

РобоФинист-2024  
Творческая категория (средняя)

## Инженерная книга

Коллаборативный робот-помощник COBOTRACK  
Роботизированная уборка городской среды

Выполнил: Герасименко Георгий Андреевич  
БОУ г.Омска «Лицей БИТ», 8 класс  
Технопарк «Кванториум», IT-квантум

Научный руководитель: Аллагулов Станислав  
Сайфуллович, педагог дополнительного  
образования детского технопарка «Кванториум»  
г.Омска

г. Омск  
2024 г.

# КОЛЛАБОРАТИВНЫЙ РОБОТ-ПОМОЩНИК «COBOTRACK»

Герасименко Георгий Андреевич  
Омская область, г.Омск, БОУ г. Омска "Лицей БИТ", 8 класс

## Аннотация

Коллаборативный робот-помощник «Cobotrack» — это промышленное оборудование, которое выполняет функции человеческой руки. Роборука может быть как отдельным устройством и работать бок о бок с человеком, так и составной частью сложного роботизированного комплекса.

Моя промышленная роборука с пятью степенями свободы может выполнять сложные движения в трехмерном пространстве. Каждая ось оснащена отдельным сервоприводом или шаговым двигателем. Также роборука имеет редукторный захват.

Для того чтобы Робот-помощник «Cobotrack» мог выполнять автономно задания, я его оснастил машинным зрением. Для этого подключил web-камеру к raspberry pi 4 и написал скрипту на Python с использованием открытой библиотеки OpenCV.

При обнаружении объекта в заданной области заданным цветом Робот-помощник «Cobotrack» начинает следить за ней и при определенных условиях осуществлять захват и перемещение в пространстве.

Сейчас моя роборука способна сортировать вещи на складе, обнаруживать и перемещая необходимый предмет на сборочной стол оператора. Но я хочу научить её детектировать мусор и осуществлять уборку в автономном режиме.

Примеры применения робота-манипулятора «Cobotrack»:

- В нефтеперерабатывающей отрасли роботы-манипуляторы используются для автоматизации работы с опасными веществами.
- Автоматизация производственных процессов на производстве, таких как сборка, упаковка, погрузка-разгрузка и т.д.
- Коллаборативная автоматизация процессов на производстве, где часть работы выполняет робот-манипулятор, а часть работы люди. Так, например, я хочу его научить помогать мне в 3D-печати. Как известно после окончания печати модель необходимо извлечь из принтера, перед тем как запустить новую, и я уверен, что мой коллаборативный робот-помощник «Cobotrack» сможет мне в этом помочь. И благодаря роботу мне не придётся подходить к принтеру каждый раз после окончания печати, что неизбежно поможет мне делать свои проекты гораздо быстрее 😊

**Ключевые слова:** Коллаборативная робототехника, кобот, 3D моделирование, проектирование, FDM печать, программирование на Arduino/Python, машинное зрение.

## Содержание

Обоснование актуальности .....	3
Цели и задача .....	3
Анализ существующих решений .....	3
Дорожная карта .....	3
Техническое описание механизмов робота-манипулятора .....	4
Разработка роботизированной руки .....	4
Расчет максимальной полезной нагрузки роборуки.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Дизайнерское решение.....	5
Проектирование схемы электроники и программирование .....	5
Сборка, тестирование. Экспериментальная часть. ....	5
Анализ полученных результатов .....	6
Коммерциализация.....	7
Выводы .....	7
Список литературы: .....	8
Приложение 1. Технические характеристики .....	9
Приложение 2. Схема электрическая принципиальная .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Приложение 3. Фрагмент программного кода для Arduino....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

## **Обоснование актуальности**

Автоматизация процессов очень важна на любом производстве, т.к. от этого зависит качество, количество и себестоимость товаров, которые производит то самое производство. Люди предрасположены делать ошибки, есть даже такое понятие как человеческий фактор, и его можно сократить до минимума автоматизируя однотипные процессы. Поэтому у меня возникла идея спроектировать коллаборативного робота-помощника, который бы помогал коммунальным работникам, а также работникам на производстве.

## **Цели и задача**

До сих пор на производстве, будь то конвейерная лента на сборочном производстве или сортировка товаров на складе, можно встретить людей, которые каждую смену делают однотипную работу. Тоже самое делают и коммунальные работники, одно и тоже изо дня в день.

Повсеместное внедрение коллаборативных роботов-помощников позволит сократить человеческий ресурс, который затрачивается на выполнение примитивных задачах и позволит переквалифицировать персонал в более наукоёмкие профессии, что в конечном счете позитивно отразится на ситуации и предприятие сможет выпускать продукцию и быстрее и качественнее, а за счет переквалификации персонала также сможет увеличить ассортимент и рынок сбыта, что в конечном счете только увеличит прибыль предприятию.

Коллаборативный робот-помощник позволит выйти на качественно новый уровень обслуживания и производства!

## **Анализ существующих решений**

Проанализировав существующие решения, я пришел к выводу, что рынок промышленных роботов-манипуляторов уже достаточно сформирован, но решения очень дорогие и требуют сложнейшей настройки. Одними из самых популярных являются роборуки KUKA и FANUC. Роботов-манипуляторов размещенных на гусеничной платформе я совсем не нашел на рынке.

## **Дорожная карта**

Я проанализировал существующие конструкции и решения и выработал свою дорожную карту по разработке коллаборативного робота-помощника Cobotrack:

### **1. Проектирование пяти осевой роборуки**

Я спроектировал роборуку в САПР Компас 3D. Получилось больше 30 деталей, которые я собрал в сборку и получил 3D модель робота-манипулятора.

- 2. Проектирование гусеничной платформы с системой амортизации**
- 3. Разработка электрической схемы и сборка электроники**

Мною была разработана схема на базе arduino и raspberry pi.

- 4. Изготовление деталей и сборка функционального прототипа**

Детали робота-помощника я распечатал на 3D принтере. Запрограммировал arduino+raspberry pi, реализовав движение и захват с помощью машинного зрения с распознаванием предмета по цвету.

### **Техническое описание механизмов робота-манипулятора**

#### **Разработка роботизированной руки**

Роборука – это многоцелевая роботизированная манипуляторная установка с захватом. Всё проектирую в САПР Компасе 3D [1, с.3], детали собираю в сборку, если всё ок, то печатаю на 3D принтере и собираю.

Изучил учебное пособие по роботизированным системам [2, с.8] и спроектировал роборуку с пятью степенями свободы и редукторной клешней захвата, это позволяет использовать маломощный сервопривод для удерживания больших предметов. Роборука представлена на рис.6. До изготовления мною было произведено математическое моделирование в ПО ARTAS SAM механики роборуки, для того чтобы оценить рабочие характеристики.

Максимальный вертикальный вылет получился 776мм, максимальный горизонтальный вылет 776мм. Этих характеристик достаточно для выполнения задач по сбору, перекладыванию и транспортированию крупных предметов по всему периметру гусеничной платформы.

Также я предусмотрел две поворотные оси для захвата, что помогает захватывать предметы любой формы в любом направлении. Максимальный поворот составляет  $\pm 360^\circ$

Редукторный захват на роботизированной руке является съёмным, его можно заменить на другой захват в зависимости от целей. На текущий момент я спроектировал редукторный захват в виде клешни.

В качестве сервоприводов были использованы сервоприводы с двигателем постоянного тока и максимальным крутящим моментом от 25кг\*см до 150 кг\*см. Такой сервопривод способен удерживать груз от 25кг до 150кг на рычаге длиной 1см от вала сервопривода. Зная длины и все всех сегментов роботизированной руки, я провел расчет полезной нагрузки, которую робот может перемещать в пространстве.

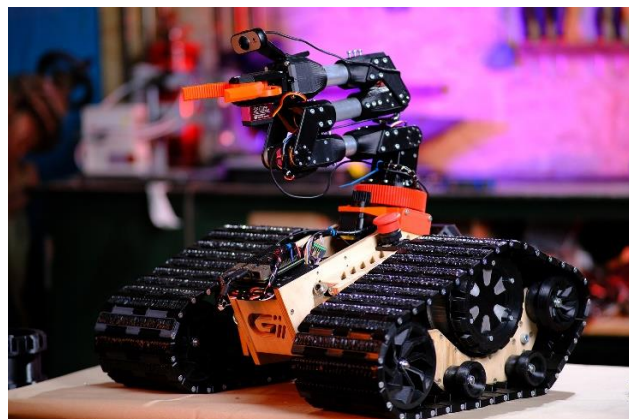
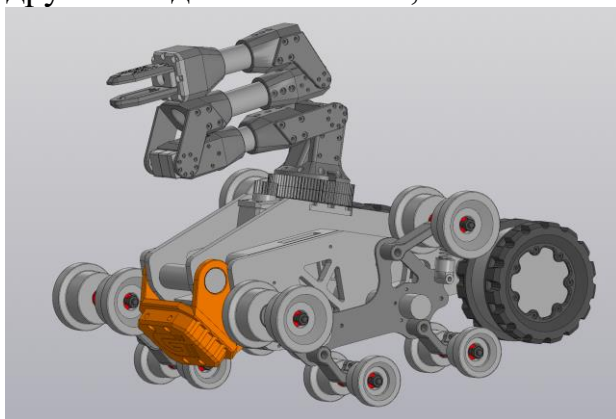
В ходе проведения испытаний выяснилось, что угловые ускорения и скорости работы сервоприводов слишком высокие. При захвате полезной нагрузки близкой к максимальной возникали сложности в управлении из-за инерции и перегреву сервоприводов. Самым высоконагруженным сервоприводом оказался самый нижний. Выходы из строя сервоприводов меня

навели на мысль, что нужно как-то ограничивать ток или ограничивать ускорения и скорости. Идеальным решением проблемы стала бы установка дополнительных редукторов, но для этого нужно было бы менять сервоприводы на шаговые двигатели, т.к. максимальный ход у сервоприводов 180 градусов и переделываться концептуально всю роботу. Но я счел достаточным использование специальной библиотеки для сервоприводов, в которой можно ограничить ускорение и скорость сервопривода. Результат меня устроил, роборука стала медленнее и плавнее перемещаться с грузом.

Еще одной особенностью роборуки является скрытая проводка, я очень много времени уделил кабель-менеджменту, в текущем исполнении роборука и выглядит красиво и защищена от механических воздействий при перевозке крупных грузов.

### **Дизайнерское решение**

Промдизайн при проектировании занимает далеко не последнее значение, поэтому я переделываю эскиз по несколько раз, провожу опрос среди своих друзей и одноклассников, и только потом как начинаю изготавливать.



### **Проектирование схемы электроники и программирование**

Схему собирал на Arduino, Raspberry pi, web-камере. Электрическая схема приведена в прил.2.

Скетч для Arduino кодил в Arduino IDE, сигналы на сервы идут как раз с Arduino, читал книжку [3, с.250], смотрел ролики в youtube, боролся с багами. Скрипт для Raspberry PI 4 кодил ещё дольше. С использованием библиотеки OpenCV [4] удалось реализовать распознавание цвета, выделение области контуром, поиск центра контура и передача этих координат на Arduino для дальнейшего управления сервами.

### **Сборка, тестирование. Экспериментальная часть.**

Все пластиковые элементы распечатал на своём 3D принтере пластиком ПЭТГ. Процесс печати деталей очень сильно растянулся во времени из-за медленной технологии FDM. Не все детали подходили с первого раза, даже если

в сборки САПР Компас3D всё выглядело отлично. Т.к. пластик ПЭТГ имеет усадку после печати, то ее тоже нужно было учитывать, иначе либо зазоров не было, либо были большие. С опытом начинаешь понимать, как правильно проектировать детали для печати на 3D-принтере и становиться меньше брака и потерянного времени.

После того как был собрана роборука я закрепил ее на гусеничной платформе для того, чтобы оценить всю мощь моей идеи.

Я вижу безграничные возможности для внедрения в разные сферы услуг и производства моего коллаборативного робота-помощника.

Мне нравится то, чем я занимаюсь, и я делюсь этим со зрителями через свой youtube канал «ТехноМейкер». На канале у меня выложены видеоролики со сборкой и тестированием робота Cobotrack [5].

### **Анализ полученных результатов**

Коллаборативный робот-помощник Cobotrack получился функциональным и красивым. Cobotrack уже сейчас имеет автономные функции по распознаванию, слежению, захвату и перемещению объектов в пространстве. Полные технические характеристики представлены в Прил.1. Виртуальный тур с обзором 3D-модели моего робота см. по ссылке [6], там его можно посмотреть со всех сторон.

Мне еще очень много предстоит сделать. Я ищу программиста в команду, чтобы ускорить разработку проекта, т.к. сам больше люблю моделировать и создавать новые механизмы и машины. Хочу сделать коллаборативного робота-помощника автономным и безопасным, для этого нужно реализовать целый комплекс мер, начиная от установки вращающегося лазерного лидара для построения цифрового пространства до внедрения искусственного интеллекта для анализа информации с датчиков и принятия решений.

## Коммерциализация

Я провел экономический анализ, сравнение с конкурентами и подсчитал емкость рынка. Если коллаборативного робота-помощника Cobotrack вывести на рынок, то можно заработать 5,1 млрд.руб, см.Табл.1.

Таблица 1. Оценка объема рынка

Сверху вниз	Снизу вверх
<b>TAM - 102,0 млрд руб.</b> Рынок автоматизации предприятий в России	<b>SOM – 1.08 млрд руб.</b> В конкурентной среде продукт займет 5%.
<b>SAM – 51,0 млрд руб.</b> 10% услуг оказывается для ВТГ (государства)	<b>SAM – 10.8млрд руб.</b> 10% услуг оказывается для ВТГ (государства)
50% услуг оказывается для ВТС (бизнес)	50% услуг оказывается для ВТС (бизнес)
<b>SOM – 5.1 млрд руб.</b> В конкурентной среде продукт займет 5%	<b>TAM – 21.6 млрд руб.</b> Рынок автоматизации предприятий в России.

## Выводы

Подводя итоги создания коллаборативного робота-помощника Cobotrack, я вижу огромный потенциал использования его для автоматизации многих производственных процессов. Робот Cobotrack сможет делать рутинную работу по сборке, сортировке, погрузке/разгрузке/загрузке и т.п., в итоге человек сможет заниматься более высококвалифицированным трудом.

Я уверен, что мой кобот-помощник Cobotrack будет приносить пользу людям!



## Список литературы:

1. Никонов Вячеслав. КОМПАС-3D: создание моделей и 3D-печать./В.В.Никонов — СПб.: Питер, 2020. — 208 с.: ил. — (Серия «Учебное пособие»).
2. Робототехнические системы: Учебное пособие / В. Г. Хомченко — Омск: ОмГТУ – 195 стр., 2016.
3. Цикл статей OpenCV в Python /Sthitaprajna Mishra, MaxRokatansky / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/558426/>
4. Петин В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino./ В.А.Петин — СПб.: БХВ-Петербург, 2014. — 400 с.
5. Герасименко Георгий Андреевич. Youtube-channel “Техномейкер”. Обзор и создание робота Cobotrack / Г.А. Герасименко / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://youtu.be/\\_ONPqvG3JPE](https://youtu.be/_ONPqvG3JPE)
6. Герасименко Георгий Андреевич. 3D тур с виртуальным обзором коллаборативного робота Cobotrack на платформе sketchfab.com/Г.А. Герасименко / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sketchfab.com/3d-models/cobotrack-33b7c285ac834cbb86b0ac1a2942d5ea>

## Приложение 1. Технические характеристики

Модификация	Cobotrack
Эксплуатационная масса, кг	25
Сервоприводы	DC
Кол-во осей вращения, шт	5
Напряжение питания, В	36
Машинное зрение	Есть (web-camera + raspberry pi)
Роборука	
Степеней свободы	5
Максимальный крутящий момент сервопривода, кг*см	150
Полезная нагрузка, г	500
Длина роботизированной руки, мм	776
Захват	Клешневой, редукторный
Максимальное раскрытие захвата, мм	70
Удельное давление при захвате, кг/см <sup>2</sup>	0,5
Рабочие характеристики	
Габаритные размеры (ДхШхВ) без отвала, мм	450x450x400
Материал изделия	Пластик PETG, фанера, алюминий