

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

Институт энергетики и электротехники

(наименование института полностью)

Кафедра « Промышленная электроника »

(наименование кафедры)

27.03.04 Управление в технических системах

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Системы и технические средства автоматизации и управления

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Манипулятор лабораторного стенда «Автоматизированная складская система»

Студент

А.В. Ермаков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Е.С. Глибин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

Д.Г. Токарев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Н.В. Яценко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

к.т.н., доцент, А.А. Шевцов

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

(личная подпись)

« _____ » _____ 20__ г.

Тольятти 2018__

Аннотация

В данной бакалаврской работе разрабатывается конструкция лабораторного стенда «Автоматизированная транспортно-складская система», на базе робота-манипулятора, а также разработка необходимых дополнительных компонентов стенда: конвейера для перемещения сортируемых предметов, и барабанного склада для их хранения. Подробно описан алгоритм работы манипулятора и взаимодействие его с компонентами лабораторного стенда. А также представлен процесс разработки захватного устройства, и представлен обзор других типов захватных устройств. В каждом из разделов разработки приведены схемы, расчёты, а также 3D модели конструкций, которые были спроектированы в САПР Компас-3D V16.1.

Бакалаврская работа имеет объём 55 страниц машинописного текста, 40 рисунков, 20 источников и графическую часть в объёме 6 листов А1.

Abstract

The title of the graduation work is «The Manipulator of the Laboratory Stand «Automated Warehouse System»

The aim of the work is to develop a laboratory stand for automation of the storage process. The laboratory stand is designed to be shown at various exhibitions, as well as to visualize the practical implementation of the facilities of modern microcontrollers and to attract entrants to technical specialties.

The graduation work is devoted to the development of the robot-manipulator, transport tape, as well as an automated warehouse for part sorting according to color.

We start with the statement of the problem and then logically pass over to its possible solutions. We examine in details the existing modern laboratory stands for training in universities. We then analyze their advantages and disadvantages, consider the design of the technological process of warehousing and equipment. We describe in details the algorithm for the manipulator operation and its interaction with the components of the laboratory stand.

We create 3D-model of the stand, and develop the robot manipulator and the construction of its gripper. We then analyze the existing types of grippers and choose the most suitable for us.

After analyzing the existing grippers, the best option has been chosen: a clamp-type gripper, which has a simple design and high reliability in operation.

In conclusion, I would like to emphasize that all the tasks of development and design have been solved.

Содержание

Введение.....	6
1 Обзор существующих лабораторных стендов транспортно-складских комплексов.....	7
1.1 Конструктор Fischertechnik ROBOTICS ElectroPneumatic	7
1.2 Учебный лабораторный стенд PASKAL AC-1 OMEGA 1-3L.....	12
2 Разработка конструкции лабораторного стенда «Автоматизированная транспортно-складская система».....	14
2.1 Выбор функциональных компонентов стенда.....	14
2.1.1 Модуль линейного перемещения робота-манипулятора по горизонтальной оси.....	15
2.1.2 Робот-манипулятор.....	17
2.1.3 Захватное устройство	18
2.1.4 Конвейер и транспортная лента	19
2.1.5 Барабанный склад.....	20
3 Разработка робота-манипулятора.....	22
3.1 Внешний вид	22
3.2 Определение систем координат	23
3.3 Количество степеней подвижности	27
3.4 Определение рабочей зоны манипулятора.....	29
4 Разработка захватного устройства и его конструкции	33
4.1 Описание захватного устройства	33
4.2 Классификация схватов.....	34
4.3 Разработка захватного устройства	38
4.3.1 Расчёт механических ЗУ	39
4.3.2 Силовой анализ механизма, и определение усилия электропривода..	39
4.4 Сборка рабочего захватного устройства	42
5 Технико-экономическая часть разработки лабораторного стенда	44
5.1 Описание лабораторного стенда сортировочно-складской системы	44
5.2 Комплектующие для реализации проекта	45

5.2.1	Оценка работа-манипулятора	45
5.2.2	Оценка модуля линейного перемещения работа-манипулятора.....	48
5.2.3	Оценка транспортного конвейера	49
5.2.4	Оценка склада с четырьмя ячейками.....	51
5.3	Итоги оценки экономической эффективности проектных решений.....	51
	Заключение	53
	Список используемой литературы	54

Введение

Современное стремление к развитию автоматизации производственных процессов и рост автоматизированных предприятий, привели к увеличению набора требований, предъявляемых к системам сортировки и роботизированным технологическим комплексам. Конкуренция в условиях рынка и высокая стоимость оборудования вынуждает разрабатывать новые методы повышения эффективности процесса разработки при меньших затрачиваемых средств на реализацию. Для решения проблемы следует выбирать наиболее простые, дешёвые и эффективные компоненты комплекса, а также альтернативные способы управления.

Нам стали интересны проекты автоматизации промышленных и транспортных потоков предприятий. Огромная свобода для полёта фантазии: всевозможные захваты и подъёмные механизмы, сортирующие устройства и транспортные линии, станки с системами числового программного управления (СЧПУ), а также системы дистанционного управления всем этим и многое другое.

Целью бакалаврской работы является разработка робота-манипулятора для учебного стенда "Автоматизированный транспортно-складской комплекс", а также дополнительных компонентов, необходимых для работы стенда, которые включают: конвейер и барабанный склад. Для нормального функционирования данные дополнительные компоненты должны располагаться на определённом расстоянии друг от друга. Для достижения поставленной цели необходимо:

- 1) разработать конструкцию лабораторного стенда и его компонентов;
- 2) разработать робот-манипулятор и систему для его перемещения;
- 3) проанализировать существующие типы захватных устройств и разработать аналог для стенда;

1 Обзор существующих лабораторных стендов транспортно-складских комплексов

Имеющиеся системы автоматизации зачастую предъявляют высокие требования к квалификации работников. Человеку без глубоких знаний в программировании и электронике сложно управлять, а тем более самостоятельно создавать подобные автоматизированные системы. Поэтому всё чаще в рамках подготовки инженеров создаются учебные стенды таких систем. Задачи лабораторных учебных стендов, имитирующих работу автоматизированных транспортно-складских комплексов, состоят в том, чтобы на практике продемонстрировать работу системы склада, увидеть её слабые места, более детально рассмотреть все методы решения задач, выполняемых автоматизированными складскими системами на реальном объекте, и по возможности удешевить и ускорить процесс их работы, а также отточить навыки расчёта и создания таких систем и управления ими.

1.1 Конструктор Fischertechnik ROBOTICS ElectroPneumatic

Линейка конструкторов Fischertechnik (Фишертехник) включает наборы для всех возрастов — от дошкольников до студентов, и используются в средних профессиональных и высших учебных заведениях для демонстрации принципов моделирования производственных процессов и работы механизмов.

Для нас наибольший интерес, конечно, представляет робототехническая серия — ROBOTICS ElectroPneumatic, которая включает в себя модель робота цветосортировщика. Модель представлена на рисунке 1.1.

Данный учебный робот Fischertechnik должен сортировать шайбы по цвету.

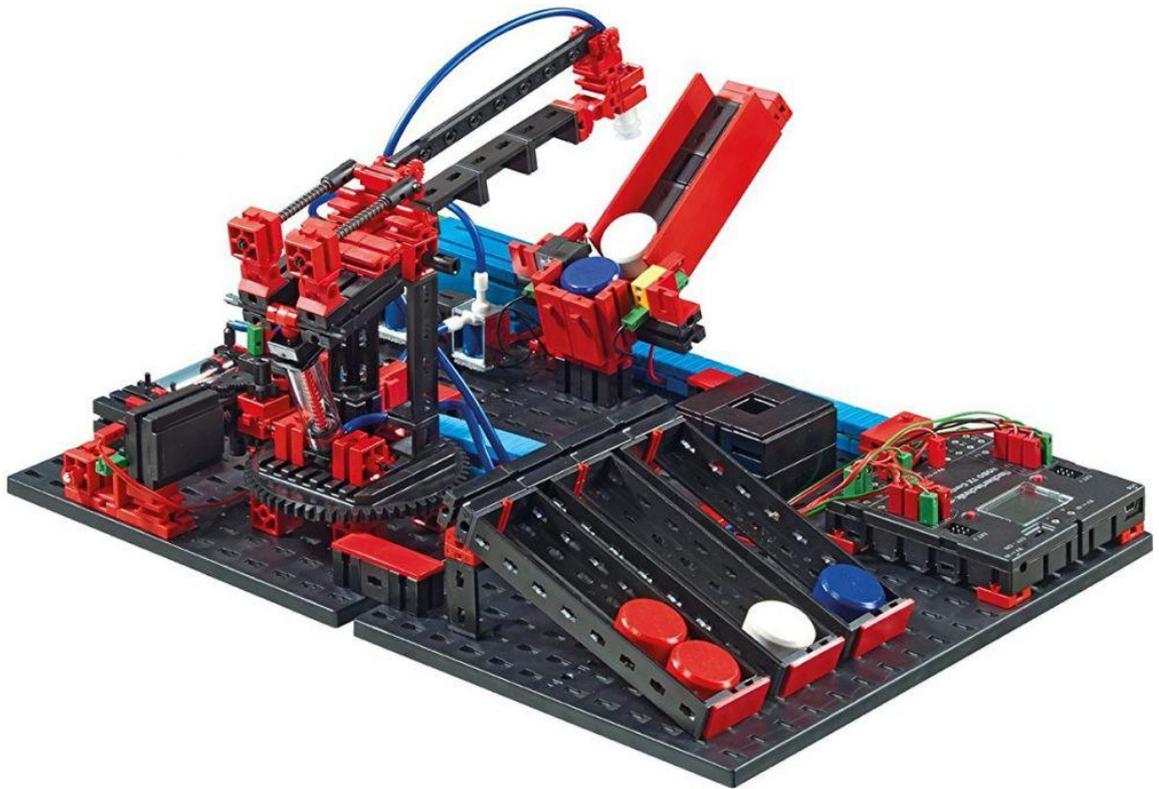


Рисунок 1.1 – Модель из набора ROBOTICS ElectroPneumatic

Роль захвата выполняет вакуумная присоска. Для создания вакуума собирается устройство из двух цилиндров, у которых поршневые штоки соединены между собой, — модель вакуумного насоса, представленная на рисунке 1.2.

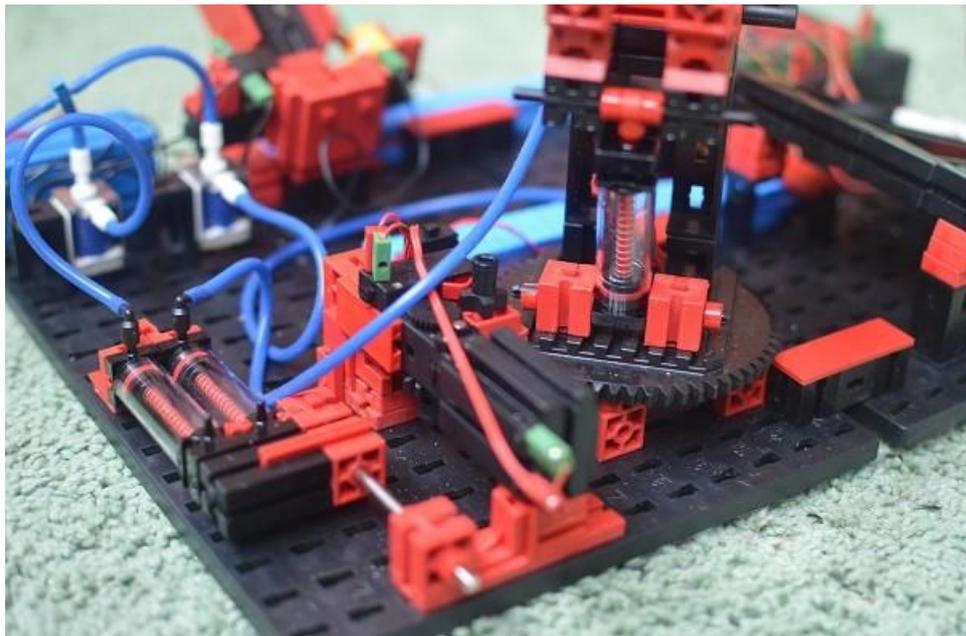


Рисунок 1.2 – Модель вакуумного насоса

Для вращения манипулятора используется электромотор совместно с редуктором, а чтобы робо-рука опустилась или наоборот поднялась — пневматическая передача. Робо-рука манипулятора представлена на рисунке 1.3.

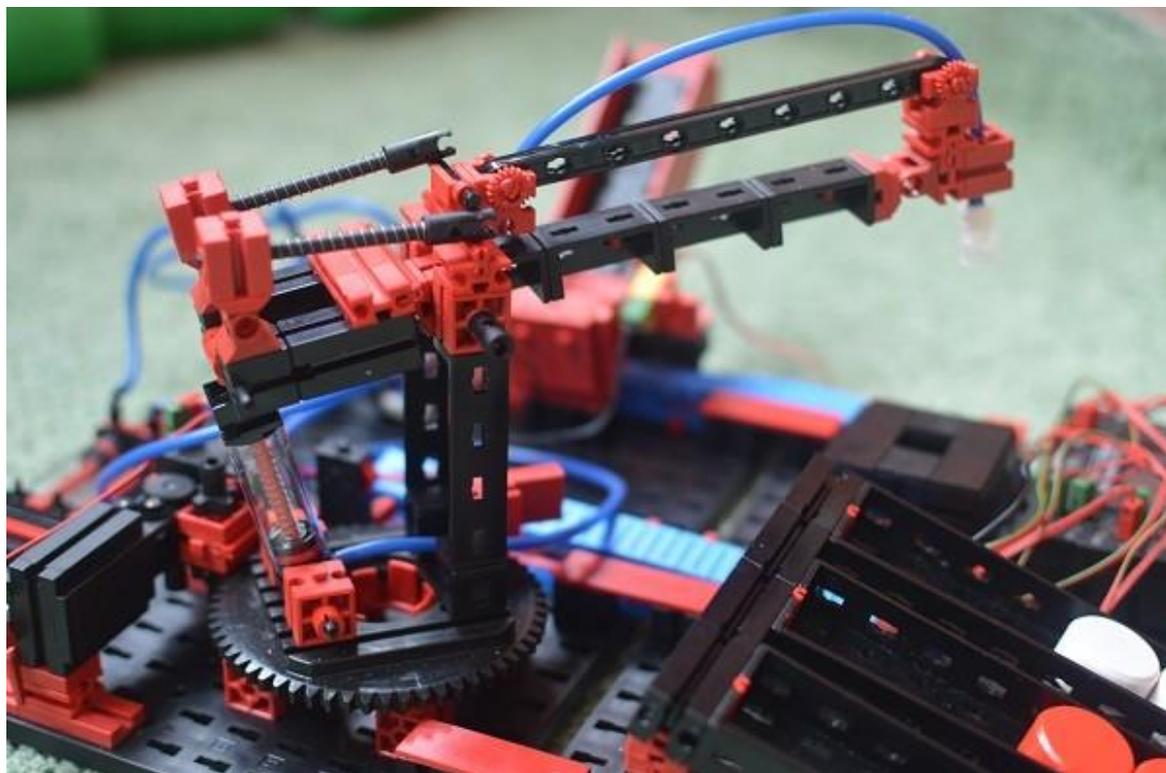


Рисунок 1.3 – Робо-рука с вакуумной присоской

Каждую шайбу робот подносит к оптическому датчику цвета, чтобы отсортировать их по разным лоткам. Сенсор помещён в «тёмную камеру» для предотвращения засветки. Процесс распознавание цвета представлен на рисунке 1.4

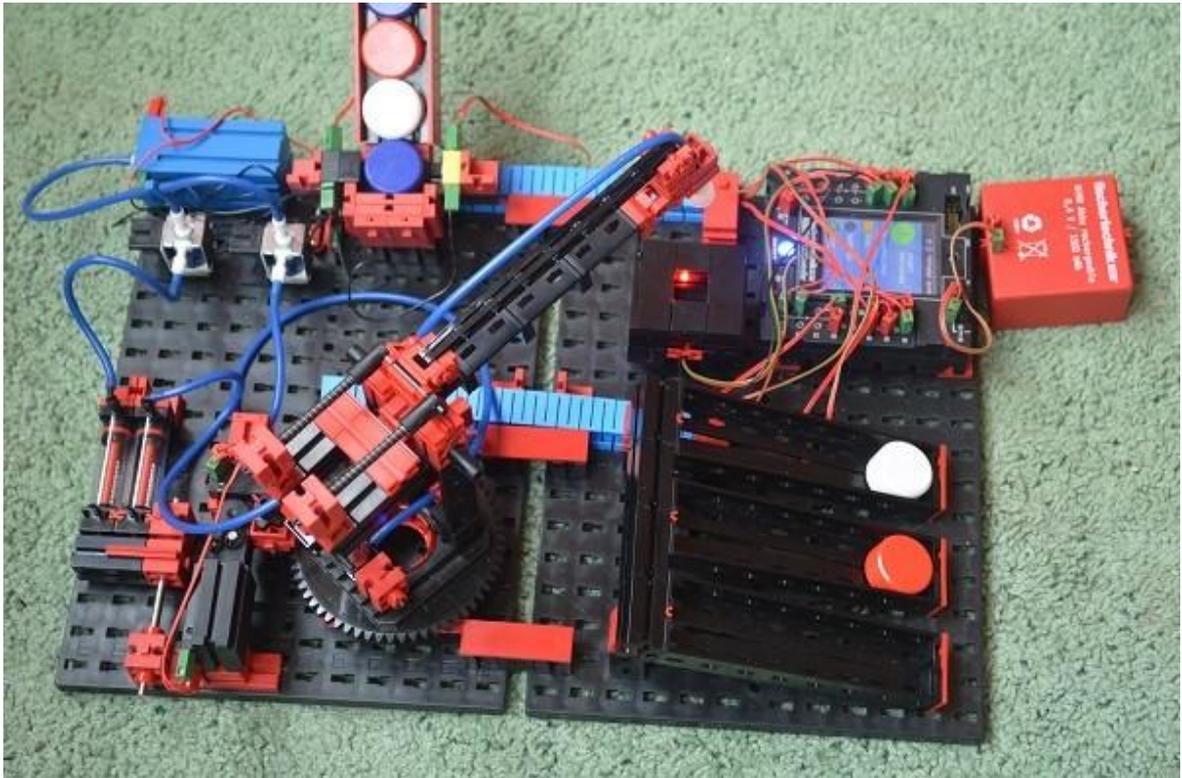


Рисунок 1.4 – Робо-рука над датчиком распознавания цвета

Чтобы робот автоматически прекращал работу, когда шайбы закончатся, и возобновлял, когда появятся снова, в модели предусмотрен световой барьер. Он представляет из себя фоторезистор с направленным на него светом от лампы с фокусирующей линзой.

Программируемый контроллер ROBOTICS TXT

ROBOTICS TXT - программируемый контроллер, предназначенный для управления моделями, собранными из наборов конструктора Fischertechnik. Внешний вид контроллера представлен на рисунке 1.5



Рисунок 1.5 – Внешний вид контроллера ROBOTICS TXT

Программируемый контроллер ROBOTICS TXT работает под управлением операционных систем на базе Linux. Для обеспечения связи с различными устройствами и приложениями контроллер оснащён комбинированным модулем Bluetooth/WiFi. По интерфейсу USB имеется возможность подключать различные устройства USB: видеокамеры, флэш накопители и т.п. Для расширения внутренней памяти предустановлен разъём MicroSD. Также имеется возможность объединять несколько контроллеров для увеличения количества входов и выходов.

К контроллеру ROBOTICS TXT можно подключать дополнительные датчики и исполнительные устройства: сервомоторы, мотор XS, переключатели, терморезисторы, фотодатчики и светодиоды. Контроллер имеет встроенный динамик.

Программирование контроллера осуществляется в среде ROBO Pro или на языках C, C++ и VB.

В среде программирования ROBO Pro программы создаются на графическом языке в виде блок-схем. Для загрузки готовых программ используются интерфейсы USB или Bluetooth.

Программы, разработанные в среде ROBO Pro, используются в образовательных целях и служат для управления моделями, собранными из конструкторов Fischertechnik.

1.2 Учебный лабораторный стенд PASKAL AC-1 OMEGA 1-3L

Зачастую бывает так, что проходящий обучение человек имеет необходимую теоретическую базу знаний, однако в его жизни не хватает практики, и он не знает, где и как применить полученные им знания в области автоматизации и проектирования производства. Именно в этом и может помочь учебный лабораторный стенд «мехатронный модуль - автоматизированный склад с роботом-штабелёром» PASKAL AC-1 OMEGA 1-3L, приведённый на рисунке 1.6.

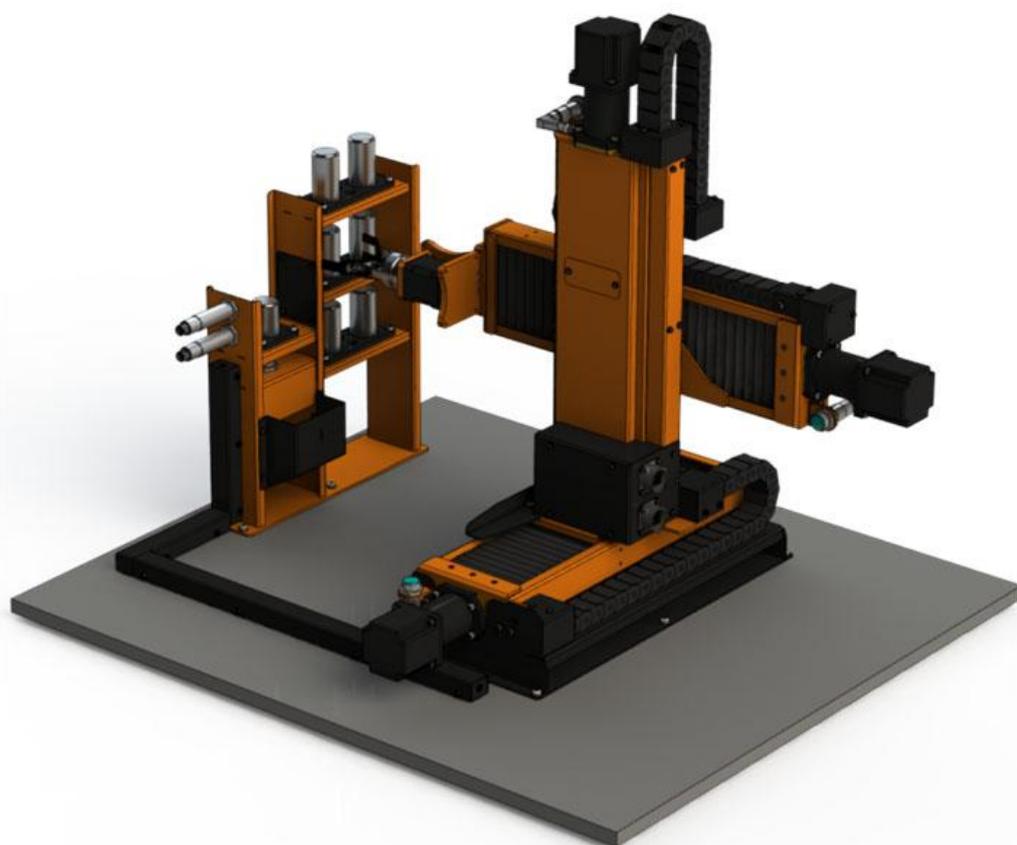


Рисунок 1.6 – лабораторный стенд «мехатронный модуль – автоматизированный склад с роботом-штабелёром»

Учебный стенд PASKAL AC-1 OMEGA 1-3L широко используется для получения полезных на производстве навыков по управлению и программированию промышленных роботов и понимания и изучения принципов программирования, разработки и наладки автоматизированных систем управления пневмо- и электроприводами поточных линий, выполненных на основе ПЛК (программируемых логических контроллеров).

В учебном стенде применён электропривод (вместо пневмопривода) и, при этом, полностью сохранены принципы подключения, работы и управления различными пневматическими компонентами.

Плюсы электропривода очевидны:

- Учебный стенд бесшумен в работе;
- Отсутствуют расходные материалы;
- Высокая скорость введения в учебный процесс за счёт отсутствия необходимости монтажа однотипных трубок и фитингов;
- Доступная цена по сравнению с пневматическими аналогами

Также преимуществами такого учебного стенда является возможность выбрать комплект с наиболее подходящим промышленным программируемым логическим контроллером.

На выбор ПЛК фирмы SIEMENS или OBEH, как самые используемые на реальных производствах промышленные контроллеры, а также имеется возможность использования с учебным стендом контроллеров других производителей.

Учебный стенд PASKAL AC-1 OMEGA 1-3L может использоваться как автономно, так и при интеграции его в единую систему с другими мехатронными модулями и стендами PASKAL.

2 Разработка конструкции лабораторного стенда

«Автоматизированная транспортно-складская система»

2.1 Выбор функциональных компонентов стенда

Проектируемый лабораторный стенд предназначен для демонстрации принципа работы транспортных и складских систем на промышленных предприятиях. Задача заключается в выборе основных функциональных компонентов стенда, способных показать пример работы транспортно-складской системы.

Для разработки было выделено 3 основных функциональных компонента:

- 1) робот-манипулятор и система его перемещения по горизонтальной оси (осуществляет перенос детали в склад);
- 2) конвейер (перемещает детали в начальную позицию);
- 3) барабанный склад с четырьмя ячейками.

Далее была разработана схема размещения основных компонентов стенда, показанная на рисунке 2.1.

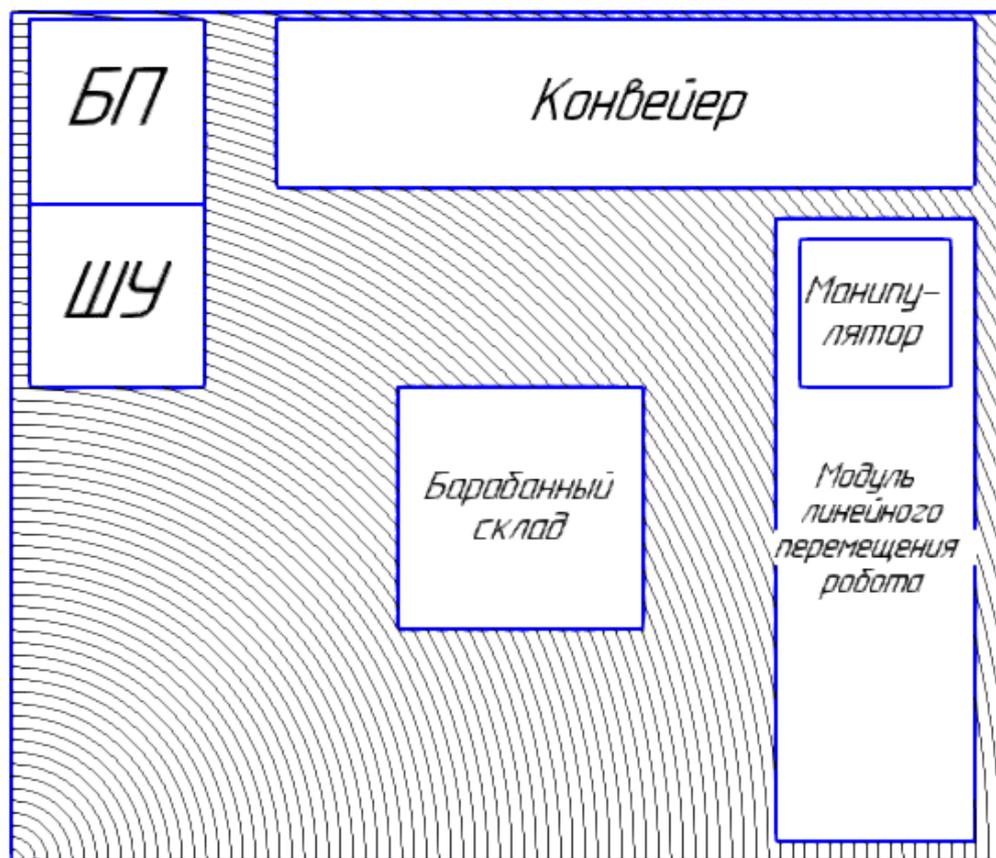


Рисунок 2.1 – Схема размещения компонентов

2.1.1 Модуль линейного перемещения робота-манипулятора по горизонтальной оси

Для перемещения робота-манипулятора по горизонтальной оси в необходимом месте рабочего пространства была разработана конструкция, которая представляет собой платформу робота-манипулятора, которая перемещается поступательно. Данная конструкция имеет:

- перемещающаяся платформа, к которой прикреплено основание робота-манипулятора;
- направляющую движения для платформы робота-манипулятора;
- шаговый двигатель с ременной передачей, перемещающий платформу, представленный на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Шаговый двигатель с ременной передачей

Платформа, имея втулку скольжения, контактирует с направляющей, покрытой тонким слоем смазочного материала. Сзади платформы имеется крепление к зубчатому ремню, с помощью перемещения которого осуществляется движение платформы.

Перемещение платформы от начальной до конечной точки осуществляется посредством ременной передачи. Зубчатый ремень, натянут между роликом и шаговым двигателем.

В систему перемещения платформы включен шаговый двигатель (ШД). Для поворота ШД вокруг своей оси на один шаг (несколько градусов) на обмотку ротора двигателя подаётся управляющий импульс. В зависимости от конструкции двигателя величина шага может находиться в диапазоне от 0,75 до 90 градусов. Применение ШД позволяет с большой точностью отслеживать положение основания с роботом-манипулятором.

В случае возникновения препятствий по причине посторонних предметов в зоне движения платформы двигатель притормаживает. Вместе с тем возрастает потребляемый ток.

Длина разработанного модуля составляет 500 мм, что позволяет перемещать робот-манипулятор по горизонтальной оси на расстояние от начальной точки до барабанного склада. Модель системы представлена на рисунке 2.3.

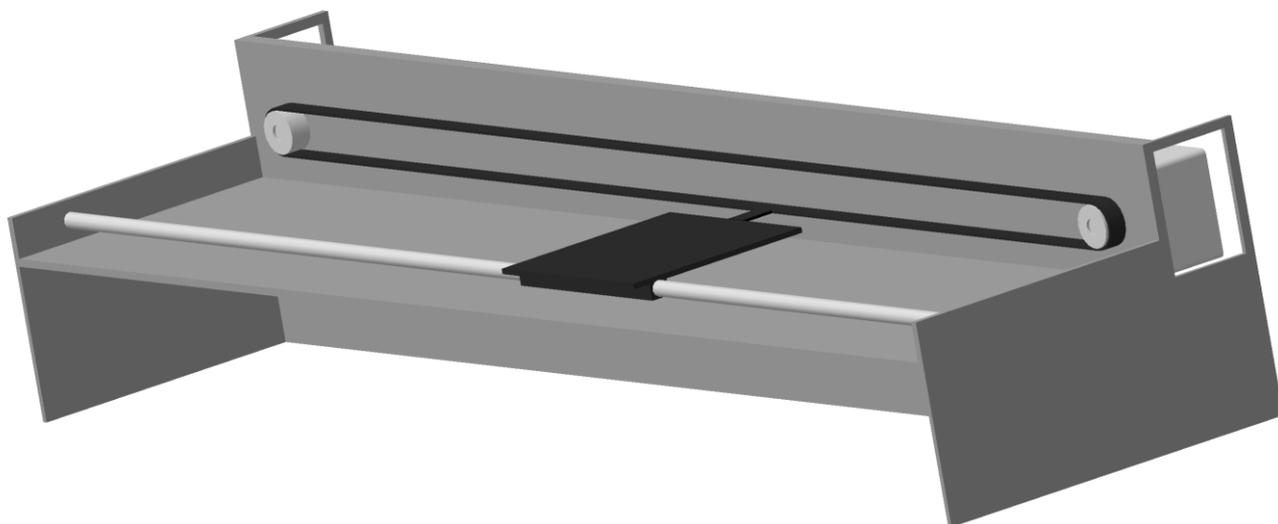


Рисунок 2.3 – 3D-модель системы перемещения робота-манипулятора по горизонтальной оси

2.1.2 Робот-манипулятор

Проанализировав существующие механизмы разгрузки-загрузки мехатронных сортировочных комплексов, был сделан выбор в пользу робота-манипулятора, как устройства, обладающего наибольшей гибкостью и оперативностью обслуживания оборудования сортировки.

Робот-манипулятор предназначен для выполнения механических операций в своём рабочем пространстве и представляет собой многосвязный пространственный механизм с разомкнутой кинематической цепью, звенья которой последовательно соединены между собой сочленениями различного типа (вращательные либо поступательные), оснащённый приводами и рабочим органом, а также в общем случае - устройством передвижения.

Разработанная конструкция манипулятора должна обеспечивать движение выходного звена и, взаимодействие закреплённого в нём схвата с

объектом манипулирования, с сохранением ориентации и по заданной траектории. В подвижный механизм входит и захватное устройство, представляющее собой подобие руки, способное захватывать сортируемые кубы. Величина размаха руки должна соответствовать поставленной задаче.

Подробная разработка и сборка физической модели робота-манипулятора представлены в разделе 3.

2.1.3 Захватное устройство

Захватные устройства (далее ЗУ) промышленных роботов и манипуляторов предназначены для захватывания предмета манипулирования и удержания его в определённом положении в процессе перемещения. Поэтому при разработке следует учитывать следующие факторы:

- 1) крепкий захват и удержание объекта во время разгона и торможения подвижных элементов;
- 2) стабильность базирования заготовки;
- 3) быстроту перенастройки;
- 4) отсутствие повреждения объекта в месте захвата;
- 5) прочность при малых габаритных размерах и массе.

На конструкцию механизма захватного устройства влияют тип комплекса и обслуживаемое оборудование. Например, комплекс, сортирующий несколько деталей с отличиями по размеру, форме и цвету в серийном производстве, должен иметь захватные устройства с широким диапазоном форм и геометрических параметров или их автоматическую смену в зависимости от требований конкретного рабочего задания.

В процессе разработки ЗУ для лабораторного стенда, учитывая параметры сортируемых кубов, было разработано ЗУ, способное удерживать кубы габаритами 32x32x32 мм и подходящее для робота-манипулятора. Поскольку нет необходимости в автоматической смене захвата по причине того, что заготовленные для перемещения кубы отличаются только цветом, а

размер и форма остаются прежней задача проектирования упростилась. Разработка ЗУ представлена в разделе 4.

2.1.4 Конвейер и транспортная лента

Для транспортировки кубов потребовалось выбрать тип конвейера. Как наиболее полно удовлетворяющий требованиям и условиям данного конкретного задания нами был выбран тип - ленточный конвейер.

Далее была собрана основа конвейера. Ленточный конвейер представляет собой укрепленную раму, на которой закреплены все основные узлы: приводной барабан, конвейерная лента и ролики конвейера, предназначенные для поддержания ленты.

Для сборки рамы был использован алюминиевый профиль-уголок длиной 580 мм и шириной 20 мм, сочетающий в себе следующие преимущества: доступность и довольно высокую прочность при небольшом весе. На раме закреплены оси на которых вращаются ролики конвейера, по роликам скользит транспортёрная лента, и перемещает кубы в пространстве. Для постоянного натяжения транспортёрной ленты чтобы исключить её проскальзывание установлены два больших ролика, называемых барабанами. На противоположных концах рамы конвейера закреплён приводной барабан, который имеет специальный вал для соединения с коллекторным электродвигателем. Непосредственно с помощью передачи вращательного движения от электродвигателя через редуктор к приводному барабану, и происходит движение ленты транспортёра. 3D модель представлена на рисунке 2.4.

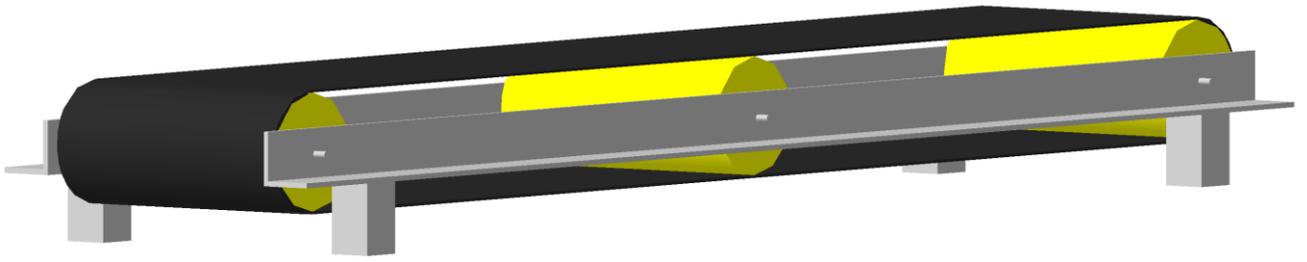


Рисунок 2.4 – 3D модель ленточного конвейера

2.1.5 Барабанный склад

Для сортировки кубов было решено разработать и собрать физическую модель барабанного склада, который способен поворачиваться вокруг своей оси. По завершению разработки был спроектирован поворотный склад с 4 ячейками. Схема склада представлена на рисунке 2.5.

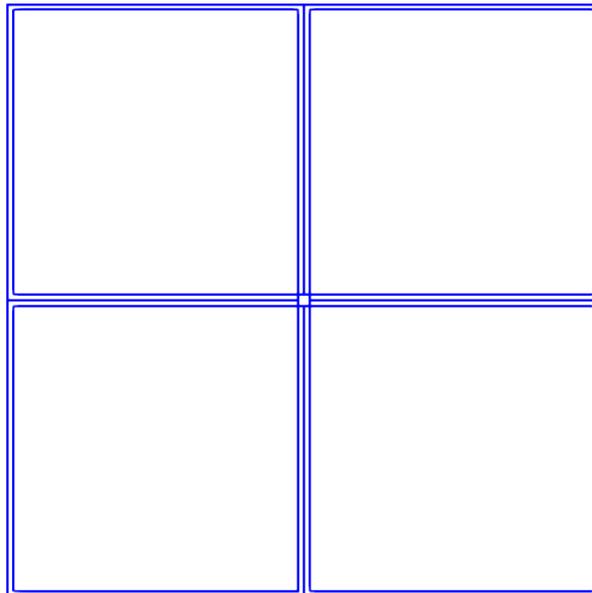


Рисунок 2.5 – Схема склада (вид сверху)

После проектирования общего вида была разработана модель ячейки склада (рисунок 2.6). В состав барабанного склада входят 4 ячейки (рисунок 2.7).

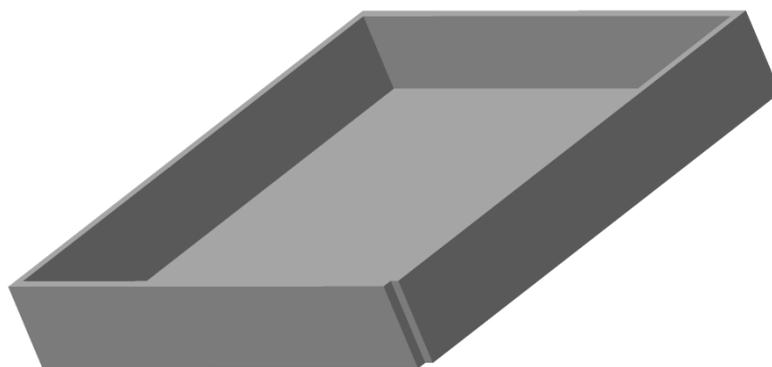


Рисунок 2.6 – 3D модель ячейки склада

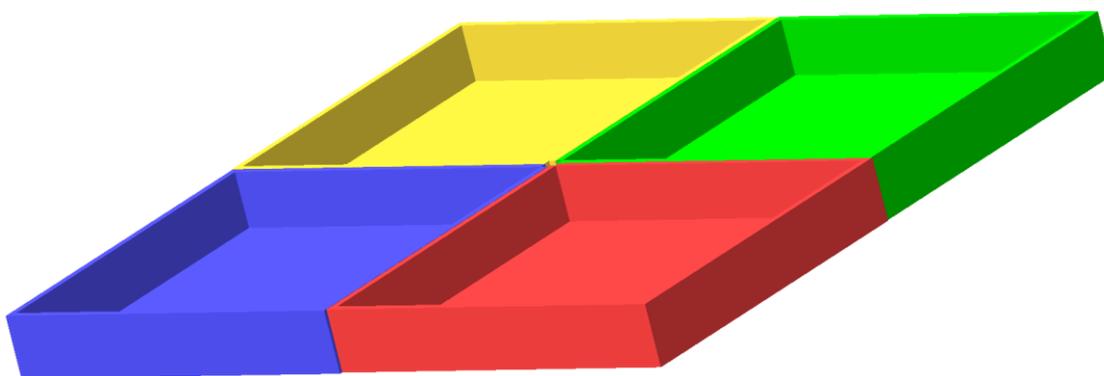


Рисунок 2.7 – 3D модель барабанного склада

В свою очередь, цвет каждой ячейки соответствует цвету сортируемых кубов (красный, синий, зелёный, жёлтый).

Для вращения склада был разработан механизм, в котором вращательное движение передаётся посредством зубчатого соединения с шаговым двигателем. Модель данного механизма представлена на рисунке 2.8.

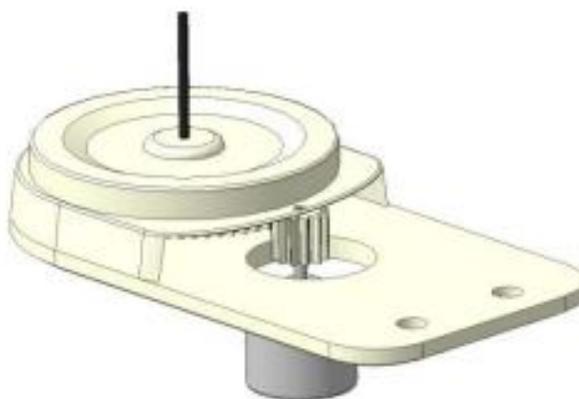


Рисунок 2.8 – Модель механизма вращения барабанного склада

3 Разработка робота-манипулятора

3.1 Внешний вид

Внешний вид робота-манипулятора представлен на рисунке 3.1. Манипулятор представляет собой неподвижную платформу, которая обеспечивает его устойчивость при перемещении остальных компонентов манипулятора. На платформе размещено основание манипулятора, которое поворачивается вдоль оси y относительно платформы на 180 градусов, на ней также размещены сочленённые звенья конструкции, которые в работе напоминают манипуляции рук человека. Манипулятор обладает тремя степенями подвижности (расчёт представлен в разделе 3.4), то есть положение его конечной точки в пространстве может быть описано или задано в любой момент времени с помощью трёх независимых координат x , y , z . Линейное перемещение вдоль оси x и перемещение по высоте вдоль оси z осуществляется с помощью рычагов манипулятора. Подобная конструкция манипулятора позволяют ему ориентироваться в трёхмерном пространстве. Также манипулятор снабжён захватом, который позволят фиксировать и переносить сортируемые кубы.

Для изготовления робота-манипулятора следует использовать лёгкие и прочные металлы и сплавы, а также различные полимеры. В разрабатываемом роботе-манипуляторе в качестве материала для поворотного основания и подвижных звеньев используется АБС-пластик, поскольку он имеет небольшой вес, стоимость, а также обладает высокой ударопрочностью и эластичностью.

Для снижения нагрузки на электродвигатель вращающегося основания манипулятора, а также уменьшения сопротивления при вращении звеньев используется шариковый радиальный однорядный подшипник. В итоге,

масса манипулятора, включая захватное устройство составит примерно 0,620 кг.

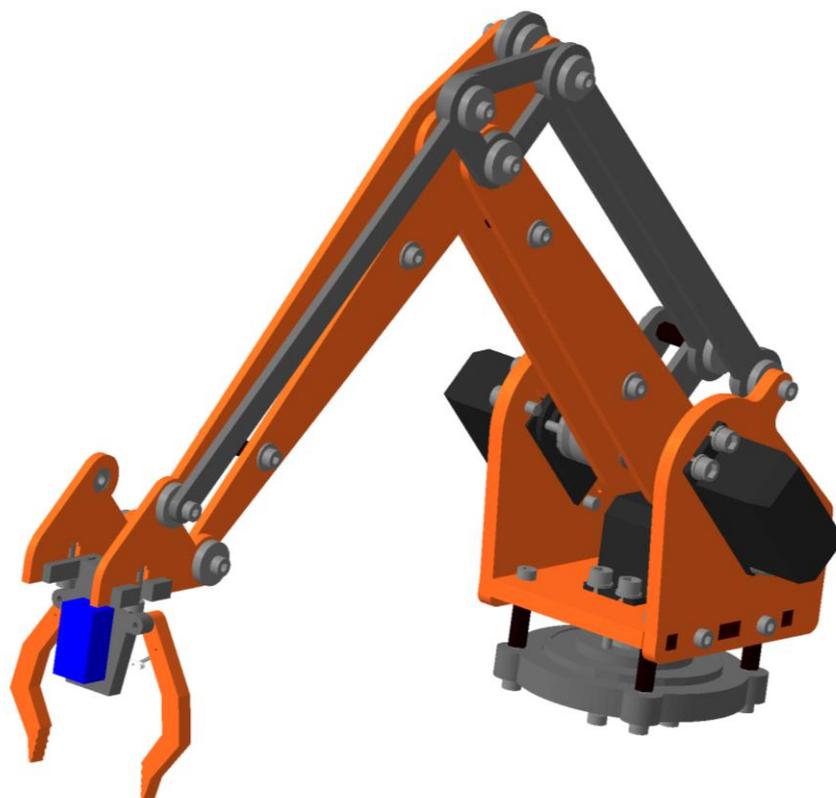


Рисунок 3.1 – Внешний вид робота-манипулятора

3.2 Определение систем координат

Существует большое количество схем манипуляторов, реализующих перемещение своих звеньев в пространстве, но наиболее распространёнными являются следующие типы манипуляторов:

Манипулятор декартового типа

Манипуляторы, которые функционируют в прямоугольной (декартовой) системе координат (рисунок 3.2, а) просты в управлении и отличаются высокой точностью действий, и имеют рабочую зону в форме параллелепипеда (рисунок 3.2, б). Рабочий орган таких манипуляторов перемещается вдоль трёх основных осей: x , y и z – только поступательно.

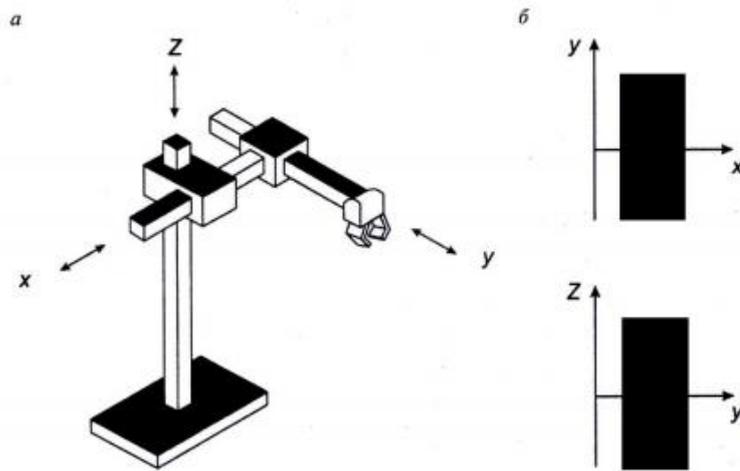


Рисунок 3.2 – Манипулятор, который работает в декартовой системе координат

а – манипулятор с декартовой системой координат; б – его рабочая зона

Манипулятор цилиндрического типа

В манипуляторах, которые функционируют в цилиндрической системе координат (рисунок 3.3, а) угловое перемещение происходит совместно с поступательными движениями. В таких манипуляторах захват перемещается вверх и вниз вдоль стойки, и умеет выдвигаться и втягиваться, а весь узел манипулятора имеет возможность поворачиваться вокруг оси основания. Рабочая зона (рисунок 3.3, б) ограничена цилиндрическими поверхностями.

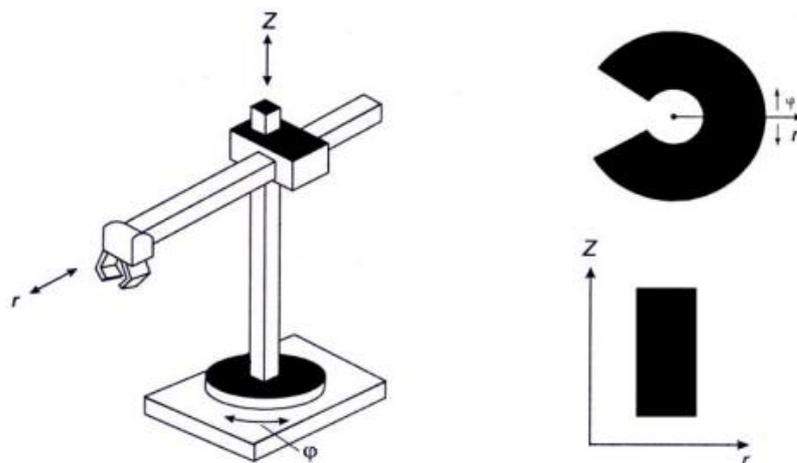


Рисунок 3.3 – Манипулятор, который работает в цилиндрической системе координат

а – манипулятор с цилиндрической системой координат; б – его рабочая зона

Сферический манипулятор

Манипуляторы, действующие в сферической (или полярной) системе координат (рисунок 3.4, а) производят два угловых перемещения, а их рабочая зона (рисунок 3.4, б) ограничена сферическими поверхностями. Захват такого манипулятора может выдвигаться и втягиваться. Вертикальные перемещения манипулятора достигаются путём поворота его в вертикальной плоскости в «плечевом» суставе. Весь узел манипулятора может также поворачиваться вокруг оси основания. Манипуляторы со сферической системой координат сложнее цилиндрической системы, но при этом выглядят компактнее.

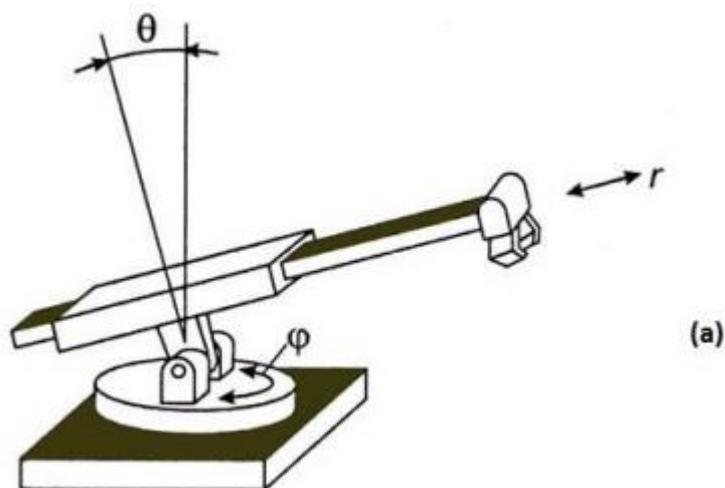


Рисунок 3.4 а – Манипулятор, который работает в сферической системе координат

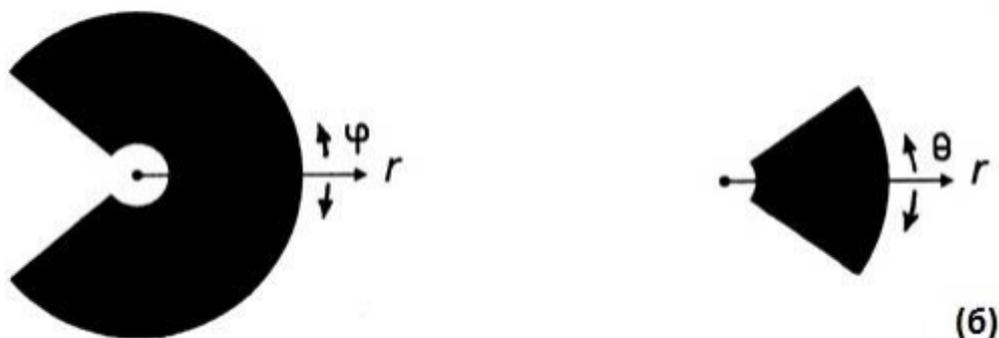


Рисунок 3.4 б – Рабочая зона манипулятора, который работает в сферической системе координат

Манипулятор ангулярного типа

Манипулятор с угловой (ангулярной) системой координат (рисунок 3.5, а) не имеет поступательных кинематических пар и перемещается благодаря угловым перемещениям, а все поворотные звенья представляют собой шарниры. Подобные манипуляторы могут работать быстрее, чем декартовые, а также обладают наибольшей компактностью и имеют способность складываться в пределах своих габаритов. А зона обслуживания значительно больше, чем у манипуляторов других типов и он способен решать более сложные задачи, но вместе с тем он исключительно сложен в управлении.

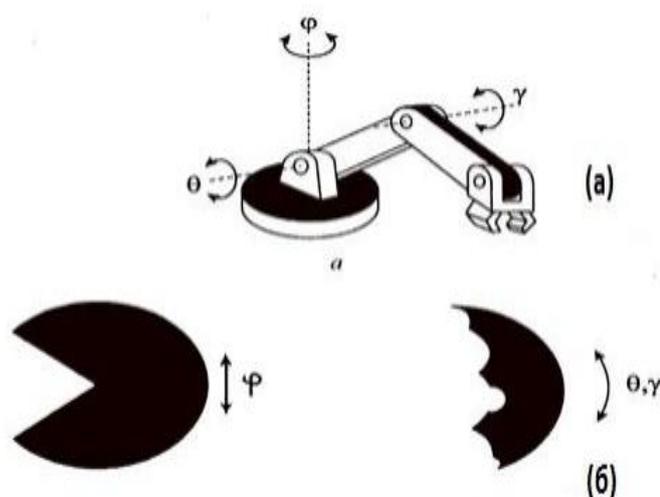


Рисунок 3.5 – Ангулярный манипулятор

а – манипулятор с ангулярной системой координат; б – его рабочая зона

Нами был выбран манипулятор ангулярного типа поскольку в данном лабораторном стенде требовалась компактность и умение складываться в пределах своих габаритов, также данный тип обладает подходящей рабочей зоной и возможностью поворачиваться вокруг оси основания.

3.3 Количество степеней подвижности

Многозвенный манипулятор – это манипулятор, имеющий несколько степеней подвижности. Тело имеет n степеней подвижности, если оно способно совершать n различных независимых видов перемещений. На рисунке 3.6 показаны примеры кинематических пар, обладающих одной степенью свободы. Например, вращение цилиндрического шарнира вокруг собственной оси и возвратно- поступательные движения вдоль оси. Две и более свободы имеют кинематические пары, приведённые на рисунке 3.7.

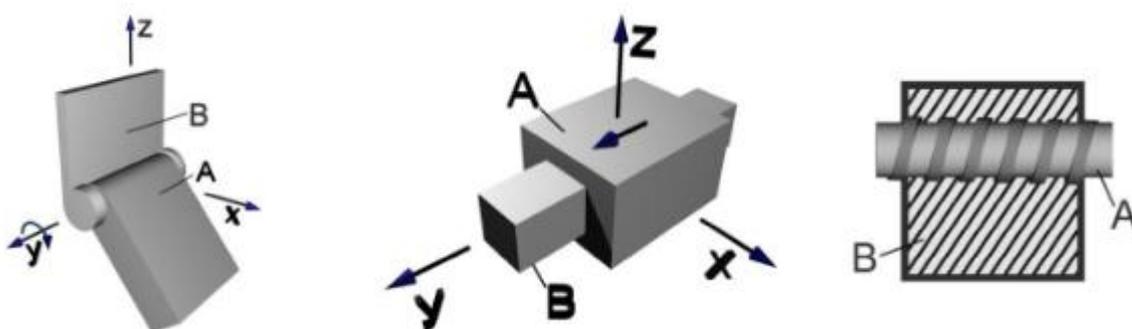


Рисунок 3.6 – Одноподвижные кинематические пары

1) Вращательная (рисунок 3.6, а) – цилиндрический шарнир. Здесь наложено пять условий связи, т.е. исключены все движения за исключением вращательного.

2) Поступательная (рисунок 3.6, б) – здесь наложено пять условий связи, т.е. исключены все движения за исключением одного поступательного.

3) Винтовая (рисунок 3.6, в) – здесь наложено пять условий связи, т.е. исключены все движения за исключением поступательного (в данном случае вращение не является степенью свободы, поскольку поступательное и вращательное движения не независимы).

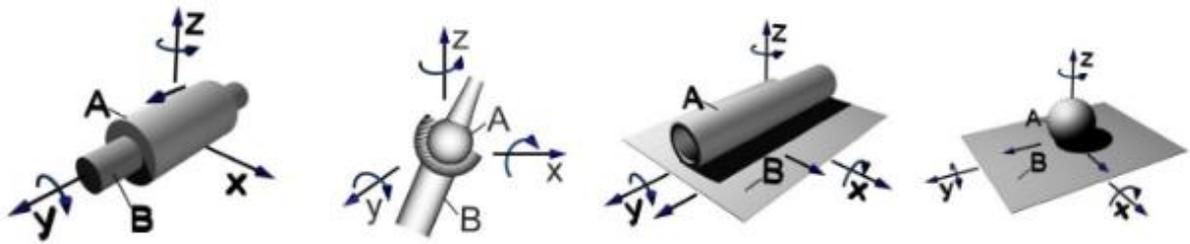


Рисунок 3.7 – Кинематические пары

Пара двухподвижная (рисунок 3.7, а) - втулка на валике. Здесь наложено четыре условия связи - вдоль осей O_x и O_z исключены поступательные и вращательные движения.

Пара трехподвижная (рисунок 3.7, б) - шаровой цилиндр. Здесь наложено три условия связи: вдоль всех трёх осей исключены поступательные движения.

Пара четырехподвижная (рисунок 3.7, в) - цилиндр на плоскости. Здесь наложено два условия связи: вдоль оси OZ исключено поступательное движение, а вокруг оси Ox вращательное.

Пара пятиподвижная (рисунок 3.7, г) - шар на плоскости. Здесь наложено одно условие связи: вдоль оси OZ исключено поступательное движение.

Число степеней подвижности манипулятора определяется числом степеней свободы кинематической цепи относительно стойки т.е. звена, принятого условно за неподвижное. В открытых кинематических цепях, к которым относят манипуляторы, число подвижных звеньев n всегда равно числу кинематических пар p .

Степень подвижности механизма W - это необходимое для одного оборота количество независимых движений, которые нужно подвести к механизму.

Формула для расчёта степени подвижности плоских механизмов:

$$W = 3n - 2p_1 - p_2 \quad (3.1)$$

где n – число подвижных звеньев механизма;

p_1 - число одноподвижных кинематических пар;

p_2 - число двухподвижных кинематических пар.

Степень подвижности рассматриваемого манипулятора с тремя подвижными звеньями, и тремя одноподвижными кинематическими парами, вычисленная по формуле 3.1 будет равна:

$$W = 3n - 2p_1 - p_2 = 3 \times 3 - 2 \times 3 = 3$$

Количество степеней подвижности определяет функциональные возможности манипулятора. По своим возможностям три степени подвижности дают манипулятору практически возможности руки человека, а захват можно сравнивать с кистью. Перемещение манипулятора в пространстве вдоль любой из координат (рисунок 3.8), определяет степень свободы, и обеспечивается серводвигателями, которые установлены в местах сочленения манипулятора или с помощью обратной связи через тяги.

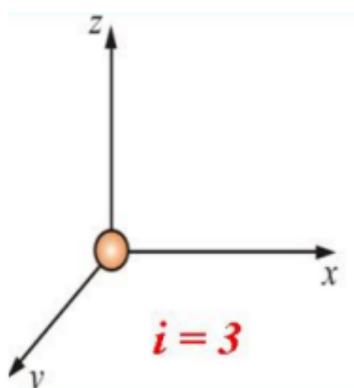


Рисунок 3.8 – Степени свободы манипулятора

3.4 Определение рабочей зоны манипулятора

Рабочее пространство промышленного робота — это пространство, в котором рабочий орган (например, схват) мехатронного устройства может находиться.

Различают плоское и пространственное рабочее пространство. Тип рабочего пространства определяет число степеней свободы и характер отношений между кинематическими парами манипулятора.

Рабочей зоной плоского манипулятора является фигура, очерченная множеством предельно возможных положений центра схвата или его предельной траекторией.

Далее мы будем рассматривать рабочую зону нашего манипулятора, который работает в ангулярной системе координат. Рабочая зона манипуляторов такого типа представлена на рисунке 3.9.



Рисунок 3.9 – Рабочая зона манипулятора, который работает в ангулярной системе координат

Задача кинематического исследования

Для описания кинематики движения существуют две основные задачи: прямая и обратная.

Поскольку нам необходимо вычислить предельное положение схвата, мы рассмотрим только прямую задачу – т.е. вычислим положение рабочего органа манипулятора по его кинематической схеме и значениям обобщённых координат.

Таким образом, решение прямой задачи покажет нам позицию рабочего органа манипулятора, при заданных углах его суставов.

Разрабатывается математическая модель (рисунок 3.10) в форме расчёта кинематических характеристик, которая заключается в указании

длин звеньев, количества и распределения кинематических пар. Положения точек в пространственной кинематической цепи определяется с помощью обобщённых координат, которые могут характеризовать относительные перемещения как поступательных, так и вращательных кинематических пар.

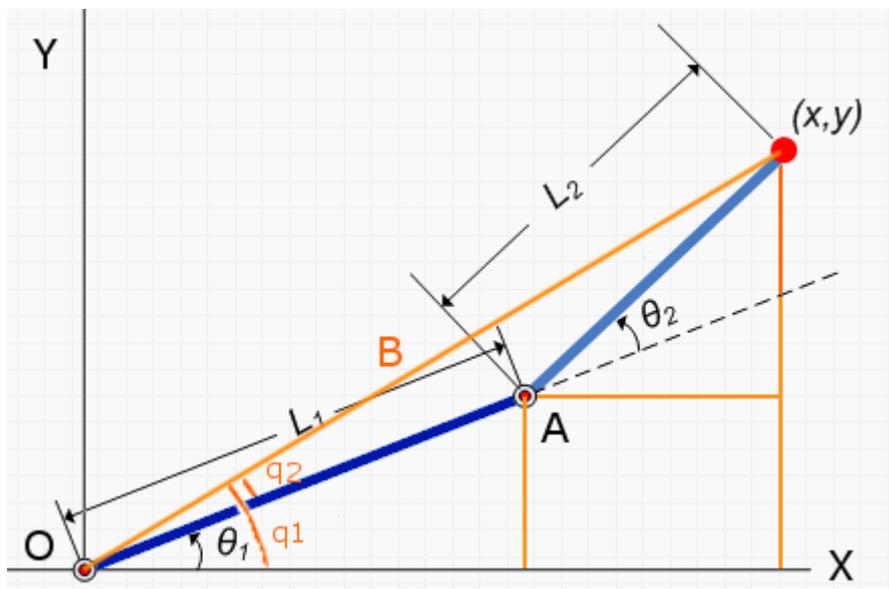


Рисунок 3.10 – Расчётная математическая модель

Решение прямой задачи кинематики позволяет найти координаты рабочего органа (x, y) робота-манипулятора с ангулярной системой координат по заданным L_1, L_2, q_1, q_2 . Формулы для решения прямой задачи:

$$x = XA + x' = L1 * \cos(q_1) + L2 * \cos(q_1 + q_2) \quad (3.2)$$

$$y = YA + y' = L1 * \sin(q_1) + L2 * \sin(q_1 + q_2)$$

С помощью данных уравнений и решается прямая задача о положении робота-манипулятора в пространстве, а также они служат основой для кинематических исследований манипуляторов промышленных роботов. Отсюда следует, что прямая задача рассчитывает геометрические характеристики рабочей зоны робота при учёте особенностей конструкций манипулятора и размаха перемещения точек звеньев механизма под действием заданных сил.

Решив прямую задачу, при помощи формулы 3.2, мы получим значения координат, называемые характерной точкой захватного устройства:

$$x = XA + x' = 165\text{мм} * \cos(12^\circ) + 205\text{мм} * \cos(12^\circ - 42^\circ) = 338\text{мм}$$

$$y = YA + y' = L1 * \sin(q_1) + L2 * \sin(q_1 + q_2) = -68\text{мм}$$

Очевидно, что звенья разрабатываемого робота-манипулятора располагаются иначе, чем на рисунке 3.10, следовательно формула не изменится, но изменятся знаки углов - q_2 нужно брать с противоположным знаком.

Отрицательное значение y (высоты) объясняется тем, что схват робота-манипулятора в крайнем положении находится ниже основания.

Полученная характерная точка полностью соответствует рабочему пространству и расстоянию между компонентами, рассматриваемого лабораторного стенда. А это значит, что захватное устройство робота-манипулятора, находящегося на подвижной платформе, способно захватывать и переносить сортируемые кубы в барабанный склад.

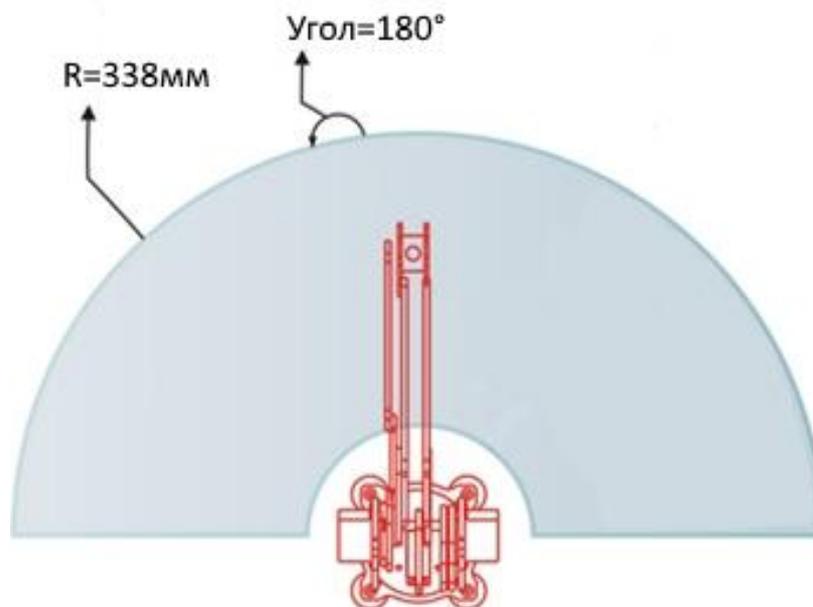


Рисунок 3.11 – Расчётный предельный радиус манипулятора

4 Разработка захватного устройства и его конструкции

4.1 Описание захватного устройства

Захватным устройством (далее ЗУ) промышленного робота называется его рабочий орган, непосредственно взаимодействующий с объектом манипулирования, и предназначенный для его захватывания и удерживания в определённом положении и с определённой ориентацией. Данные объекты могут иметь различную форму, размер, массу, а также обладать различными физическими свойствами, которые требуют использовать ЗУ различного назначения. Самая часто используемая разновидность захватного устройства – схват. Это устройство, которое осуществляет захват и удержание объекта манипулирования с помощью перемещения в пределах собственной оси координат механических частей данного устройства. Схват по своей конструкции имитирует устройство кисти человека: с механической точки зрения захват объекта достигается за счёт особой роли «пальцев». Захватные устройства, которыми оснащаются промышленные роботы существенно расширяет сферу их применения, а также позволяют осуществить быструю переналадку для возможного выполнения различных операций. По этой причине анализ конструкций, классификация захватных устройств, разработка методики их выбора, расчёта и проектирования имеют весьма существенное значение.

У ЗУ имеются общие и специализированные, связанные с определёнными условиями деятельности. К подобным запросам относятся: надёжность захвата и удержания детали, неприемлемость повреждения или разрушения детали, стабильность базирования. Также имеет вес прочность ЗУ при малых габаритах и одновременно веса.

Элемент захватного устройства, вступающий в контакт непосредственно с объектом манипулирования называется «рабочим элементом». Кроме того, с термином «рабочий элемент» в литературе применяются антропоморфные термины: «губки», «пальцы», «челюсти» и др.

Основные технические характеристики ЗУ: номинальная грузоподъёмность, усилие захвата, предельно допустимые значения приложенных сил и моментов по осям системы координат ЗУ, время захвата и время отпущения, масса, габаритны, показатели надёжности и т.д.

Усилие захвата в стандартах никак не обуславливается. В схватах усилие, с которым захватывается объект создаётся приводом, перемещающим рабочие элементы вплотную до контакта с поверхностью этого объекта.

Время захвата – время, которое требуется захвату для занятия устойчивого положения перед объектом манипулирования с установившимся значением усилия захвата. Под временем отпущения подразумевается время от подачи управляющего сигнала на отпущение до полного раскрытия схвата.

Номинальной грузоподъёмностью ЗУ называется наибольшее допустимое значение массы удерживаемого объекта. Реальная масса удерживаемого объекта не должна превышать грузоподъёмность, при которой гарантируются его захват и удержание с заданными условиями.

Предельные допустимые значения приложенных усилий (моментов) – это наибольшая сила, приложенная к объекту (в начале системы координат захватного устройства), при которых объект удерживается ЗУ.

4.2 Классификация схватов

Разнообразие признаков среди ЗУ, характеризующих конструктивные разновидности пригодных для решения похожих задач и особенности их конструктивно-технологического применения, не позволяют построить классификацию по чисто иерархическому принципу. Примеры ЗУ, распределённые в соответствии с их классификацией приведены на рисунке 4.1.

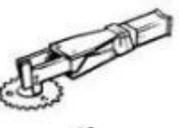
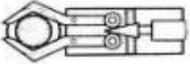
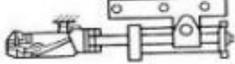
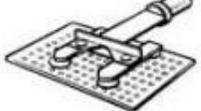
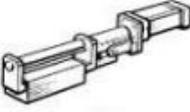
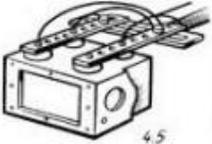
Детали	Механические устройства				Вакуумные и магнитные устройства		Устройства с эластичными камерами
	центрирующие		базирующие	центрирующие	базирующие		
	широкодиапазонные	узкодиапазонные					
Тела вращения: фланцы					—		
валы				—		—	
Плоские детали		—			—		—
Детали коробчатой формы							—
Детали сложной формы		—	—				

Рисунок 4.1 – Классификация захватных устройств

Захватные устройства по принципу действия делятся на:

1. Зажимными (схватывающими) ЗУ называются устройства, воздействующие на объект с помощью рабочих элементов: губок, пальцев, клещей и т.п. Удержание объекта происходит за счёт сил трения, возникающих при зажиме, или комбинации сил трения и запирающих усилий. Зажимные ЗУ бывают механическими – клещи, тиски, шарнирные пальцы, и с эластичными рабочими элементами – камерами, деформирующимися под действием нагнетаемого внутрь сжатого воздуха или жидкости;

2. Поддерживающие ЗУ для удержания используют нижние поверхности объекта, выступающие элементы или имеющиеся в теле отверстия. Например, различные крюки, петли, вилки и лопатки, не зажимающие во время перемещения заготовку;

3. Притяжные (удерживающие) ЗУ способны оказывать на объект силовое воздействие, используя различные физические эффекты. Наиболее распространены вакуумные и магнитные.

Захватные устройства по характеру базирования объекта делятся на:

1. ЗУ, которые способны перебазировать объект и изменять положение захватываемой детали с помощью изменяемых действий рабочих элементов. Подобное свойство имеют только захватные устройства антропоморфного вида с регулируемыми пальцами, имеющие шарнирную конструкцию;

2. Центрирующие ЗУ определяют положение оси или плоскости симметрии захватываемого объекта. К подобным ЗУ относят механические, оснащённые губками в виде призм и т.п.

3. Базирующими называют ЗУ, способные определять местоположение базовых поверхностей. Подобный вид характерен для поддерживающих ЗУ.

4. Фиксирующие ЗУ способны сохранять первоначальное положение объекта манипулирования, во время заданных перемещений;

В зависимости от назначения ЗУ (в сборочных ПР, например) дополнительно оснащаются приспособлениями, выполняющими ориентирующие перемещения. ЗУ применяются с приспособлениями, которые выполняют некоторые технологические операции.

В зависимости от числа рабочих позиций ЗУ бывают однопозиционные и многопозиционные. По характеру выполняемой работы многопозиционные ЗУ разделяются на три подгруппы: ЗУ последовательного действия, параллельного и комбинированного.

Устройства последовательного действия – это зачастую двухпозиционные устройства, которые имеют загрузочную и разгрузочную исполняемые позиции. Задействованные в работе элементы на каждой из позиций работают независимо.

У ЗУ параллельного действия присутствует ряд исполнительных позиций для одновременного захватывания или отпускания группы деталей.

ЗУ комбинированного действия оснащены группами из нескольких параллельно действующих исполнительных позиций, и уже эти группы независимо друг от друга приводятся в действие.

ЗУ по виду управления разделяются на четыре группы:

1. Неуправляемые ЗУ. Устройства такого типа содержат в своём составе постоянные магниты, вакуумные присоски, отсутствие принудительного разряжения и прочее. Для снятия с них захваченного объекта нужна большая сила, нежели для его удержания;

2. Командные ЗУ. Эти устройства управляются командами на захватывание или отпускание объекта. Такими ЗУ являются, в частности, устройства с пружинным или пневмоприводом и стопорящими устройствами, срабатывающими через заданный период времени. Зажим и разжим губок осуществляется благодаря взаимодействию с элементами внешнего оборудования или объектом манипулирования;

3. Жёсткопрограммируемые ЗУ. Устройствами этого типа управляет система программного управления. Различные параметры, такие как

величина раскрытия губок или их закрытия, взаимное расположение различных рабочих элементов и сила сжатия зажима в ЗУ такого типа меняются в зависимости от заданной управляющей программы, которая также может контролировать и действия вспомогательных приспособлений;

4. Адаптивные ЗУ. ЗУ этого типа являются программируемыми устройствами, они оснащены датчиками обратной связи, определяющими силу сжатия, форму и массу манипулируемого объекта, проскальзывание его относительно различных рабочих элементов ЗУ и многое другое.

По способу крепления к руке промышленного робота все ЗУ можно разделить на четыре группы:

1. Несменяемые ЗУ – это неотъемлемая часть конструктивного исполнения робота. Смена таких ЗУ не предусмотрена;

2. Сменные ЗУ. Устройства такого типа представляют собой самостоятельные узлы, имеющие базовые поверхности для крепления к промышленному роботу. Такие ЗУ не рассчитаны на их быструю смену из-за вида их крепления;

3. Быстросменные ЗУ – это сменные узлы, крепящиеся к промышленному роботу базовыми поверхностями для обеспечения их быстрой смены. Примером такого ЗУ может служить байонетный замок;

4. ЗУ, подходящие для автоматической смены – это такие устройства, конструктивное исполнение базовых поверхностей которых даёт возможность автоматической смены на работе.

4.3 Разработка захватного устройства

Для перемещения сортируемых кубов было разработано захватное устройство, позволяющее схватывать и удерживать объект во время перемещения на определённые координаты.

Клещевой тип захватного устройства обладает простой конструкцией, малой стоимостью и позволяет легко манипулировать объектами небольших масс и размеров

Для присоединения схвата к роботу-манипулятору между соединительным узлом руки манипулятора и основанием схвата вставляются соединительные элементы.

4.3.1 Расчёт механических ЗУ

Расчёт механических ЗУ (захватных устройств) есть вычисление сил, которые действуют в местах соприкосновения губок с деталью, а также подсчёт механических усилий электропривода, которые ведутся по обычным методикам расчёта. Расчёт усилий электропривода, разработанного захватного устройства представлен ниже:

4.3.2 Силовой анализ механизма, и определение усилия электропривода

Наибольший размер, захватываемых зажимными ЗУ, наружных поверхностей, должен соответствовать одному из значений представленного ряда: 1, 4, 12, 32, 63, 100, ... 500 мм. Наружная поверхность захватываемого объекта, который используется для сортировки в стенде «Автоматизированный транспортно-складской комплекс», равен 32 мм.

Модель, разработанных объектов для сортировки типа «куб» представлена на рисунке 4.2.

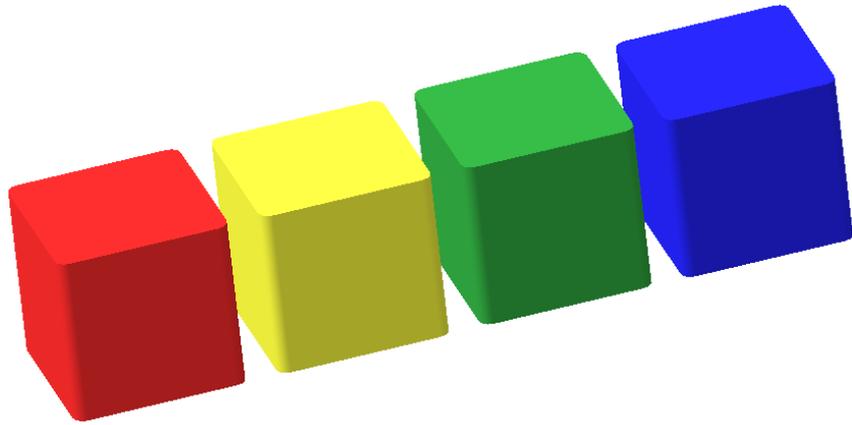


Рисунок 4.2 – Цветные кубы для сортировки размером 32x32x32мм

Масса детали (куба): $M = 10$ г. Силой инерции, которая появляется при вертикальном движении детали в схвате можно пренебречь, поскольку она равна 40 мм/с^2 : $0,004 \text{ Н}$, что ничтожно мало.

Материал перемещаемой детали: АБС-пластик. Для пальцев схвата также используется шероховатая (рифлёная) поверхность из АБС-пластика.

Коэффициент трения АБС-пластика НПС $\mu = 0,6$.

Силы, действующие в местах соприкосновения зажимных губок и детали определяются нахождением минимальных сил в местах контакта, достаточных для удержания детали. Для определения этих сил приведены формулы 4.1 и 4.2:

$$\text{Для левой губки схвата: } F1 = F_d \times \cos(\alpha) \times (L11/L21) \quad (4.1)$$

$$F_{\text{тр1}} = \mu \times F1$$

$$\text{Для правой губки схвата: } F2 = F_d \times \cos(\alpha) \times (L21/L22) \quad (4.2)$$

$$F_{\text{тр2}} = \mu \times F2$$

Для того чтобы схват выдержал куб необходимо чтобы суммарная сила трения была больше либо равна силе тяжести:

$$F_{\text{тр1}} + F_{\text{тр2}} > mg$$

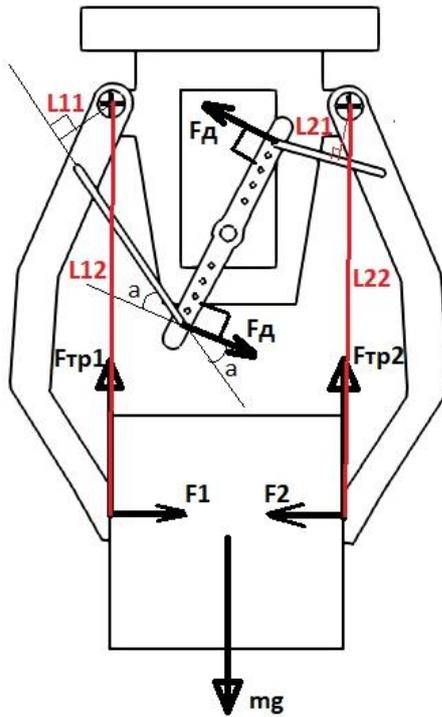


Рисунок 4.3 – Расчёт захватного устройства

Усилие на валу использованного сервопривода равно $1,8 \text{ кг} \times \text{см}$.
 Значит сила, создаваемая относительно точки, расположенной на расстоянии
 1 см от линии действия силы будет равна $17,65197 \text{ Н} \times \text{см}$. Поскольку
 расстояние между рычагом губок и валом 1,7 см, то усилие на валу ($F_{\text{д}}$) будет
 равно 10,3 Н.

Для левой губки:

$$F1 = F_{\text{д}} \times \cos(a) \times (L11/L12) = (10,3 \text{ Н}/2) \times \cos(39^\circ) \times (6,6\text{мм}/50\text{мм}) = 0,53 \text{ Н}$$

$$F_{\text{тр}1} = \mu \times F1 = 0,6 \times 0,53 = 0,318 \text{ Н}$$

Для правой губки:

$$F2 = F_{\text{д}} \times \cos(a) \times (L21/L22) = (10,3 \text{ Н}/2) \times 1 \times (6,5\text{мм}/50\text{мм}) = 0,67 \text{ Н}$$

$$F_{\text{тр}2} = \mu \times F2 = 0,6 \times 0,67 = 0,402 \text{ Н}$$

Проверим условие сохранения детали в схвате:

$$F_{\text{тр1}} + F_{\text{тр2}} > mg = 0,72 \text{ Н} > 0,098 \text{ Н}$$

Таким образом, использование двигателя с моментом силы $1,8 \text{ кг} \times \text{см}$ для сжатия/разжатия губок захвата позволяет перемещать сортируемые кубы по всей рабочей зоне.

4.4 Сборка рабочего захватного устройства

В конечном итоге было выбрано захватное устройство клещевого типа с рычажным механизмом по причине лёгкости, простоты конструкции и изготовления.

Далее была разработана детализированная модель захватного устройства, включающая сервопривод. Модель изображена на рисунке 4.4.

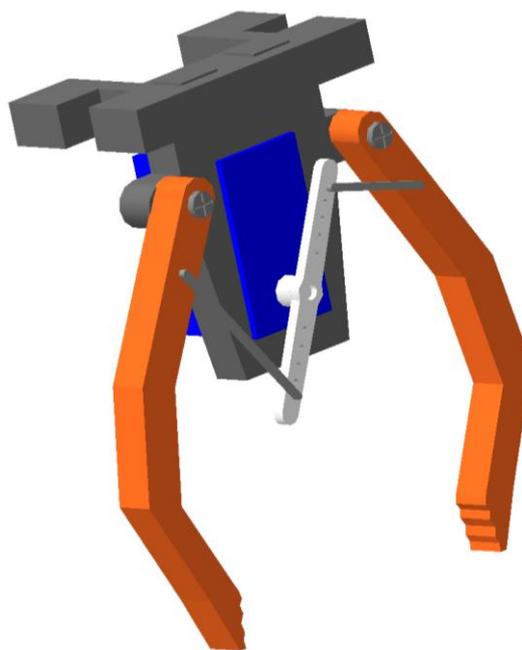


Рисунок 4.4 – 3D модель разработанного захватного устройства

Захват манипулятора изготовлен из АБС-пластика, что снижает стоимость производства, и имеет небольшой вес, следовательно, снижает нагрузку на двигатели, а также обладает высокой ударопрочностью и эластичностью. Для сжатия/разжатия губок используется серводвигатель с

ходом 90 градусов от крайнего по часовой и до крайнего против часовой стрелки положения.

На рисунке 4.5 приведена схема с габаритными размерами разработанного захватного устройства.

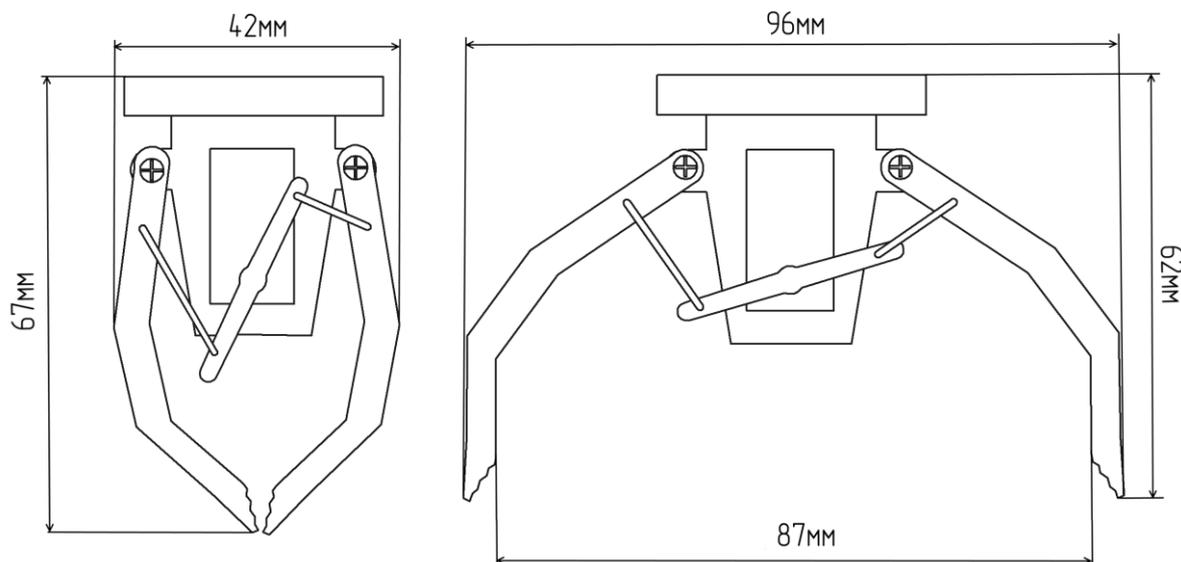


Рисунок 4.5 – Габаритные размеры захватного устройства

5 Технико-экономическая часть разработки лабораторного стенда

Целью данного экономического расчёта является оценка экономической эффективности проектных решений автоматизированного сортировочно-складского комплекса на базе робота-манипулятора. Данный стенд предназначен для проведения лабораторных работ, которые помогут студентам закрепить полученные теоретические знания на практике.

Расчёт экономической эффективности проекта производится до начала проектирования и разработки системы, то есть необходимо произвести расчёт потенциального эффекта от внедрения системы на предприятии.

5.1 Описание лабораторного стенда сортировочно-складской системы

Лабораторный стенд складской системы предназначен для повышения производительности труда, а также для наглядного представления работы автоматизированной системы складирования.

Складской комплекс состоит из следующих узлов:

- Робот-манипулятор и система его перемещения по горизонтальной оси;
- Транспортная лента (конвейер);
- Склад с четырьмя ячейками;
- Система питания и управления.

Управление данным лабораторным стендом осуществляется с помощью микроконтроллера Arduino.

В представленном далее разделе производится расчёт стоимости конструкторской части проекта, необходимой для работы лабораторного стенда.

5.2 Комплектующие для реализации проекта

5.2.1 Оценка робота-манипулятора

Сервопривод Tower Pro MG946R

В рассматриваемом роботе-манипуляторе используются три таких сервопривода: один сервопривод отвечает за поворот манипулятора вокруг своей оси, второй за качание его первого звена, а третий – за качание второго звена манипулятора.

TowerProMG946R – серводвигатель с углом поворота 180 градусов, представлен на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 – TowerProMG946R

Данный тип двигателя был выбран с учётом особенностей конструкции манипулятора. Также требовалось выбрать наиболее лёгкий по весу, но в то же время, достаточно мощный по моменту двигатель с редуктором и гибкой настройкой угла поворота.

Стоимость Tower Pro MG946R - **495 руб.**

Необходимое количество 3 шт. Общая стоимость - **1485 руб.**

Сервопривод Tower Pro 9g SG90

В рассматриваемом комплексе, сервопривод Tower Pro 9g SG90 установлен в захвате подъёмного манипулятора. От угла поворота сервопривода, зависит степень сжатия захвата. Внешний вид сервопривода представлен на рисунке 5.2.



Рисунок 5.2 – Внешний вид Tower Pro 9g SG90

Сервопривод Tower Pro 9g SG90 используется в основном для управления небольшими лёгкими механизмами, угол поворота которых ограничен диапазоном от 0 до 180 градусов.

Стоимость Tower Pro 9g SG90 – **112 руб.**

Печать деталей манипулятора на 3D-принтере

На рисунке 5.3 представлены детали для сборки робота-манипулятора.

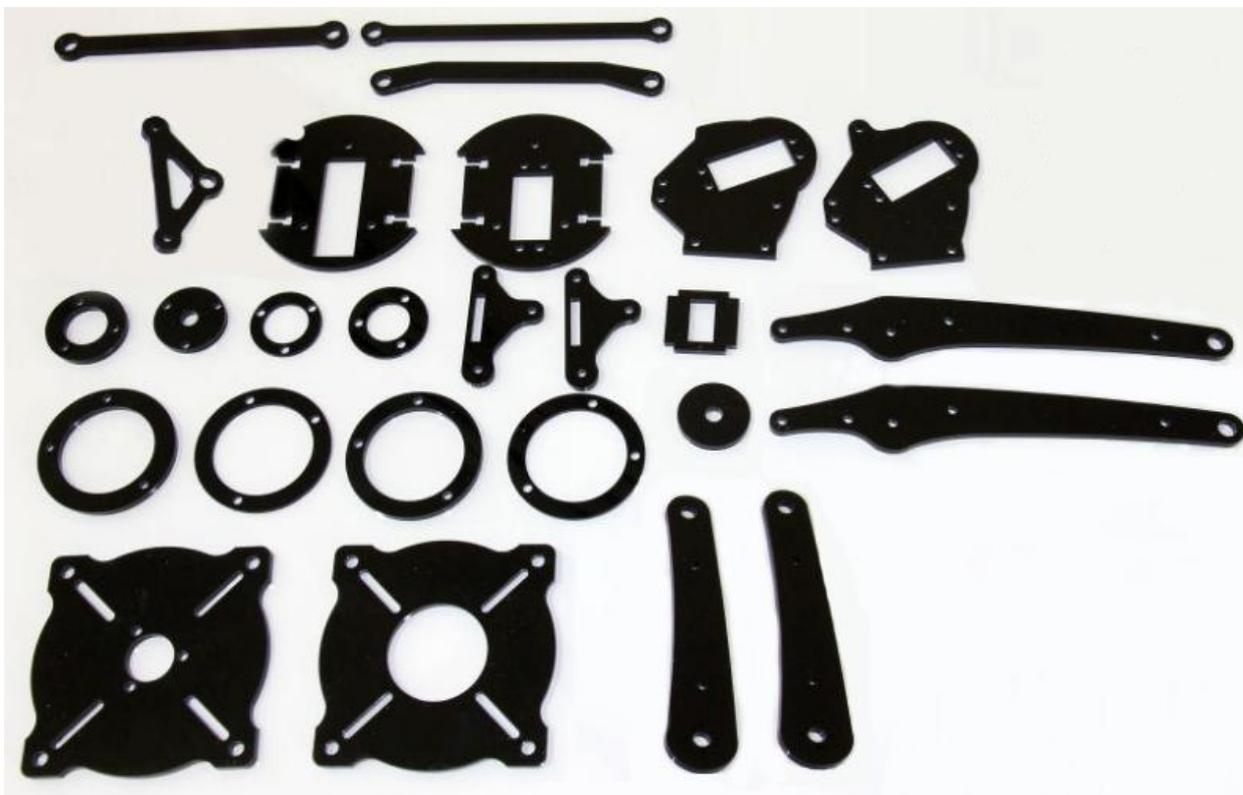


Рисунок 5.3 – Детали робота-манипулятора из АБС-пластика

Стоимость 3D печати - **902 руб.**

В стоимость 3D печати входит расходный материал - АБС-пластик (1200 руб/кг)

Дополнительные расходы, необходимые для сборки манипулятора



Рисунок 5.4 – Запчасти для крепления деталей манипулятора

а – подшипник 61807, б – подшипники MF84ZZ, в – крепёжные элементы

Подшипник размером 35x47x7 (рисунок 5.4, а). Используется для снижения трения во время поворота основания робота-манипулятора.

Стоимость подшипника (1 шт.) – **175 руб.**

Фланцевый подшипник размером 4x8x3 (рисунок 5.4, б). Используется для уменьшения трения тел качения робота-манипулятора.

Стоимость подшипника (12 шт.) – **335 руб.**

Винты, гайки, шайбы, стойки латунные (рисунок 5.4, в) – **218 руб.**

5.2.2 Оценка модуля линейного перемещения робота-манипулятора



а)



б)

Рисунок 5.5 – Комплектующие для модуля линейного перемещения

а – шаговый электродвигатель, б – зубчатый ремень

Униполярный шаговый электродвигатель EM-188 (рисунок 5.5, а). Обеспечивает плоскопараллельное движение робота-манипулятора.

Стоимость шагового электродвигателя – **188 руб.**

Зубчатый ремень GT2 длиной 104 см (рисунок 5.5, б). Преобразует вращательное движение вала шагового электродвигателя в поступательное и служит для перемещения платформы робота-манипулятора.

Стоимость зубчатого ремня – **104 руб.**

Прочие расходы (ролик, платформа, направляющая).

Стоимость – ~ **150 руб.**

На рисунке 5.6 модуль линейного перемещения робота-манипулятора в сборе.

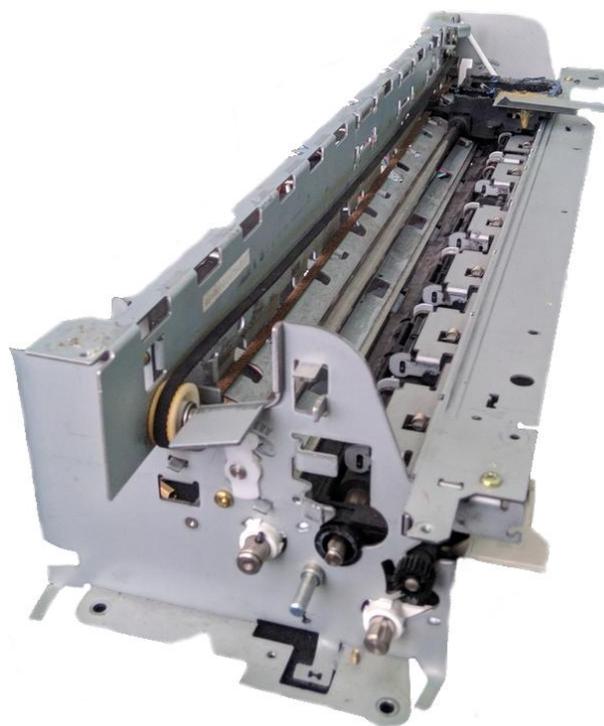


Рисунок 5.6 – Модуль линейного перемещения робота-манипулятора в сборе

5.2.3 Оценка транспортного конвейера

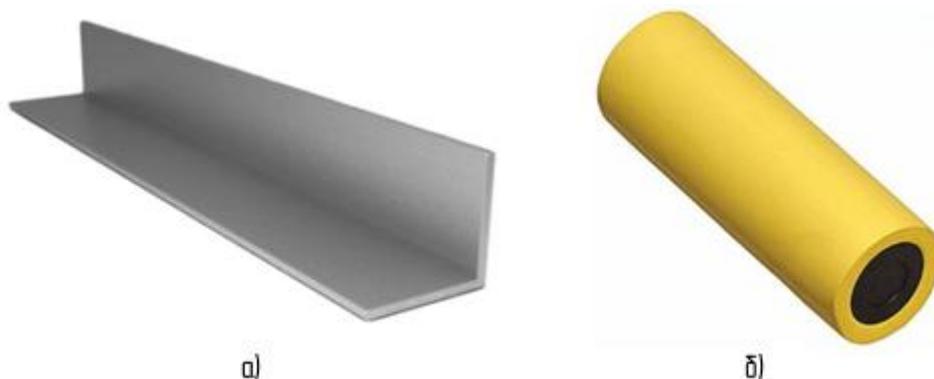


Рисунок 5.7 – Комплектующие для изготовления конвейерной ленты

а – профиль-уголок, б – полиуретановые ролик

Для сборки рамы был использован алюминиевый профиль-уголок (рисунок 5.7, а) длиной 580 мм и шириной 20 мм

Стоимость профиля-уголка – **85 руб.**

Для изготовления конвейерных роликов и приводного барабана были использованы полиуретановые ролики (рисунок 5.7, б).

Стоимость роликов (3 шт.) – **134 руб.**

Для вращения приводного барабана используется электродвигатель GM37B-520. Внешний вид электродвигателя представлен на рисунке 5.8.

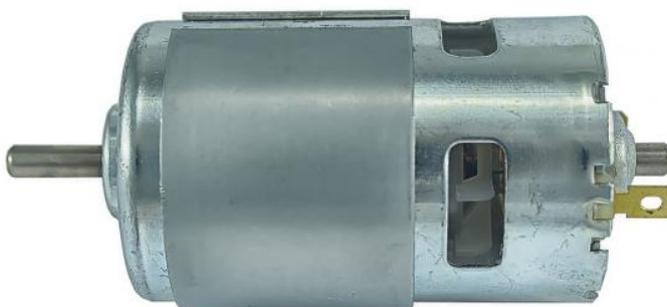


Рисунок 5.8 – Коллекторный двигатель GM37B-520

Стоимость электродвигателя – **258 руб.**

Внешний вид ленточного конвейера представлен на рисунке 5.9.

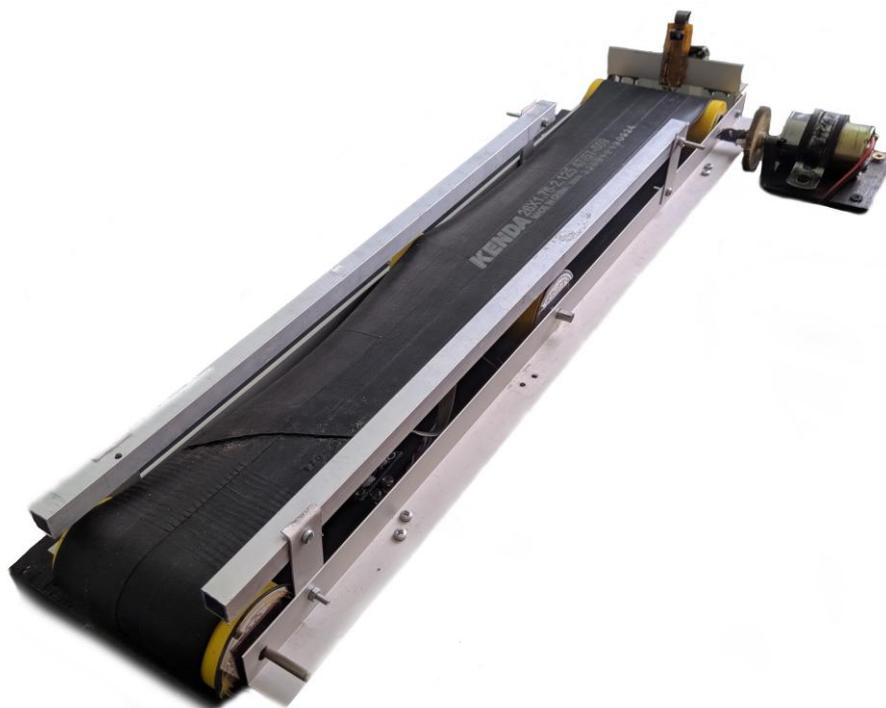


Рисунок 5.9 – Внешний вид ленточного конвейера

5.2.4 Оценка склада с четырьмя ячейками

На рисунке 5.10 представлена модель ячейки склада, предназначенная для печати на 3D-принтере.

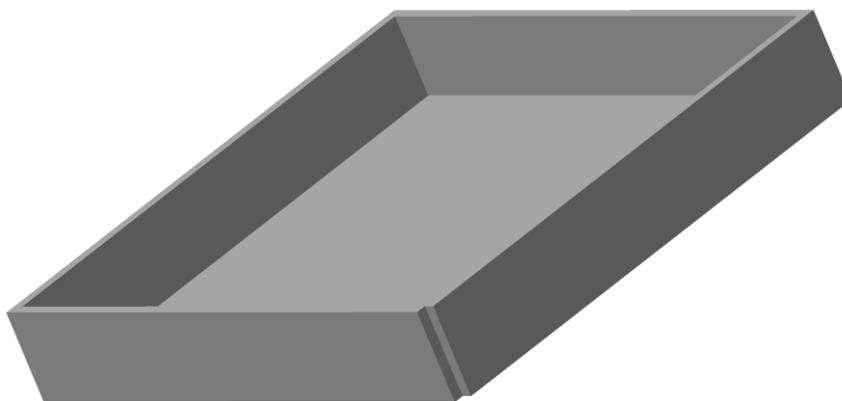


Рисунок 5.10 – Ячейка склада для 3D печати

Стоимость 3D печати 4 таких ячеек - **108 руб.**

В стоимость 3D печати входит расходный материал - АБС-пластик (1200 руб/кг)

Для вращения барабанного склада вокруг своей оси используется шаговый электродвигатель EM-188 (рисунок 5.5, а).

Стоимость шагового электродвигателя – **188 руб.**

5.3 Итоги оценки экономической эффективности проектных решений

В данной работе мы рассмотрели и рассчитали стоимость физической модели робота-манипулятора и его захватного устройства, а также необходимых дополнительных компонентов стенда: конвейера для перемещения сортируемых предметов, и барабанного склада для их хранения.

Для реализации конструкторской части проекта «Лабораторный стенд сортировочно-складской системы» необходимо **4442 руб.** Данный проект выбрал в себя наиболее подходящие комплектующие по цене и эффективности в представленном техническом задании по ВКР.

Эффективность проекта наиболее заметна в долгосрочной перспективе, так как автоматизирование процесса сортировки и складирования оптимизирует время и трудозатраты. Экономически более эффективно использовать складские комплексы вместо ручного труда, тем самым снижая временные затраты и количество рабочих, что удешевляет процесс в целом.

Заключение

В выпускной бакалаврской работе ставилась задача разработки конструкции лабораторного стенда «Автоматизированная транспортно-складская система», на базе робота-манипулятора, а также разработка необходимых дополнительных компонентов стенда: конвейера для перемещения сортируемых предметов, и барабанного склада для их хранения.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- разработать конструкцию лабораторного стенда «Автоматизированная транспортно-складская система»;
- разработать конструкцию робота-манипулятора и собрать физическую модель;
- собрать конструкцию дополнительных компонентов стенда: конвейер, барабанный склад;
- после окончания разработки манипулятора получить конструкции и модели: захватного устройства, робота-манипулятора, модуля линейного перемещения манипулятора по горизонтальной оси;
- проанализировать существующие типы захватных устройств, что, в конечном счёте, привело к разработке и сборке физической модели захватного устройства клещевого типа с рычажным механизмом;

Список используемой литературы

1. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин [Текст] / Артоболевский, И.И. – М: ИД Альянс, 2011 – 640 с.
2. Бекишев, Р.Ф. Общий курс электропривода [Текст] / Бекишев Р.Ф., Дементьев Ю.Н., – Томск: ТПУ, 2010. – 302 с.
3. Белянин, П.Н. Промышленные роботы и их применение [Текст] / Белянин П.Н. -М.: Машиностроение, 2012. – 74 с.
4. Герман-Галкин, С.Г. Проектирование мехатронных систем [Текст] / С.Г. Герман-Галкин. - СПб.: Корона - Век, 2013. – 368 с.
5. Герц, Е.В. Расчёт пневмоприводов [Текст] / Герц Е.В. – М.: Машиностроение, 2012. – 72с.
6. Глазков, В. П. Методы решения прямой и обратной задач кинематики роботов-манипуляторов [Текст] / 2005. – с. 10 – 23
7. Егоров, О.Д. Робототехнические мехатронные системы [Текст] / Егоров О.Д., Подураев Ю.В., Бубнов М.А. – М: Станкин, 2015. – 326 с.
8. Козырев, Ю.Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов [Текст] / Козырев Ю.Г., Учебное пособие – М: КноРус, 2016. - 318 с.
9. Козырев, Ю.Г. Манипулирующее устройство [Текст] / Козырев Ю.Г. - М.: Машиностроение, 2012. – 104 с.
10. Лекции. Классификации систем координат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://baumanki.net/lectures/> (Дата обращения: 02.03.2018).
11. Москвичев, А.А. Захватные устройства промышленных роботов и манипуляторов [Текст] / Москвичев А.А., Учебное пособие – К: Форум, 2017. – 176 с.
12. Промышленные роботы манипуляторы [Электронный ресурс]: статья о видах конструкций промышленных роботов манипуляторов / Электрон. журн. – Режим доступа: <http://www.robo24.ru/promyshlennyeroboty.html> (Дата обращения: 28.02.2018).

13. Украженко, К.А. Захватные устройства промышленных роботов [Текст] / К.А. Украженко, Ю.В. Янчевский, А.А. Кулебякин, А.Ю. Торопов., Учебное пособие – Я: ЯГТУ, 2007. – 83 с.
14. Шеленок, Е. А. Разработка учебного робота-манипулятора [Текст] / Шеленок Е. А. Том 5, Учёные заметки. – Х: ТОГУ, 2014. – 253 с.
15. Юревич, Е.И. Основы робототехники. [Текст] / Юревич Е.И. СПб.: БХВ Петербург, 2-е издание, 2005. – 203 с.
16. Thomas S. Woodson, 3D Printing for Sustainable Industrial Transformation [Текст] / Thomas S. Woodson, 2015 – с. 571–576
17. Johannes Schmalza, Automated Selection and Dimensioning of Gripper Systems [Текст] / Johannes Schmalza, Gunther Reinhar, 2014 – с. 212–216
18. M. Tarkian, Experimental verification of design automation methods for robotic finger [Текст] / M.Tarkian, M.Honarpardaz, J.Ölvander, X.Feng, 2017 – с. 89–101
19. Peter Plapper, Safe and Automated Assembly Process using Vision assisted Robot Manipulator [Текст] / Peter Plapper, Rafiq Ahmadab, 2016 – с. 771–776
20. William Oropallo, Ten challenges in 3D printing [Текст] / William Oropallo, Les A. Piegl, 2015 – с. 135–148