

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС САПР И УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ С ЧПУ**

**Кириленко В.Д.**

**Научный руководитель: Юдин А.В.**

ГБПОУ «Воробьевы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## **SOFTWARE SYSTEM WITH CAD AND CNC MACHINE CONTROL CAPABILITIES**

***Kirilenko V.D.***

***Supervisor: Yudin A.V.***

State budget vocational and educational institution "Vorobyovi Gori", Moscow, Russia  
Bauman Moscow State Technical University, IU4 department, Moscow, Russia

### **Аннотация**

В работе представлен проект комплекса программного обеспечения для станков с ЧПУ, включающего возможность непосредственного создания чертежа детали и последующего управления инструментом станка для ее изготовления. Особенностью проектирования является уход от привычного способа создания чертежей большинства инженерных САПР в сторону комбинации существующих принципов разработки с более широкими возможностями «программирования» деталей. Рассмотрены предпосылки разработки, описаны ее этапы и принципы работы ПО, указаны дальнейшие шаги по проекту.

### **Abstract**

The paper presents a project of a software system for CNC machines, including direct part drawing and the subsequent machine tool control for its manufacturing. The peculiarity of the design is a departure from the usual way of creating drawings of the majority of engineering CAD systems in the direction for a combination of existing development principles with more extensive "programming" of the designed parts. The prerequisites of the development are considered, its stages and principles of software operation are described, the further steps of the project are indicated.

### **Введение**

В современных условиях происходят изменения привычных производственных процессов в связи с научно-техническим прогрессом. Автор занимается в учебной лаборатории цифрового производства [1] и уже на этом уровне заметны наиболее интересные для него тенденции к переходу к индивидуальному, мелко-серийному производству. Такое производство отличает необходимость быстрой переналадки, подготовки станков и инструментов для изготовления очередного, уникального проекта пользователя лаборатории, в основном для своих собственных нужд (поскольку лаборатория учебная, большую часть проектов в ней составляют учебные, но возможности оборудования позволяют решать и более серьезные задачи при достаточном объеме знаний и умений).

При работе на станках в лаборатории очень часто проявляются их ограничения. Например, время работы со станком лазерной резки можно сократить за счет автоматизации отдельных технологических переходов при изготовлении деталей. Это в свою очередь может помочь в сокращении очередей, которые выстраиваются в пиковые часы работы лаборатории при большом количестве одновременно проводимых проектов учащимися. Другим примером, может служить перерасход материала вследствие неопытности большинства новичков. Эти задачи можно успешно решать как в рамках имеющихся станков, так и разрабатывая новые, более совершенные станки по запросу пользователей лаборатории (в том числе и сторонних, например студенческих лабораторий цифрового производства [2] и входящих в международное движение FabLab[3][4]). Возможности подобных лабораторий в связи с производством деталей рассмотрены также в статье коллеги автора, учащегося лаборатории [5].

Известна разработка автора в учебной лаборатории [6][7]<sup>1</sup>, посвященная автоматизации фокусировки лазерного луча для станка лазерной резки. Техническое устройство использовало датчик и систему управления приводом фокуса оптической системы фокусировки лазера на базе микроконтроллера. Подобные модули могли бы разрешить названные проблемы и качественно дополнить имеющееся или вновь разрабатываемое производственное оборудование.

При использовании или создании любых станков с ЧПУ, а также дополнительных модулей, расширяющих их функционал, возникает два основных вопроса:

- Как управлять имеющимися устройствами с целью их эффективного взаимодействия;
- В какой программе наиболее удобно создавать чертежи.

Данный программный комплекс (далее в тексте - KIVICode) призван ответить на оба вопроса, а также уйти от привычного метода создания чертежей. Комплекс можно разбить на две части: среда разработки чертежей с функцией отправки данных на станок и часть, которая управляет непосредственно станком.

Рассмотрим наиболее популярные на данный момент способы создания чертежей:

- Геометрическая параметризация - самый распространенный вариант. Так создаются геометрические фигуры с определенными размерами. Используется в таких программах, как CorelDraw (рис. 1), SolidWorks (рис. 2).
- Вариационная параметризация - в этом случае, помимо рисования геометрических фигур, задаются соотношения некоторых размеров, вертикальность или горизонтальность двух объектов и т.п. Используется в таких программах, как SolveSpace [8] (рис. 3).
- Иерархическая параметризация - наименее распространенный среди рассматриваемых методов в среде проектирования инженерного назначения. Чертеж чаще всего создается путем наложения операторов-функций, выполняющихся один за другим (иерархии фильтров). Используется в Grasshopper [9].

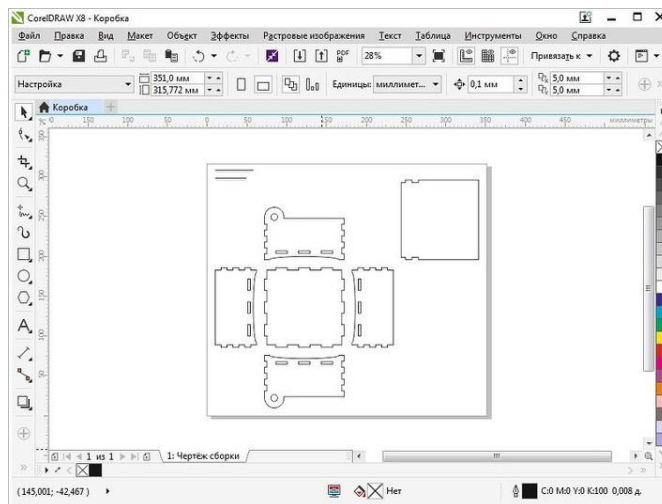


Рис. 1 – САПР CorelDraw

<sup>1</sup> Работа была удостоена Диплома 3 степени на Балтийском Научно-Инженерном Конкурсе в 2017 году.

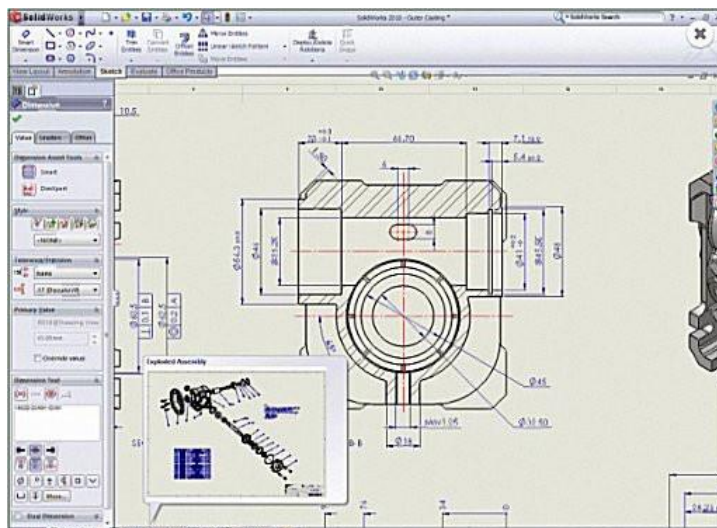


Рис. 2 – САПР SolidWorks

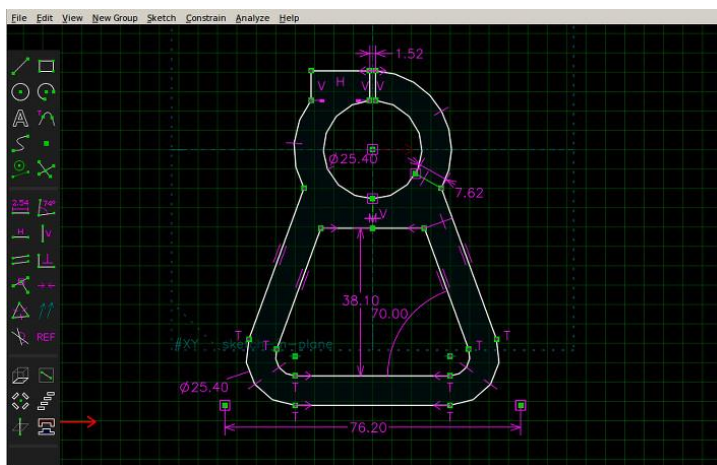


Рис. 3 – САПР SolveSpace

Следует также отметить, что большинство существующих САПР являются решениями исключительно сложными, с большим количеством инструментов и как следствие очень дорогими продуктами. Большинство функций таких САПР не востребованы в условиях учебных лабораторий цифрового производства, а использование некоторых простых САПР с открытым исходным кодом [8] (бесплатных для пользователя) на протяжении нескольких лет позволяет утверждать, что можно (и нужно) разработать наиболее удобный и доступный инструмент для нужд учебных лабораторий, учитывающий специфику наиболее распространенного используемого оборудования. Найти подобный универсальный, удобный и бесплатный продукт автор не смог.

Данная работа посвящена пересмотру традиционных инженерных подходов к созданию чертежей деталей с целью упрощения некоторых типичных операций проектирования, часто встречающихся при разработке проектов в учебной лаборатории автора. Для этого предлагается комбинация существующих принципов разработки с более широкими возможностями «программирования» деталей.

Для написания ПО был использован язык программирования Processing, ввиду удобства работы с графической информацией.

Автор благодарит лабораторию робототехники Центра Технического Образования Дворца Пионеров на Воробьевых горах (ГБПОУ «Воробьевы горы» [1]), где велась описываемая разработка, а также Центр Технологической Поддержки Образования лаборатории цифрового производства «ФабЛаб» при НИТУ «МИСиС» [2] за мотивацию и

возможность знакомства с передовыми принципами работы подобных лабораторий и оборудования.

### **Цели и задачи**

Цель проекта - создать программный комплекс удобного и быстрого создания чертежей деталей (САПР) в условиях учебной лаборатории цифрового производства с учетом наиболее востребованных станков лаборатории и специфики разработки чертежей деталей для них.

Предусмотреть в процессе разработки возможность дальнейшей модернизации программного обеспечения с целью добавления в комплекс собственной системы управления сетями приводов для упрощения создания новых станков, лучше отвечающих требованиям лаборатории цифрового производства и заказчика.

Задачи проекта:

- Изучить современные способы создания чертежей и существующие доступные станки с ЧПУ, представленные в лабораториях цифрового производства.
- Провести анализ типичных механических схем станков, их управления и требуемого перемещения инструмента (в технопарке Центра технического творчества [1]).
- На основании полученных данных анализа выбрать базовую кинематическую схему станка для последующей реализации управления используемыми движениями.
- На основании полученных данных анализа предложить подход к наиболее удобной и по возможности простой разработке деталей для изготовления на наиболее востребованных в лаборатории станках.
- Разработать удобную среду проектирования деталей (САПР), включая инструменты создания контуров, их «сложения» и «вычитания».
- Реализовать возможность визуального непосредственного задания геометрических примитивов и дальнейшего «программирования» итоговой детали с помощью системы фильтров, и с помощью встроенного языка «программирования» геометрии.
- Реализовать экспорт чертежа детали в наиболее популярные форматы данных, для использования на существующих станках учебной лаборатории.
- Провести экспериментальное изготовление детали.
- Предложить вариант организации системы управления приводами станка на базе выбранной кинематической схемы.
- Сделать выводы о дальнейшей целесообразности продолжения проекта.

### **Общее описание системы, принципов работы и используемых технологий**

Рассмотрим среду разработки чертежей KIVICode: основным преимуществом данного решения является возможность свободно переключаться между вариационной параметризацией и фильтрами, как между двумя изолированными программами с общим выводом.

Фильтры представляют собой блоки со входами и выходами. На входы подаётся фигура или различные значения параметров, заложенных внутри фильтра. На выходе получаем сгенерированную фигуру с заданными параметрами изменения.

Пользователь может создавать собственные фильтры, используя встроенный редактор и созданный автором высокоуровневый язык «программирования» геометрии.

Одной из особенностей является наличие двух встроенных фильтров, которые на вход получают две фигуры и либо «Вычитают» одну из другой, либо «Складывают» их (рис. 5). Данные фильтры значительно упрощают создание сложных фигур с вырезами или выпуклыми частями, когда на создание подобных фигур в других редакторах может уйти

значительно больше времени. Примечание: на рис. 4 красным обозначено “Вычитание”, а синим “Сложение”.

Однако не всегда удобно работать с фильтрами, например при изготовлении простых деталей. Тогда можно воспользоваться графическим редактором, в котором можно задавать размеры фигур, соответствие точек, расстояние между ними, горизонтальность и вертикальность, что помогает быстро и качественно создать детали средней и низкой сложности.

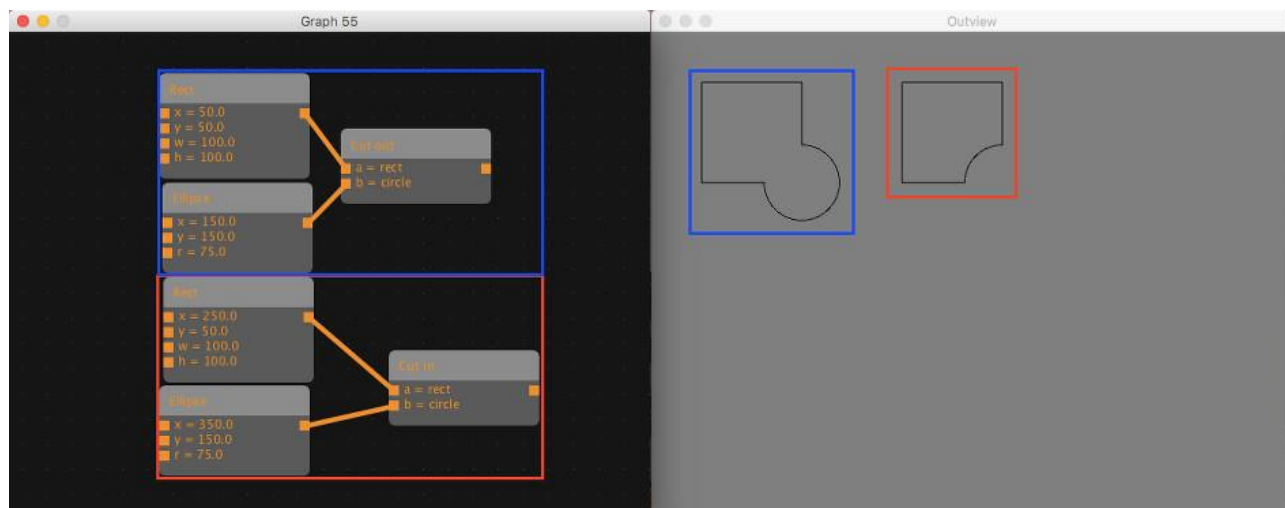


Рис. 4 – “Сложение” и “Вычитание” фигур с помощью иерархии «фильтров»

Поскольку наиболее востребованный в учебной лаборатории оказался станок лазерной резки (до 80% всех работ лаборатории выполняется на нем) было решено работать с контурами фигур в плоскости, поскольку это хорошо отражает специфику технологического процесса изготовления деталей на данного вида станках.

Программа экспортирует полученный чертеж в наиболее популярные форматы, используемые существующими станками, такие как DXF, GCode, SVG, PDF, PNG и DVG.

### Исследовательская часть

Исследовательская часть в данном проекте состояла в нахождении оптимального алгоритма “Сложения” и “Вычитания” фигур и в нахождении наиболее удобного формата “общения” компьютера и станка.

Главной сложностью в создании алгоритма было нахождение способа получить непосредственно контур сплошной фигуры, созданной подпрограммой.

На рис. 5 представлен примерный алгоритм работы KIVICode.

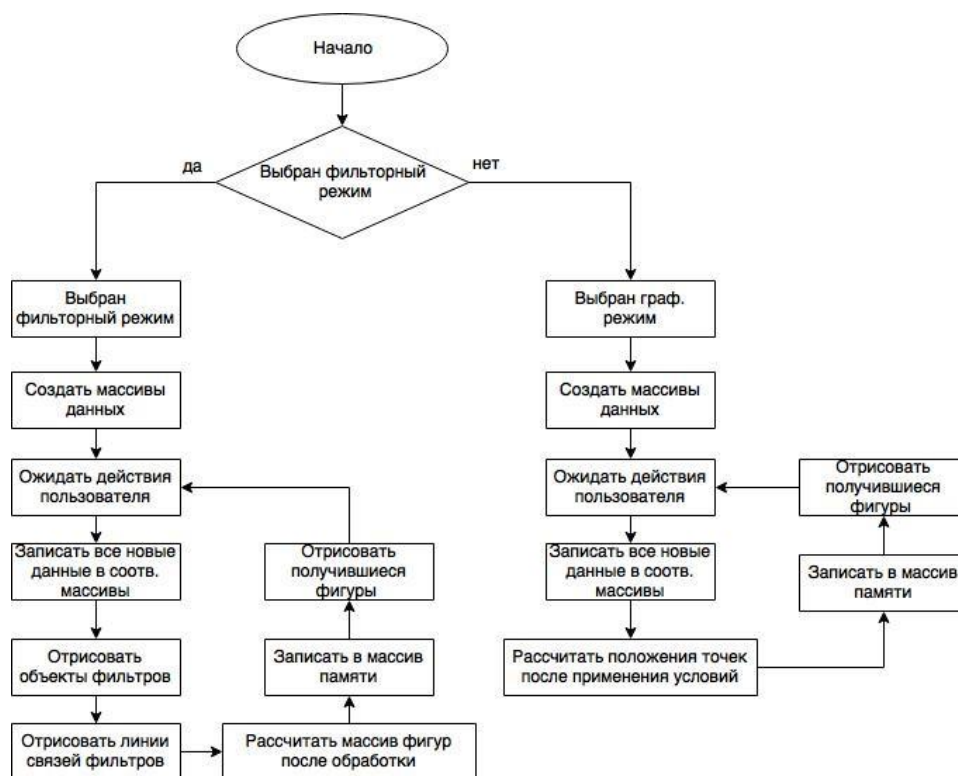


Рис. 5 – алгоритм работы KIVICode

### Подход к организации системы управления приводами станка

Как упоминалось выше, алгоритм “общения” компьютера и станка был реализован максимально просто для понимания. Способ непосредственно отправки данных на станок выглядит следующим образом: компьютер - парсер(конвертер) - управляющая электроника (в данном случае - raspberry pi) - станок (имеется ввиду именно конструкция), схема изображена на рис. 6.

Простота способа передачи чертежа состоит в том, что данные отправляются на станок в виде набора команд с параметрами. Например, для того, чтобы что-то вырезать необходимо отправить на станок строки следующего формата: “l(0,0,100,100);” и “r(100,100,50,50);”. Данная строка обозначает, что станку необходимо вырезать линию из точки (0,0) в точку (100,100) и прямоугольник с левой-верхней вершиной в точке (100,100) и со сторонами 50 и 50.

Такая форма передачи данных будет удобна как для разработчика, так и для самого станка. В данном примере “l” и “r” являются обозначениями команд выреза линии и квадрата соответственно, а в скобках через запятую перечисляются параметры заданных фигур.

Подобные команды пользователь может создавать самостоятельно с помощью возможностей встроенного языка «программирования» геометрии под самые разные задачи.

Данные между компьютером и преобразователем передаются по протоколу RS-232(Com port), а между преобразователем и raspberry pi передаются по протоколу, представленном ниже. На рис. 6 блоками серого цвета обозначены команды, отправляемые компьютером, а белого - преобразователем. Условные обозначения: SYNC - команда синхронизации, PASC - отправка строки с данными, SUC - подтверждение успешной операции, POS - отправка текущей позиции курсора станка, FIN - команда завершения сессии.

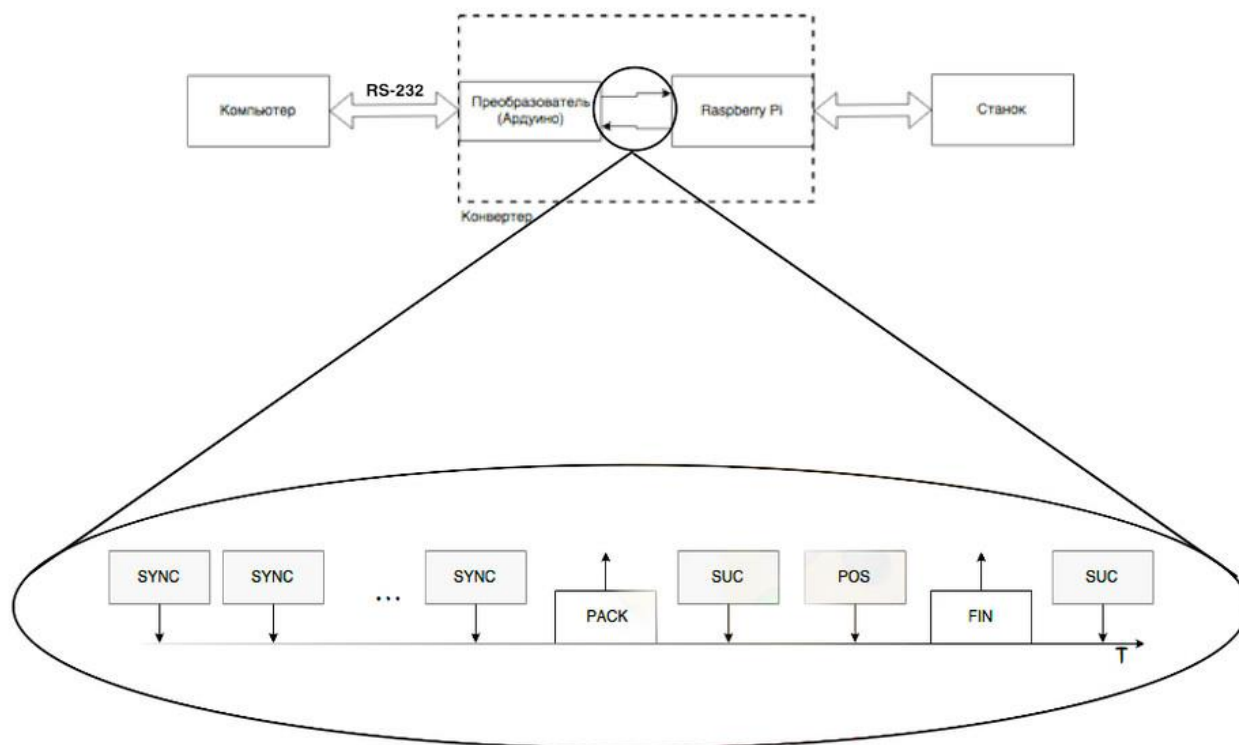


Рис. 6 – блок-схема передачи данных между станком и компьютером

Требуется дальнейшая работа по разработке устройства сетевого взаимодействия нескольких приводов станка таким образом, чтобы иметь возможность «программирования» их взаимного поведения, используя описываемую среду как интегрированную. В этом случае пользователь сможет создавать необходимое поведение станка используя предложенный вариант «изменяемого g-кода».

Анализ показал, что на данном этапе наиболее целесообразно сконцентрироваться на 3 степенях свободы в схеме обработки детали инструментом, поскольку подавляющее большинство востребованных станков имеют похожую кинематическую схему (подвижный в плоскости стол и перемещаемый по вертикали инструмент или подвижный в плоскости инструмент и перемещаемые по одной координате стол).

### Заключение

Во время работы было выявлено значительное преимущество языка программирования Processing перед остальными языками. Он изначально направлен на работу с графикой и позволяет сконцентрироваться реализации программной логики.

Разработка сборки ПО для станков с ЧПУ имеет большой потенциал внедрения во множестве лабораторий цифрового производства. Автор планирует продолжить работу и развивать проект в сторону увеличения функционала САПР, а также дополнить его возможностью «программирования» сетевых приводов вновь создаваемого станка.

Поскольку существуют и известны проекты по созданию самодельных станков с ЧПУ [10], дальнейшая работа автора может быть востребована в том числе и в многочисленном международном сообществе разработчиков подобных решений.

### Информационные источники

1. Сайт Центра Технического Образования, ГБПОУ «Воробьевы горы». – Электронный ресурс. Режим доступа: [http://vg.mskobr.ru/add\\_edu/centr\\_tehnicheskogo\\_obrazovaniya/](http://vg.mskobr.ru/add_edu/centr_tehnicheskogo_obrazovaniya/). - Проверено 20.01.2018.
2. Сайт лаборатории цифрового производства «ФАБЛАБ» НИТУ «МИСиС». – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://fablab77.ru>. - Проверено 20.01.2018.
3. N. Gershenfeld, “How to make almost anything, the digital fabrication revolution,” Foreign Affairs, vol. 91, no. 6, 2012. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.foreignaffairs.com/articles/138154/neil-gershenfeld/how-to-make-almost-anything>. - Проверено 20.01.2018.
4. N. Gershenfeld, “The third digital revolution,” presented at the Solid 2014 Conference, San Francisco, CA, USA, May 21–22, 2014. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://solidcon.com/solid2014/public/schedule/detail/35425>. - Проверено 20.01.2018.
5. Лапшинов С.А. Актуальность технологических возможностей лаборатории цифрового производства при разработке мобильного робота // сборник научных трудов. 19-ая молодежная международная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2017". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 19 апреля 2017 г. – с.255-263.
6. Кириленко В.Д. Устройство автофокусировки лазерного луча для модификации станка лазерной резки // Тезисы проектов Балтийского научно-инженерного конкурса. Секция «Техника». – Санкт-Петербург, 30 января – 2 февраля 2017.
7. Кириленко В.Д. Устройство автофокусировки лазерного луча для модификации станка лазерной резки // Сборник научных трудов. 18-ая молодежная международная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2016". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 20 апреля 2016 г. – с.234-239.
8. Параметрическая САПР 2Д/3Д моделирования с открытым исходным кодом. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://solvespace.com> – Проверено 20.01.2018.
9. Алгоритмическое моделирование с помощью Grasshopper - Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.grasshopper3d.com> – Проверено 20.01.2018.
10. Проекты самодельных станков, разработанных в лаборатории цифрового производства – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://cba.mit.edu/projects/mtm/>. - Проверено 20.01.2018.
11. Платформа прототипирования и разработки электронных устройств Arduino. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.arduino.cc>– Проверено 20.01.2018.
12. Руководство разработчика по языку Processing. – Электронный ресурс. Режим доступа: <https://processing.org/reference/>. - Проверено 20.01.2018.
13. Григорьев П.В., Егоркин К.С., Кириллов А.В., Костюченко С.В., Лобанов В.С. Мехатронный модуль с органом технического зрения // Сборник научных трудов. 14-ая молодежная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2012". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 25-26 апреля 2012 г. – С.202-208.