

КОМПАКТНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЕДИНИЧНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Лапшинов С.А.

Научный руководитель: Юдин А.В.

ГБПОУ «Воробьёвы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия.

COMPACT HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM FOR MANUFACTURING OF PARTS OF ELECTRONIC DEVICES

Lapshinov S.A.

Supervisor: Yudin A.V.

State budget vocational and educational institution "Vorobyovi Gori", Centre of Technical Education, Moscow, Russia.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia.

Аннотация

В работе рассматриваются технологические аспекты создания компактного универсального фрезерного станка с ЧПУ в современной лаборатории цифрового производства для дальнейшего использования в этой же среде, представлена конструкция, приведены расчеты характеристик, предложены варианты для сменных инструментов. Представлены элементы системы управления станком с использованием микрокомпьютера с ОС Linux и взаимодействия с пользователем.

Abstract

The paper discusses the technological aspects of creating a compact universal milling machine with CNC in a modern digital fabrication laboratory for further use in the same environment, presents the design, provides calculations of the characteristics, suggests options for interchangeable tools. The paper also presents the elements of the machine control system using a microcomputer with Linux OS and user interaction.

Введение

В работе представлено устройство станка, способного обеспечить потребность в производстве небольших серий односторонних и двусторонних печатных плат, а также плоских двумерных деталей из материалов поддающихся обработке выбранными автором исполнительными инструментами (лазерная резка и фрезерование). Инструменты представляют собой покупные устройства, но конструктивно оформлены автором в совместимые с механикой станка модули. Разработанное универсальное крепление позволяет в будущем расширить номенклатуру доступных пользователю инструментов.

Сочетание разных инструментов позволяет обеспечить единичное производство не только печатной платы, но и необходимых для нее корпусных элементов, что очень часто бывает удобно на этапе прототипирования нового изделия. Объединение этих возможностей в одном корпусе позволяет сэкономить место в лабораториях, а в частных случаях мобильных лабораторий уменьшить количество перевозимого оборудования при сохранении необходимой функциональности (мобильные лаборатории рассматривались автором в [1]).

Данная работа является продолжением разработки, описанной автором ранее [1]. За прошедшее время существенно доработана конструкция станка, за счет применяемых технических решений станок может быть полностью изготовлен с использованием только базовых возможностей лабораторий цифрового производства (станка лазерной резки, 3D-принтера и паяльного оборудования) и соответственно обладает большим потенциалом к широкому воспроизводству, чем предыдущая версия, описанная в [1]. Примененные решения также улучшают жесткость конструкции при соблюдении условия минимизации затрат на материалы.

Цель проекта - разработать в условиях современной лаборатории цифрового производства компактный, автономный, доступный и легко воспроизводимый станок с ЧПУ,

который можно было бы быстро и легко переналаживать на различные типовые операции по изготовлению элементов электронных устройств.

Далее будут рассмотрены такие вопросы как: конструкция, состоящая из жесткого каркаса, заполняемого вязущим веществом, механические параметры станка, технические элементы системы управления и способ управления станком. Экспериментальная проверка выбранных подходов к разработке была проведена в рабочих условиях типичной лаборатории цифрового производства [2].

1 Разработка и конструктивные особенности механики станка

Процесс изготовления деталей на станках с ЧПУ начинается с разработки чертежей деталей в одной из САПР (Система Автоматизированного Проектирования). Для создания 3D модели станка использовалась САПР SolidWorks (см. рис.1). Параметры корпуса определены размерами внутренних компонентов – необходимые габариты рабочего стола станка, шаговыми моторами моторами и различными механизмами.

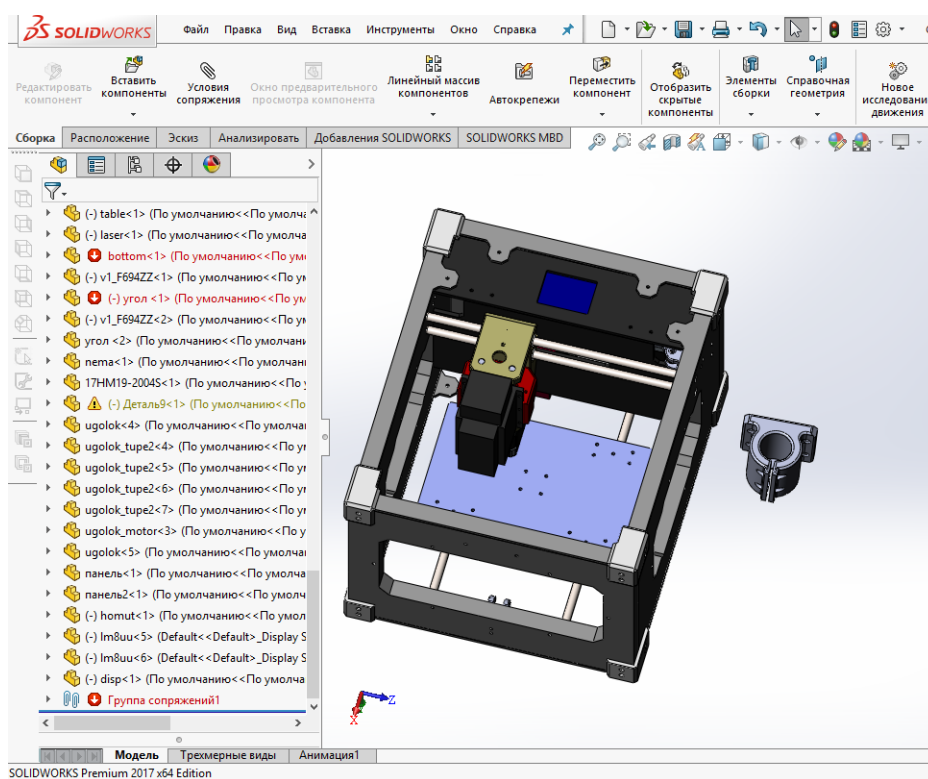


Рисунок 1 – Модель корпуса станка и крепежа инструментальных модулей

В данной версии конструкции многофункционального станка его габаритные размеры составляют 300x340x200 мм. Движение стола осуществляется вдоль координатной оси Y. Сменный модуль рабочего инструмента вместе с механизмом его крепления перемещается вдоль координатной оси X. Корпус станка разрабатывается максимально компактным, поэтому стол перемещается только по одной оси в пределах корпуса. Расположение координатных осей станка можно увидеть на рисунке 2.

Перемещение инструмента по оси Z может создавать ситуации, в которых инструмент во время работы станка выходит за границы указанных ранее габаритных размеров. Соответствующее увеличение габаритного размера вдоль оси Z может достигать до +50 мм.

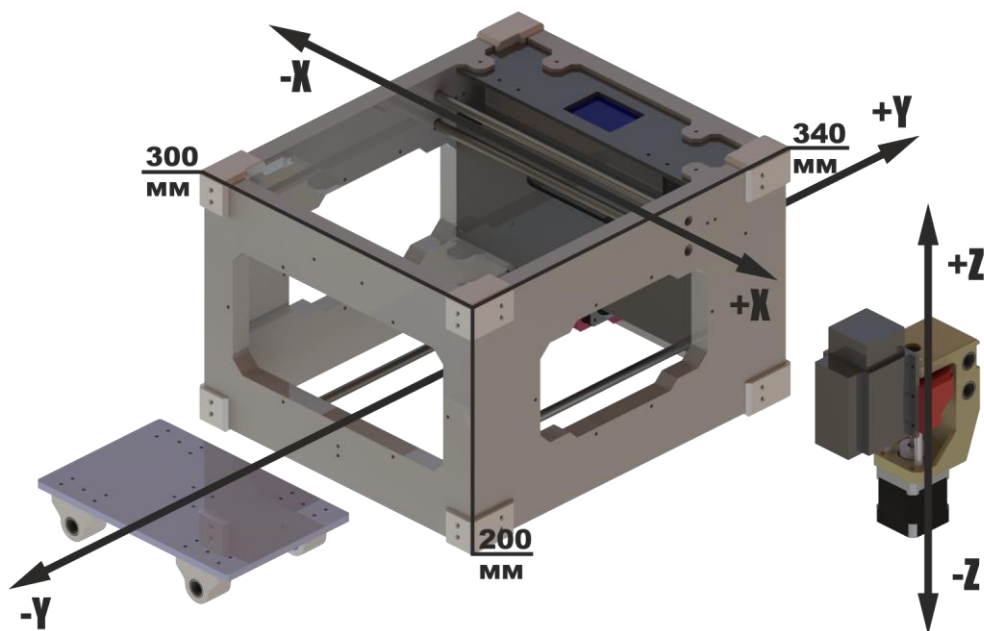


Рисунок 2 – Система координат и габаритные размеры станка

Максимальные значения координат перемещения инструмента для изготовления детали можно увидеть в таблице 1.

Таблица 1 – максимальные размеры изготавливаемой детали

Координатная ось	Длина (мм)
X	200
Y	130
Z	50

2 Сменные модули для рабочего инструмента

Был разработан крепеж для различных сменных модулей рабочего инструмента и механизм для его перемещения по оси Z (см. рис.3). Модуль рабочего инструмента присоединяется к передвижному крепежу станка с помощью винтов М3. Питание и сигнал на модуль подается после подключения разъема модуля к ЧПУ станку.

Модуль рабочего инструмента перемещается по оси Z с помощью винтовой передачи. Вращение винта оси Z осуществляется с помощью шагового мотора типа NEMA17. Каретка с линейными подшипниками передвигается по двум направляющим диаметром 6 мм из калёной стали.

Использование сменного рабочего инструмента позволяет сделать станок более функциональным за счёт соединения возможностей различных ЧПУ станков в одном устройстве. При этом взаимозаменяемые модули могут быть совершенно разные и использоваться как для изготовления необходимых деталей так и для их анализа и проверки. Например модуль 3D сканера деталей.

Использование различных модулей позволяет изготовить необходимое устройство применяя различные способы изготовления при этом используя один ЧПУ станок, а также сократить стоимость оборудования для изготовления за счет использования различных модулей рабочих инструментов, а не использования разных станков. Для сменных рабочих инструментов существует универсальное крепление с конкретными размерами (см. рис.4). Модуль рабочего инструмента можно закрепить с помощью 4-х винтов М3.

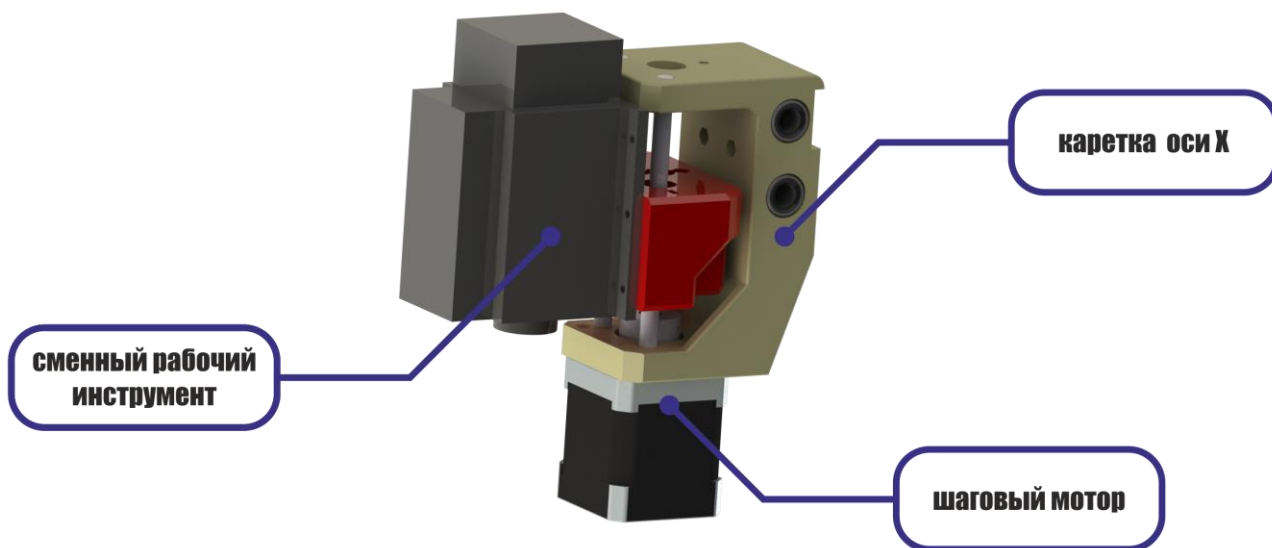


Рисунок 3 – Модель каретки с установленным модулем рабочего инструмента (лазер)

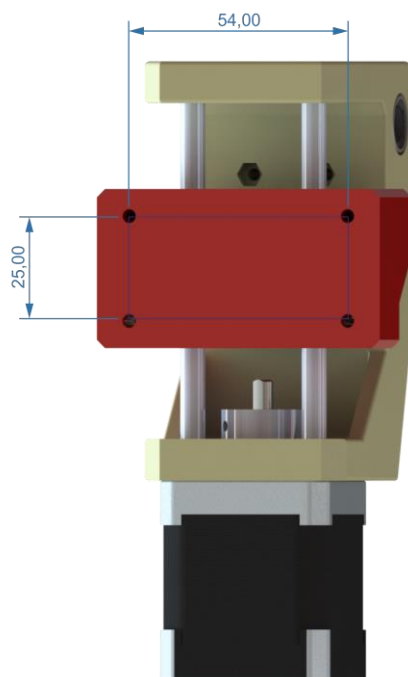


Рисунок 4 – Присоединительные размеры крепления модулей рабочего инструмента

На данном этапе были разработаны модули для двух рабочих инструментов (выбраны наиболее востребованные по опыту работы в учебной лаборатории цифрового производства): лазерной резки (см. рис.5) и фрезеровки (см. рис. 6).

Таблица 2 – параметры используемых в модулях инструментов

Лазерная резка	Фрезеровка
Рабочее напряжение: DC 12 В Рабочий ток: <4А Выходная мощность: 8-15 Вт Длина волны: 445nm-450nm Фокусное расстояние: 15-50 мм (ручная регулировка)	Рабочее напряжение: DC 6-24 В Рабочий ток: <1А Скорость вращения: 4500-15000 об/мин



Рисунок 5 – Инструмент для лазерной резки



Рисунок 6 – Инструмент для фрезеровки

3 Расчет точности позиционирования инструмента

На данном этапе в многофункциональном станке используются шаговые двигатели типа nema17 с номинальным шагом 1.8 град. Для уменьшения угла поворота вала двигателя и увеличения разрешения позиционирования оси используется драйвер шагового двигателя A4988 с режимом деления шага 1/16. Следовательно угол поворота двигателя можно уменьшить до 0,1125 град. на шаг и в полном обороте вала двигателя будет 3200 шагов (n).

В случае осей X и Y для ременной передачи на вал шагового двигателя установлен шкив GT2 16 с диаметром (d) 10 мм. Исходя из выше описанного можно вычислить разрешение осей станка (Rp.) X и Y. Была выведена формула для расчёта разрешения позиционирования осей:

$$R_{п.} = \pi * d / n$$
$$R_{п.(x,y)} = 3,141592653589793 * 10 / 3200 = 0,0098 \text{ мм} = 9,8 \text{ мкм}$$

В случае оси Z используется винтовая передача. Шаг винта (s) составляет 2 мм на оборот. Следовательно разрешение оси Z можно найти по следующей выведенной формуле:

$$R_{п.(z)} = s / n$$
$$R_{п.(z)} = 2 / 3200 = 0,000625 \text{ мм} = 0,625 \text{ мкм}$$

Из расчетов можно сделать вывод, что полученное разрешение позиционирования подходит для донной конструкции станка с ЧПУ.

Рекомендуемая частота импульсов, которые можно подавать на обмотки двигателя данного типа для нормальной работы (F) составляет 1600 Гц. Поэтому максимальную скорость вращения на расчетной точности вала двигателя типа nema17 (Uв.) можно найти по следующей формуле:

$$U_{в.} = F / n$$
$$U_{в.} = 1600 / 3200 = 0,5 \text{ об/сек}$$

Следовательно скорость перемещения (U) каретки оси Y или стола в случае оси X можно найти по формуле:

$$U = U_{в.} * \pi * d$$
$$U = 0,5 * 3,141592653589793 * 10 \approx 17 \text{ мм/сек}$$

Расчетная скорость обработки укладывается в рекомендуемые режимы выбранных инструментов для достижения качественной обработки наиболее востребованных материалов (FR1, фанера, пластик).

4 Изготовление корпуса станка

Стенки корпуса изготовлены на лазерном станке из акрилового пластика толщиной 4 мм. Стенки скреплены с помощью уголков, напечатанных на 3D принтере. Промежуток между стенками из акрила заполнен вяжущим веществом. Корпус из этого материала обеспечивает достаточную жесткость конструкции при этом корпус остается достаточно легким для удобной транспортировки, приобретает необходимый вес для «гашения» возникающих в процессе работы вибраций.

Для обеспечения воспроизводства все используемые детали были получены либо на доступных в большинстве лабораторий станках с ЧПУ (лазерная резка, 3D-печать), либо куплены. Для изготовления деталей соответственно были подготовлены чертежи в электронном виде.

Внешний корпус станка был собран из пластика с помощью уголков. Направляющие из каленой стали были закреплены в корпусе. После этого была совершена заливка станка по всему периметру выбранным вяжущим веществом. После затвердевания наполнителя направляющие станка были жестко и надежно закреплены. Для компенсации неточностей при сборке и последующего перемещения кареток вдоль направляющих без залипания одна из двух направляющих координатных осей была жестко закреплена изначально в пластиковой оболочке станка, а другая имела небольшой ход (см. рис.7).

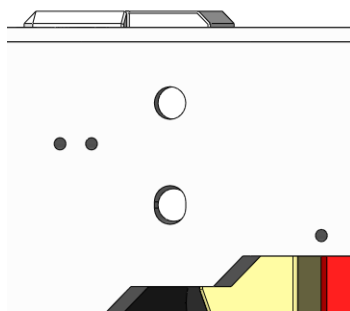


Рисунок 7 – Крепление направляющих вдоль одной из координатных осей станка

В процессе изготовления корпуса станка были опробованы различные составы смесей и в итоге корпус был залит наиболее подходящим из них. Выбор рассмотренных ниже вариантов был обусловлен низкой стоимостью и широкой доступностью.

Главным преимуществом плиточного клея является эластичность и адгезия. Он не поддается воздействию мороза и влаги. Для экспериментальной заливки использовался плиточный клей фирмы «Юнис» (см. рис. 8). Данный материал достаточно удобен для заливки, но имеет недостатки которые влияют на качество корпуса станка. Данный состав имеет достаточно долгий срок высыхания: 48 часов при использовании по назначению (приклеивание плитки), а в случае заливки закрытого корпуса станка с толщиной заливки 10 мм время высыхания увеличивается до 4-х суток. Также данный состав даёт трещины при небольшом механическом воздействии. По выше перечисленным причинам было принято решение отказаться от данного состава.



Рисунок 8 – Плиточный клей

Монтажный цемент (в данном случае фирмы «Ceresit») (см. рис.9) применяется в строительстве для ускоренной анкеровки и крепления металлических и полимерных закладных элементов в бетоне, цементно-песчаных основаниях, кирпичных и каменных кладках. Преимуществом данного состава является надежное соединение стальных осей станка, а недостаток заключается в долгом высыхании (полное отверждение происходит через 15-20 суток) и постоянном расширении при высыхании, что неблагоприятно влияет на пластиковый внешний корпус станка. Кроме того, состав «схватывается» в течение 5 минут, что крайне затрудняет работу с ним, поскольку заполнение всех необходимых полостей занимает больше времени.



Рисунок 9 – Монтажный цемент

Цементная шпаклёвка (в данном случае фирмы «Vetonit») (см. рис. 10) имеет в составе 2 основных элемента, цемент и песок. Такой вид шпаклевки отличается водостойкостью. Цементную шпаклевку применяют при отделке внутренних или наружных стен. Она наносится тонким слоем, в пределах 1,5 см. Данный материал достаточно эластичный. Его удобнее всего использовать для заливки корпуса по сравнению с вышеописанными материалами. Высыхание происходит за 24 часа. Застывшая смесь достаточно устойчива к внешним механическим воздействиям.



Рисунок 10 – Цементная шпаклевка

В результате проведенного отбора было принято решение использовать последний вариант (цементная шпаклевка) для заливки корпуса станка.

5 Программное управление и взаимодействие с пользователем

Для прототипирования программной части удобно пользоваться платформой Ардуино, которая дает возможность в считанные часы опробовать механизмы станка в автоматизированном режиме.

В окончательном варианте для управления ЧПУ станком используется микрокомпьютер, работающий на основе ОС Linux. Плата должна обеспечивать возможность связи по проводному соединению (USB, Ethernet), но для удобства пользователя рекомендуется выбирать варианты с беспроводными каналами связи (Wi-Fi, Bluetooth).

После включения станка необходимо передать файл с программой для изготовления необходимой детали. После этого происходит автоматическая калибровка станка и начинается процесс изготовления.

На станке установлены три шаговых мотора типа NEMA17 которые обеспечивают точную работу и драйверы для них. Для удобства использования и настройки в корпус станка установлен дисплей с сенсорным управлением, а также выбора кода для изготовления необходимой детали с внешнего накопителя информации.

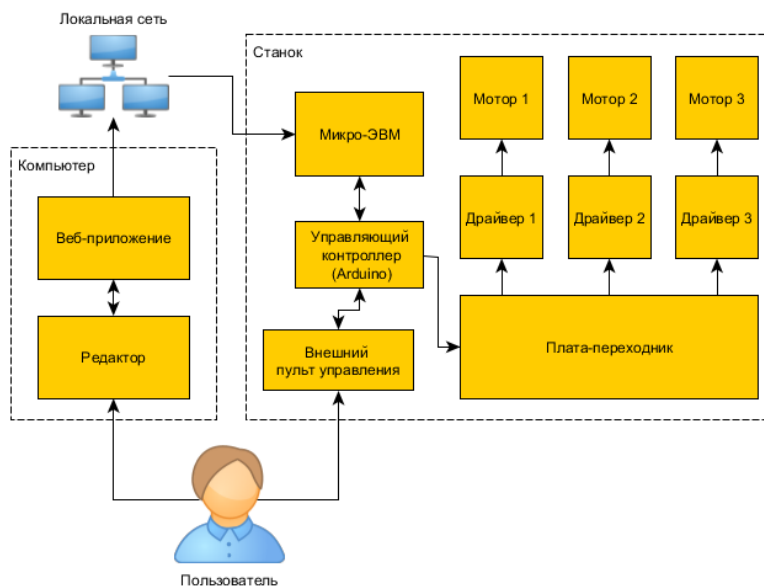


Рисунок 11 – Схема взаимодействия пользователя со станком

В настоящее время ведется активная разработка программного обеспечения включающая в себя web-приложение с удобным интерфейсом для подключения к станку, его настройки и передачи данных об изготавливаемой детали. Подключение к сети осуществляется благодаря широко распространенному микрокомпьютеру Raspberry Pi, установленному в станок. Использование операционной системы Linux позволяет выбрать различные варианты реализации программного управления и интерфейса, в том числе и под требования пользователя. Таким требованием, например, может быть использование одного из подключенных к общей сети станков в качестве общедоступного файлового хранилища.

Для нужд учебных лабораторий цифрового производства разработка ведется с использованием платформы Pharo, с использованием языка Smalltalk и C/C++.

Заключение

На данном этапе работ была усовершенствована аппаратная составляющая комплекса станка с ЧПУ (см. [1], рис. 12). Применение решений на современном техническом уровне, а также оригинальной конструкции разработанных механических элементов позволили получить устройство, которое отличает небольшая себестоимость, использование доступных материалов, компактные размеры, удобная транспортировка и воспроизводимость в лабораториях цифрового производства.

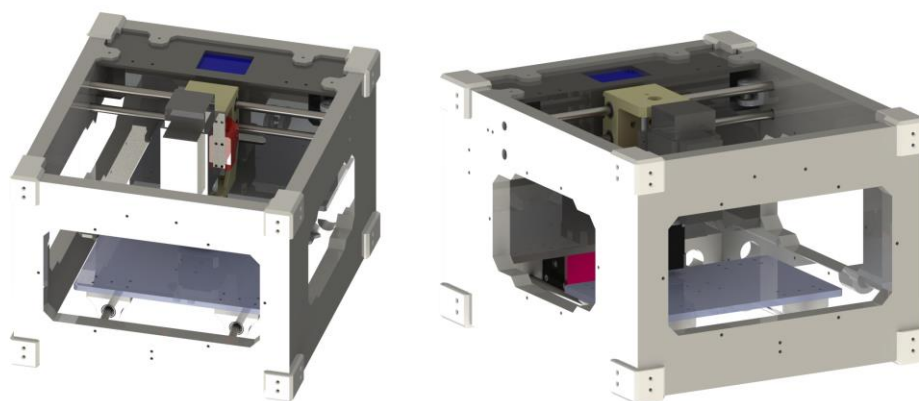


Рисунок 12 – Внешний вид разработанного универсального станка с ЧПУ

Дальнейшая работа необходимо продолжить в области программирования, управления и организации пользовательского интерфейса. Основное направление – работа станка в сети, с возможностью предоставления пользователю инструментов разработки/доработки чертежей изготавливаемых деталей [3][4] и организации распределения задач в сети [5][6].

Литература

1. Лапшинов С.А. Устройство для автоматизированного изготовления печатных плат путем фрезерования проводящего рисунка // сборник научных трудов. 20-ая Молодежная международная научно-техническая конференция "Научно-технические технологии и интеллектуальные системы 2018". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 25 апреля 2018 г. – с.204-214.
2. Сайт Центра Технического Образования, ГБПОУ «Воробьевы горы». – Электронный ресурс. Режим доступа: http://vg.mskobr.ru/add_edu/centr_tehnicheskogo_obrazovaniya/. - Проверено 20.02.2019.

Лапшинов С.А. Компактный аппаратно-программный комплекс единичного изготовления элементов электронных устройств // сборник научных трудов. 21-ая Молодежная международная научно-техническая конференция "Научно-технические технологии и интеллектуальные системы 2019". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 17 апреля 2019 г. – с.173-182.

3. Кириленко В.Д. Программный комплекс САПР и управления станками с ЧПУ // сборник научных трудов. 20-ая Молодежная международная научно-техническая конференция "Научно-технические технологии и интеллектуальные системы 2018". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 25 апреля 2018 г. – с.188-195.

4. Петров М.В. Подход к моделированию корпуса мобильного робота для изготовления в лаборатории цифрового производства // сборник научных трудов. 19-ая молодежная международная научно-техническая конференция "научно-технические технологии и интеллектуальные системы 2017". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 19 апреля 2017 г. – с.292-296.

5. Vlasov, A., Yudin, A. Distributed control system in mobile robot application: General approach, realization and usage // Communications in Computer and Information Science, 156 CCIS. 2011. pp. 180-192.

6. Yudin, A., Semyonov, M. Distributed control system for a mobile robot: Tasks and software architecture // Communications in Computer and Information Science, 161 CCIS. 2011. pp. 321-334.