила использовать всего четыре провода для управления и два провода питания.

Наша клавиатура (рисунок 11) управляется с помощью мультиплексора.

Мы с его помощью выбираем один из восьми столбцов и считываем напряжение, которое зависит от нажатой кнопки. Нажатие одной из четырех кнопок приводит к напряжению, соответствующему тому, что имеется на входе мультиплексора.





Собранный станок подключили к ноутбуку и проверили работу программы для управления шаговыми двигателями (рисунок 13).

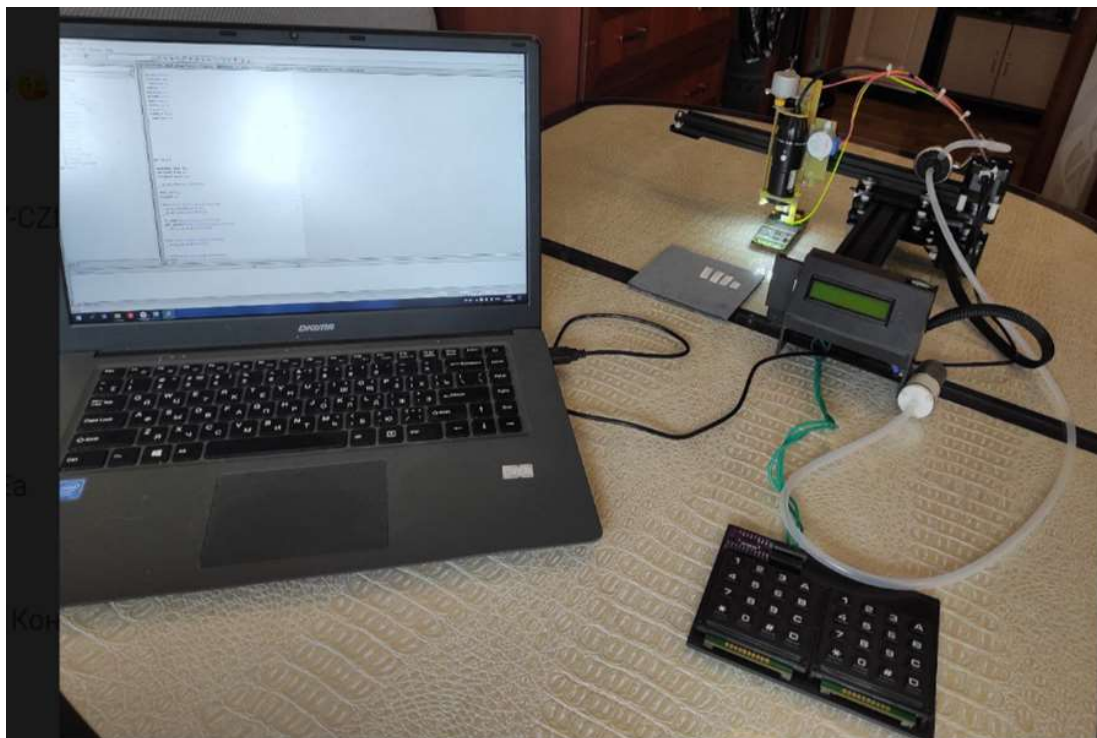


Рисунок 13 – Станок в работе

Программа (Приложение 1) успешно прошла проверку. Программа управляет шаговыми двигателями и подает команды на них с клавиатуры.

Теперь попробуем поставить одну деталь на свободное посадочное место на плате (Рисунок 14). В моей ситуации нет пока слотов для размещения компонентов, но для того, чтобы проверить станок в работе элементы размещены в россыпи на простой подложке.

С помощью клавиатуры позиционируем элемент над поверхностью платы и двумя нажатиями кнопки «ПОЛОЖИТЬ» устанавливаем компонент на посадочное место, предварительно смазанное паяльной пастой.

Контроль установки SMD компонента ведется по отображению на экране ноутбука (Рисунок 15).

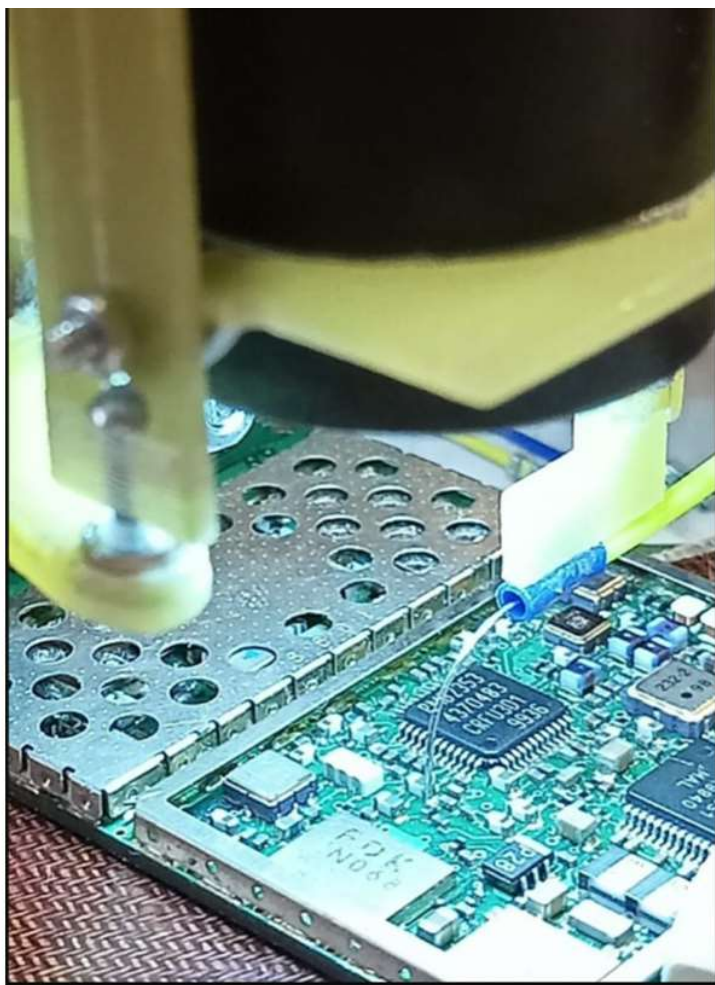


Рисунок 14 – Установка SMD компонента

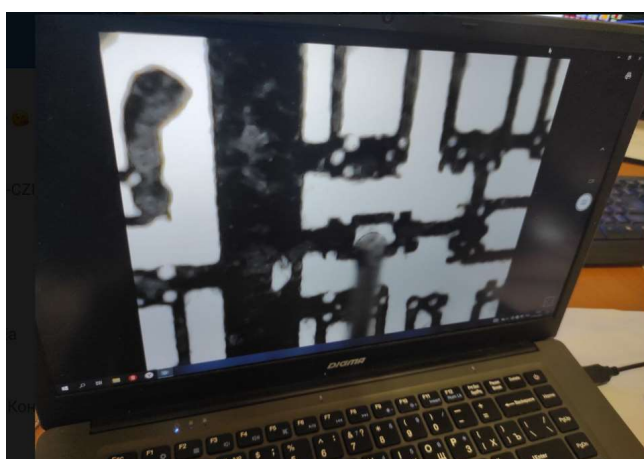


Рисунок 15 – Контроль установки SMD компонента

## *Заключение*

В ходе работы над проектом были изучены материалы по установке SMD компонентов разными способами, проанализированы имеющиеся на рынке аналогичные устройства, разработан, изготовлен и запрограммирован станок для установки SMD компонентов на печатную плату, с помощью которого как монтажник любого производства, так и любой человек в домашних условиях может изготавливать современные радиотехнические изделия по новым технологиям. Испытания показали работоспособность и функциональность изготовленного устройства. Цель работы достигнута. Установка заняла по времени 6 секунд для одного компонента. Цель работы достигнута.

Погрешность по точности установки составила 20 микрон. После расстановки тридцати SMD компонентов определили (методом фотографирования и измерения в программе) смещения относительно контактных площадок, посчитали погрешность.

Направления дальнейшей деятельности: планируется модернизация изготовленного устройства для улучшения его эксплуатационных характеристик.

Программная часть будет изменена так, чтобы станок привязывался к файлу (полученному из программы PCad) с координатами всех элементов и устанавливал их на печатную плату с наибольшей точностью.

Хочу выразить огромную благодарность сотрудникам АО «Концерн «Океанприбор» за поддержку и содействие в проведении моей работы, за помощь с вытачиванием оригинальных деталей и за своевременные консультации и допуск на территорию производственного участка.

### *Список используемых источников*

1. <http://www.gaw.ru/>
2. [http://www.tabe.ru/m\\_equipment/index.php?cid=82&stype=tech&tpid=5&eqid=337](http://www.tabe.ru/m_equipment/index.php?cid=82&stype=tech&tpid=5&eqid=337)
3. [https://supereyes.ru/articles/Soldering\\_BGA\\_Reballing/kak-vybrat-ustanovshchik-smd-komponentov/?ysclid=ltlwhqfhvw396053585](https://supereyes.ru/articles/Soldering_BGA_Reballing/kak-vybrat-ustanovshchik-smd-komponentov/?ysclid=ltlwhqfhvw396053585)
4. <https://eurasia-group.ru/blog/articles/smd-ustanovshchiki-dlya-pechatnykh-plat-printsip-raboty/?ysclid=ltlwket3u257839998>
5. Джоди Калкин и Эрик Хаган. Изучаем электронику с ARDUINO, 2022 г.
6. Джереми Блум. Изучаем ARDUINO. Методы технического волшебства, 2020 г.
7. <https://kit.alexgyver.ru/tutorials/stepmotor/>
8. <https://habr.com/ru/articles/460409/>
9. <https://edurobots.org/2017/03/arduino-keypad/>

main.cpp

```

#include <iom328.h>
#include <stdbool.h>
#include <inavr.h>

void initDEV()
{
    DDRD=0xFF;
    OCRA=0x07CF;
    TCRA=0x0A;

    ADMUX=0x60;
    ADCSRA=0x87;
    ADCSRB=0x80;
    //PCICR=0x01;
    //PCMSK0=0x48;
    asm("sei");
}

void TEST_MOTION1()
{ unsigned short i;

    PORTD=0xFE; i=0x1387;
    while(i!=0) {PORTD=0x10; __delay_cycles(0xFF); PORTD=0xEF;
    while((TIFR1&0x02)==0) {} TIFR1=0x02; i--;}
    PORTD=0x01; i=0x1387;
    while(i!=0) {PORTD=0x10; __delay_cycles(0xFF); PORTD=0xEF;
    while((TIFR1&0x02)==0) {} TIFR1=0x02; i--;}
}

void TEST_MOTION2()
{ unsigned short i;

    PORTD=0xFD; i=0x1387;
    while(i!=0) {PORTD=0x20; __delay_cycles(0xFF); PORTD=0xDF;
    while((TIFR1&0x02)==0) {} TIFR1=0x02; i--;}
    PORTD=0x02; i=0x1387;
    while(i!=0) {PORTD=0x20; __delay_cycles(0xFF); PORTD=0xDF;
    while((TIFR1&0x02)==0) {} TIFR1=0x02; i--;}
}

int main()
{
    initDEV();
    while(1) {
        //while((TIFR1&0x02)==0) {}
        //TIFR1=0x02;
        //PORTD^=0x10;
        TEST_MOTION1();
        TEST_MOTION2();
    }
}

```