

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт факультет Машиностроения
Кафедра «Мехатроника и автоматизация»
Направление «Мехатроника и робототехника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
В.Р. Гасияров

_____ 2019 г.

Разработка мехатронной системы перемещения шестиосевого робота
манипулятора фасовочного цеха ООО «Ресурс»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ — 15.03.06.2019.350.ПЗ (ВКР)

Нормоконтролер
Преподаватель
О.А. Гасиярова

_____ 2019 г.

Руководитель работы
Доцент, к.т.н.
И.А. Якимов

_____ 2019 г.

Ст. преподаватель
С.С. Воронин

_____ 2019 г.

Автор работы
Студент группы П-456
Денис Дмитриевич Сеницын

_____ 2019 г.

ЗАДАНИЕ

АННОТАЦИЯ

Синицын Д.Д. Разработка мехатронной системы перемещения шестиосевого робота манипулятора фасовочного цеха ООО «Ресурс» – Челябинск: ЮУрГУ, П-456, 71 с., 33 илл., 8 табл. библиогр. список – 21 наим.

Выпускная квалификационная работа (ВКР) выполнена с целью проектирования процесса управления мехатронной системой робота манипулятора фасовочного конвейера ООО «Ресурс».

В ВКР проанализирована организационная структура предприятия, рассмотрен технологический процесс фасовочного цеха, проведена оценка результативности выбранного оборудования участка перемещения коробок в гофроящик.

В рамках работы разработана система автоматического управления роботом манипулятором, а также трехконтурная система подчиненного регулирования звена робота.

С помощью компьютерного моделирования программы MATLAB (пакета Simulink) разработана структурная схема системы автоматического регулирования (САР) положения для типовых режимов работы электропривода звена робота. Сняты переходные процессы, проанализированы их показатели качества, позволяющие утверждать об успешном проектировании САР.

Рассчитаны смета капитальных вложений, фонд оплаты труда, амортизационные отчисления до и после внедрения оборудования, годовая экономия и срок окупаемости. Экономические показатели, рассчитанные в ВКР, говорят об уместности внедрения оборудования в технологический процесс.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ	8
1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма.....	8
1.2 Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма.....	11
1.3 Требования к приводам и системам автоматизации	15
1.4 Выбор системы привода.....	17
1.5 Расчёт и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы	19
1.6 Выбор основного силового оборудования	24
1.7 Защита привода	28
2 РАЗРАБОТКА САУ	32
2.1 Разработка архитектуры системы автоматизации.....	32
2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат	35
2.3 Выбор и разработка функциональной схемы САР привода проектируемого агрегата	39
2.4 Разработка контура регулирования технологических координат.....	41
2.5 Разработка структурной схемы САУ и моделирование типовых режимов работы привода.....	43
2.6 Разработка алгоритма работы участка.....	55
3 РАСЧЕТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	57
3.1 Краткая характеристика подразделения и выпускаемой продукции ..	57
3.2 Производственная программа цеха.....	58

3.3	Расчёт сметы капитальных затрат (расчёт стоимости приобретенного оборудования, затрат на монтаж оборудования, величины транспортных расходов, заготовительно-складских расходов, затрат на запасные части и расходов на комплектацию оборудования).....	59
3.4	Расчет РСЭО (затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, потери электроэнергии, расчет амортизационных отчислений, затраты на ремонт и обслуживание электрооборудования).....	60
3.5	Расчет срока окупаемости проекта.....	65
3.6	Составление сводной таблицы технико-экономических расчетов.....	66
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	68
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	70

ВВЕДЕНИЕ

Компания ООО «Ресурс» сегодня – современный переработчик зерна и производитель качественных круп и зерновых хлопьев. Компания успешно систематизировала и опробовала десятки инструментов по росту категории круп и хлопьев в торговых точках разного формата. Предприятие стремится полностью автоматизировать процесс, чтобы минимизировать простои и добиться бесперебойного выпуска продукции.

Первостепенным является подробный анализ технологического процесса, позволяющий конструктивно верно подобрать необходимое силовое и вспомогательное оборудование.

Последовательность этапов фасовочного цеха можно разделить на 4 этапа: фасовка крупы в варочные пакетики, упаковка пакетиков в кройкоробки, перемещение кройкоробок в гофроящик, формирование паллет с готовой продукцией.

В данной ВКР мы займемся исследованием и модернизацией 3-го из рассмотренных выше этапов: перемещение кройкоробок в гофроящик, т.к. данный процесс не полностью автоматизирован. Необходимо обеспечить непрерывное перемещение кройкоробок в гофроящик с достаточными скоростью и надежностью. Оборудованием, способным заменить на данном этапе человеческий труд, является манипулятор.

Манипулятор - совокупность пространственного рычажного механизма и системы приводов, осуществляющая под управлением программируемого автоматического устройства или человека-оператора действия (манипуляции), аналогичные действиям руки человека.

Применение роботов-манипуляторов позволяет освободить человека от тяжёлых или ручных операций, включая и вредные работы, перейти к комплексной автоматизации серийного производства. Подавляющее большинство роботов используется в составе роботизированных технологических комплексов, разделенных на уровни, каждый из которых

отвечает за ту или иную область управления роботом. Важнейшей составной частью роботов является привод, который управляет по заданной программе движением его механизмов. К приводам степеней подвижности применяются высокие требования по быстродействию и точности работы.

После подбора и проверки оборудования разработать систему автоматического управления технологическим процессом (АСУ ТП), которая и будет осуществлять процесс работы участка без участия человека. Сложностью моделирования системы автоматического регулирования положения является высокие требования к точности позиционирования, для осуществления бесперебойного производства. Необходимо не только разработать архитектуру системы автоматизации, но и разработать алгоритм её работы.

Далее необходимо провести экономическую оценку уместности использования устанавливаемого оборудования, рассчитать экономическую выгоду и срок окупаемости.

Целью работы является разработка системы перемещения кройкоробок в гофроящик. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- Анализ технологического процесса фасовочного цеха
- Выбор основного силового оборудования участка
- Разработка системы автоматического управления участка
- Моделирование системы автоматического регулирования технологической координаты
- Расчет технико-экономических показателей

1 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма

Сегодня продукция компании ООО «Ресурс» поставляет более 50 видов продукции из зерна и хлопьев во все города России областного значения, а также в страны ближнего и дальнего зарубежья. Марка «Увелка» – лидер отечественного рынка пакетированных круп. Продукция компании представлена во всех федеральных сетях, что говорит о востребованности продукции конечными потребителями.

На сегодняшний день компания видит своей миссией – обеспечение населения Российской Федерации, стран СНГ и дальнего зарубежья качественными продуктами, которые соответствуют высоким стандартам. Производство круп и хлопьев в ООО «Ресурс» осуществляется на автоматизированном современном оборудовании, которое позволяет сохранить в хлопьях и сырье все витамины и микроэлементы. Крупы и хлопья компании ООО «Ресурс» выпускаются по техническим условиям, параметры которых превосходят требования ГОСТ. Компания работает по международному стандарту ГОСТ Р ИСО 22000-2007 «Система безопасности пищевой продукции» [1].

Развитие компании проходило в несколько этапов. С 20 апреля 1992 года по индивидуальному проекту началось строительство цеха по переработке гречихи. В 1993 году начался выпуск первой продукции - гречки ядрицы в мешках по 50 кг. С этого момента на предприятии неоднократно проводилась реконструкция оборудования с целью улучшения качества и наращивания мощностей. В 1996 году у Компании появился свой логотип и товарный знак, а в 1997 году начался выпуск продукции в цветной полипропиленовой пленке. Параллельно осваивался выпуск круп в варочных пакетиках.

2015 год для ООО Ресурс стал годом модернизации оборудования:

- В сентябре запущена Автоматическая фасовочно-упаковочная линия для производства продукции «Крупы в варочных пакетиках»;
- В октябре запущена Автоматическая фасовочно-упаковочная линия для производства продукции «Овсяные каши».

В производственный комплекс предприятия входят:

- Гречневый цех;
- Цех по производству «серых» круп;
- Цех по производству многозерновых хлопьев;
- Фасовочное производство с собственной микробиологической лабораторией с лицензией Министерства Здравоохранения РФ;
- Бункерная система для бестарного хранения зерна.

На ООО «Ресурс» для подработки круп используются три однотипных по содержанию оборудования технологические линии и линия для производства хлопьев. Здание для переработки крупы и производства хлопьев представляет собой пять этажей. Подача продукта (крупы) начинается с засыпки на первом этаже. С помощью ковшевых вертикальных конвейеров крупа поступает на пятый этаж. Далее на участке технологии осуществляется очистка крупы. Затем крупа подается на линии участка фасовки или поднимается снова на пятый этаж и засыпается в бункера.

Три типовые линии по подработке пищевых концентратов расположены в отдельно стоящем трехэтажном здании. С помощью грузоподъемного лифта ингредиенты поднимаются на третий этаж. С третьего этажа происходит засыпка ингредиентов. Далее происходит смешивание всех необходимых составляющих. Затем полученный премикс засыпается в подвижные бункера. После необходимый бункер выставляют на втором этаже для подачи премикса в фасовочный аппарат.

Для фасовки крупы в варочные пакеты смонтирована автоматическая линия, состоящая из ряда этапов, описанных ниже.

Комбинационный дозатор Yamato

Комбинационный дозатор Yamato представляет собой высокопроизводительную машину с высокой точностью дозируемого продукта. Основной принцип работы, дозатор разделяет продукт на порции. Порции взвешиваются датчиками веса. Микрокомпьютер определяет комбинацию порций, ближайшую к заданному весу. Это комбинация сбрасывается в упаковочную машину.

Главный принцип работы машины заключается в следующем: машина формирует пакет из плоского упаковочного материала, находящегося в рулоне.

Пленка по направляющим роликам подается на формирующий воротник, где она формируется вокруг формирующей трубы (или наполняющей трубы) и сваривается по вертикальному шву при помощи вертикального зажима, который прижимает упаковочный материал к формирующей трубе. Поперечные швы свариваются при помощи горизонтальных зажимов, которые снабжены ножом для того, чтобы произвести отрезание пакетов.

В процессе формирования пакета происходит его наполнение при помощи дозирующего устройства (дозатора), который подает определенное количество продукта через формирующую трубу в пакет со сваренным дном.

После заполнения пленка опускается по формирующей трубе на длину одного пакета, и все операции (сваривание вертикальных и поперечных швов, отрезание пакета и т.д.) повторяются.

Картонажная машина Vento

Картонажная машина Vento – это горизонтальная картонная машина непрерывного действия. Роторный питатель захватывает предварительно проклеенный край коробок из магазина с помощью присосок и, после предварительного раскрытия, устанавливает их вертикально между толкателями транспортера. Коробка проходит этапы закрытия клапанов и формирования правильной геометрии коробки. Продукт укладывается пневматическим толкателем в открытую коробку. Клеевые пистолеты наносят

клея клапаны верхний и нижний клапаны крой коробок. С обеих сторон направляющие закрывают передние клапаны. С обеих сторон прижимные пластины придают коробкам правильную форму до застывания клея. Разгонные транспортеры выводят заполненные и склеенные коробки на транспортер выгрузки.

Участок комплектовки гофроящиков

Следующий этап устроен на базе установки LRC 500 Langen Group, работа которой будет рассмотрена в выпускной квалификационной работе. Алгоритм работы установки следующий: картонные кройкоробки подаются на пункт комплектовки, где работники фасовочного цеха перемещают их в гофроящик и устанавливают на транспортную систему для дальнейшей транспортировки на склад готовой продукции. С целью полной автоматизации участка было решено заменить работников роботом-манипулятором, осуществляющим непрерывное перемещение коробок в гофроящик, это позволит избежать заторов на участке и принесёт экономическую выгоду предприятию.

Участок формирования паллет

Работа автоматизированного сборщика паллет LRC 600 происходит следующим образом. Происходит подача гофроящиков с предыдущего участка. Далее гофроящики передаются на станцию сортировки, где они выравниваются и объединяются. Робот фирмы Fanuc с помощью вакуумного захвата реализует перемещение рядов гофроящиков на паллету.

1.2 Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма

Первоочередный вопрос при выборе манипулятора – выбор его кинематической схемы, типов приводов и их взаимодействий. Большинство манипуляторов работают, как рука человека, имеют несколько звеньев, перемещаются аналогичным образом, поэтому и структурная схема

манипулятора должна обладать кинематическими характеристиками, характеризующими конечности человека.

Манипулятор должен иметь по крайней мере три степени подвижности, необходимые для перемещения инструмента в любую точку зоны обслуживания. Каждая степень подвижности манипуляционного робота управляется индивидуальным приводом, в результате чего исполнительный орган получает направленное вполне определенное движение. В современных манипуляторах используют электромеханические, гидравлические, пневматические или комбинированные приводы [2].

В настоящее время имеют место большое количество кинематических схем манипуляторов, которые по-разному реализуют движения, но наиболее распространенными на практике являются четыре схемы с одноподвижными кинематическими парами. Кинематической парой называют подвижное соединение двух соприкасающихся звеньев.

Манипулятор декартового типа (см. рисунок 1), функционирующий в прямоугольной системе координат. Преимуществом является простота в управлении и высокая точность перемещений. Рабочий орган манипулятора линейно перемещается вдоль трех основных осей

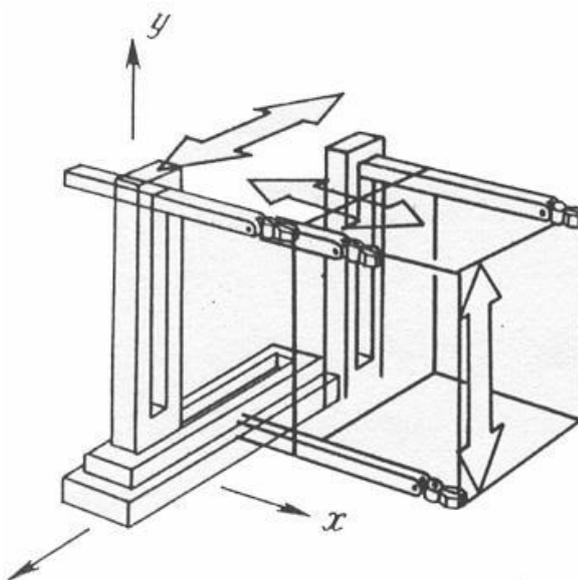


Рисунок 1 – Манипулятор декартового типа

Манипулятор цилиндрического типа (см. рисунок 2) работает в цилиндрической системе координат. Рабочий орган данного типа манипулятора может выдвигаться и втягиваться, а также двигаться вниз и вверх вдоль основания. Помимо этого, весь узел манипулятора может поворачиваться вокруг оси стойки, но не полностью, что и создает цилиндрическую рабочую зону манипулятора.

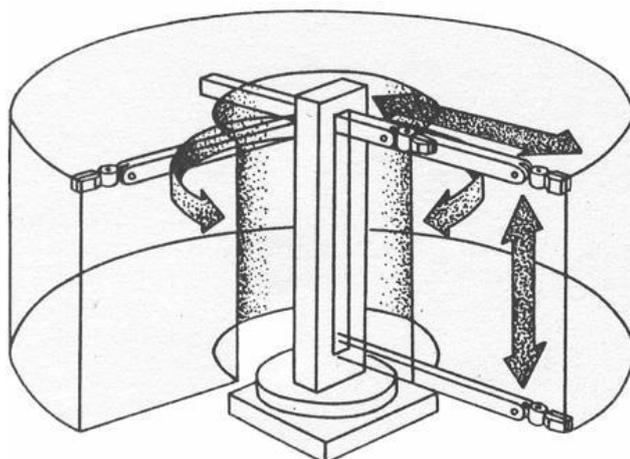


Рисунок 2 – Манипулятор цилиндрического типа

Манипулятор сферического типа (см. рисунок 3), действующий в сферической (или полярной) системе координат. Его схват может выдвигаться и втягиваться.

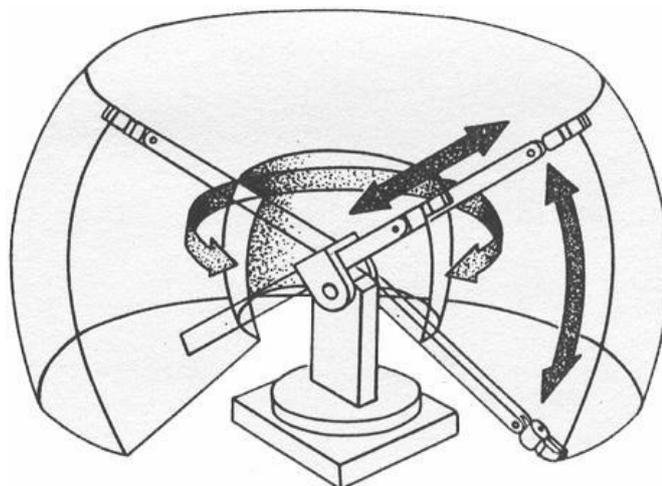


Рисунок 3 – Манипулятор сферического типа

Вертикальные перемещения сферического манипулятора осуществляются путем вращения его в вертикальной плоскости в суставе. Всё звено робота также поворачивается вокруг оси основания. Рабочая зона данного манипулятора является усеченной сферой. Прототипы промышленных роботов были смоделированы именно по принципу сферического манипулятора [3].

Манипулятор ангулярного типа – шарнирный манипулятор (см. рисунок 4) действует в ангулярной системе координат, при этом он не имеет поступательных подвижных соединений, а имеет только вращательные кинематические пары.

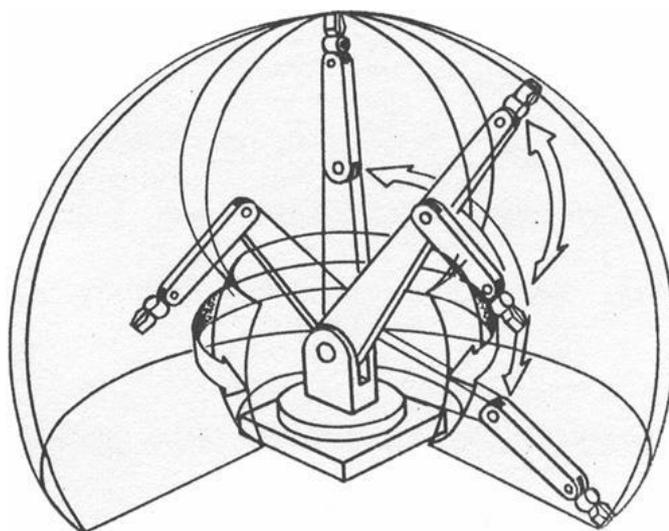


Рисунок 4 – Манипулятор ангулярного типа

Манипулятор такого типа построен на подобии руки человека, поскольку имеет «плечо» и «локоть», а также «запястье». Зона обслуживания данного вида обширнее, чем у роботов других типов. Манипулятор ангулярного типа позволяет обходить препятствия множеством разнообразных способов и даже складываться. Основная трудность заключается в сложном управлении таких манипуляторов

В данной работе будет рассматриваться манипулятор ангулярного типа т.к. вращательные кинематические пары наиболее гибкие в своём исполнении и могут выполнять поставленную задачу, также такая конструкция имеет

довольно обширную рабочую зону и своей гибкостью позволяет обходить некоторые препятствия.

Также стоит отметить, что для выполнения поставленной задачи необходим шестиосевой робот, который благодаря шести степеням свободы сможет огибать препятствия и может быть использован для более трудных задач в дальнейшем.

На рисунке 5 представлена упрощенная кинематическая схема шестиосевого манипулятора, которая послужит основой для робота фасовочного цеха ООО «Ресурс».

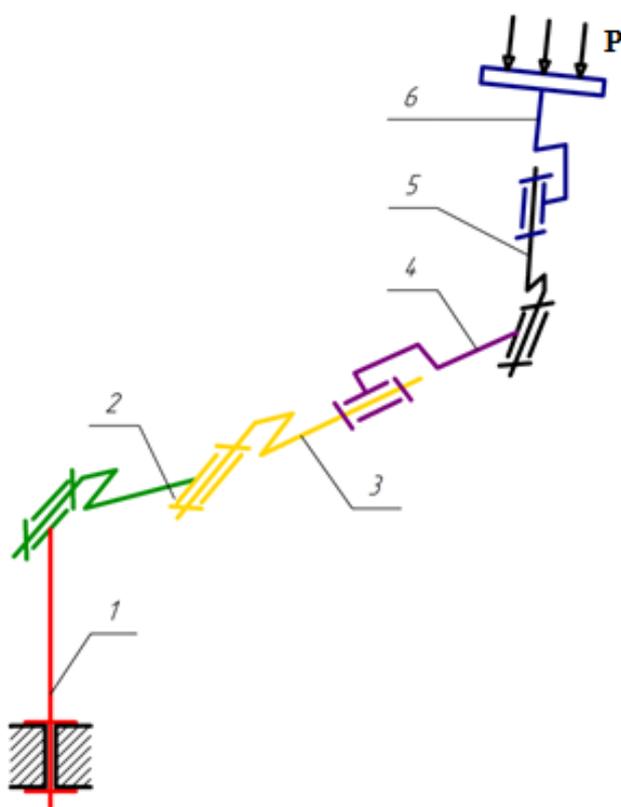


Рисунок 5 – Упрощенная кинематическая схема шестиосевого манипулятора с вакуумным захватом

1.3 Требования к приводам и системам автоматизации

Специфика задач механики роботов состоит в том, что роботы являются управляемыми системами, к ним предъявляется высокие требования по точности и быстродействию при реализации исполнительным механизмом

самых различных условий движения объекта (отработка заданных положений, скоростей, ориентации, ускорений усилий), причём структура кинематической цепи может изменяться в движении. Всё это требует при проектировании исполнительных механизмов промышленных роботов, использования всего арсенала средств и методов механики, теории механизмов, теории автоматического управления, теории упругости и колебаний, теории привода [4].

Высокие требования по быстродействию и точности приводят к необходимости учитывать упругость звеньев основного и передаточных механизмов промышленного робота. Для современных роботов отношение массы груза к массе всей конструкции составляет 1-10%. Это обусловлено тем, что с уменьшением массы конструкции робота снижаются и жесткость, и точность позиционирования [5].

Основные требования к электроприводу робота-манипулятора:

1. Относительный статический перепад скорости во всем диапазоне изменения статического момента - 5%.
2. Для снижения кинематических усилий при перемещениях груза необходимо ограничение углового ускорения звена в 10 рад/с^2 .
3. Диапазон регулирования скорости должен составлять 100:1 для обеспечения точной остановки привода.
4. Допускается снижение питающего напряжения не более чем на 10%;
5. Режим работы электроприводов - повторно-кратковременный с частыми пусками торможениями.

Требования к автоматизации:

1. Точность позиционирования ротора должна быть не более $0,5^\circ$.
2. Время старта цикла программы не более 0.2 с.
3. Управление работой алгоритма участка и манипулятора должно осуществляться от технологического контроллера верхнего уровня.
4. Отсутствие перерегулирования и статической ошибки по положению степеней подвижности робота

1.4 Выбор системы привода

Вид привода промышленного робота обусловлен функционалом, на который робот рассчитан, поставленными перед ним технологическими требованиями, характерными отличиями производства и окружающими условиями. Помимо этого, нужно учитывать стоимость робота, сложность обслуживания, расходные материалы, наличием дополнительных комплектующих и их качество. Выбор приводов звеньев должен осуществляться вместе с определением структуры и типа системы управления. В начале, необходимо выбрать тот или иной носитель энергии приводов манипулятора [6].

Пневматический привод отличается простотой конструкции и низкой стоимостью, особенно при наличии общецеховой сети сжатого воздуха, высоким быстродействием, легкостью обслуживания, безотказностью и пожаробезопасностью. Среди недостатков можно выделить: трудность реализации следящего привода и невозможность точного позиционирования из-за высокой сжимаемости энергоносителя, значительные размеры исполнительных двигателей из-за ограниченного давления энергоносителя (не более 0,6 МПа), пониженный КПД (0,15-0,2).

Гидравлический привод характеризуется компактностью и быстродействием, относительно небольшая масса исполнительных двигателей, высокие динамические и жесткие статические характеристики, легкость задания точных значений скоростей узлов и надежность их фиксации в конкретных положениях, обширные мощность и грузоподъемность. Из-за высоких точностей, гидропривод позволяет обеспечить сложные технологические перемещения, такие как, при контурной сварке и сборке. Важным отличием от пневмопривода является высокий КПД.

Электропривод характеризуется доступностью энергоносителя, простотой регулирования, наладки и монтажа, а также легкостью обслуживания при

работе. Электропривод обладает высоким КПД, высокой надежностью и низким уровнем шума при работе.

Недостатками электрического привода считают высокие обороты электродвигателей, что влечёт за собой применение сложных механизмов снижения оборотов (редукторов); наличие инерционности, вызывающей потребность введения фиксирующих устройств положения узлов по типу тормозов либо самотормозящих передач; скорости узлов меньше в сравнении с пневмоприводом.

В основном в электроприводах используют электродвигатели постоянного тока с последовательным или независимым возбуждением, и двигатели переменного тока – чаще всего асинхронные двухфазные и шаговые электродвигатели различных типов. Электропривод требует применения тех или иных передаточных механизмов для передачи и согласования скоростей движения и силовых характеристик валов электродвигателей и звеньев манипулятора.

В условиях конкретного производства наиболее применим электрический привод, т.к. он обладает достаточными скоростями и высокой точностью регулирования

Данная работа носит интеграционный характер: сначала на основе технических требований, поставленных в пункте 1.3 данной работы, мы выбрали кинематическую схему. Затем принято, решая обратные задачи, определить требования к приводам и системе управления, выбрать или сконструировать приводы и рабочий орган. В конце, решая прямую задачу под действием заданных сил, необходимо выполнить проверку.

Прямая задача кинематики – это вычисление позиции захвата (его трехмерных координат) робота, отталкиваясь от геометрических параметров робота и известной ориентации (углов поворота) звеньев манипулятора. Под обратной задачей принято считать вычисление углов поворота звеньев по заданной позиции схвата, а также известной кинематической схеме с геометрическими параметрами. Отсюда следует, что решение прямой задачи

показывает, где будет располагаться схват робота, при имеющихся углах поворота его звеньев, а обратная задача, наоборот, указывает: как нужно повернуться звеньям манипулятора, для того чтобы его схват спозиционировался в необходимом положении [7].

Согласно нашей работе, нет необходимости разрабатывать манипулятор от начала и до конца. Необходимо интегрировать готовый промышленный манипулятор и убедиться, что он подходит для данной технологической задачи и выполнить проверочные расчёты его электропривода.

Промышленный манипулятор Fanuc M-710ic/50, изображенный на рисунке 6 подходит по всем параметрам. Легкие роботы этой инновационной серии имеют компактное запястье, жесткую конструкцию руки и узкую базу. Благодаря возможности высокоскоростного перемещения по шести осям этот робот является идеальным решением для работы с грузами из неудобных положений [8].

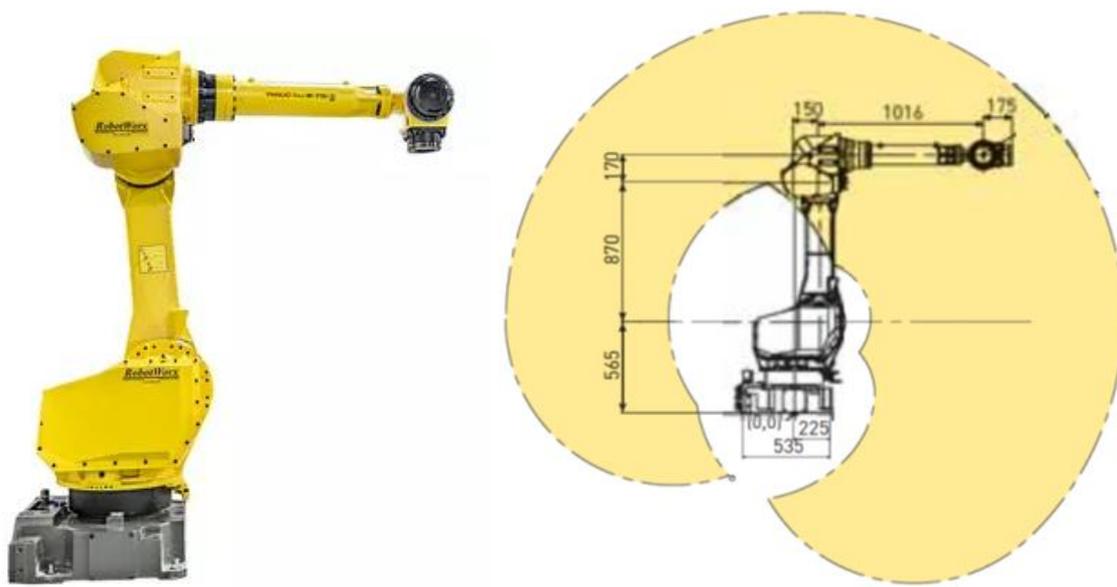


Рисунок 6 – Промышленный манипулятор Fanuc M-710ic/50 и его рабочая зона

1.5 Расчёт и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы

Для расчёта интегрируемого манипулятора необходимо удостовериться, что он может выдерживать самый напряжённый режим. У шестиосевого

манипулятора на данном производстве самой подвижной и наиболее нагруженной является третья ось, т.к. к ней прилагается самый большой момент, из-за наибольшего плеча. Если электропривод данной оси пройдет все проверки, то данный манипулятор может быть интегрирован.

Исходные данные, необходимые для расчёта:

- Статический момент сопротивления третьей оси $M_c = 760 \text{ Нм}$
- Момент инерции двигателя третьей оси $J_{дв} = 0,0085 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
- Масса третьей четвертой и пятой осей $m_0 = 130,4 \text{ кг}$
- Масса груза $m_{гр} = 10 \text{ кг}$
- Передаточное число редуктора $i = 65$.

Электропривод манипуляторов работает в повторно-кратковременном режиме с частыми пусками и торможениями. Он должен справляться с большими ускорениями. Примерная тахограмма, показывающая скорость вращения звена в каждый момент времени цикла, и перемещение изображена на рисунке 7.

Найдём суммарный момент сопротивления, приведённый к валу двигателя третьей оси.

$$M_c^{дв} = \frac{M_c}{i} + \frac{M_{Сдоб}}{i} \quad (1)$$

Масса перемещаемого продукта составляет 10 кг, расстояние между грузом и осью вращения составляет 1,03 м. Стоит отметить, что перемещаемый груз оказывает момент сопротивления только на половине цикла, поэтому нагрузочная диаграмма не будет симметричной

$$M_{Сдоб} = m_{гр} \cdot g \cdot l = 10 \times 9,81 \times 1,031 = 101,1 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2)$$

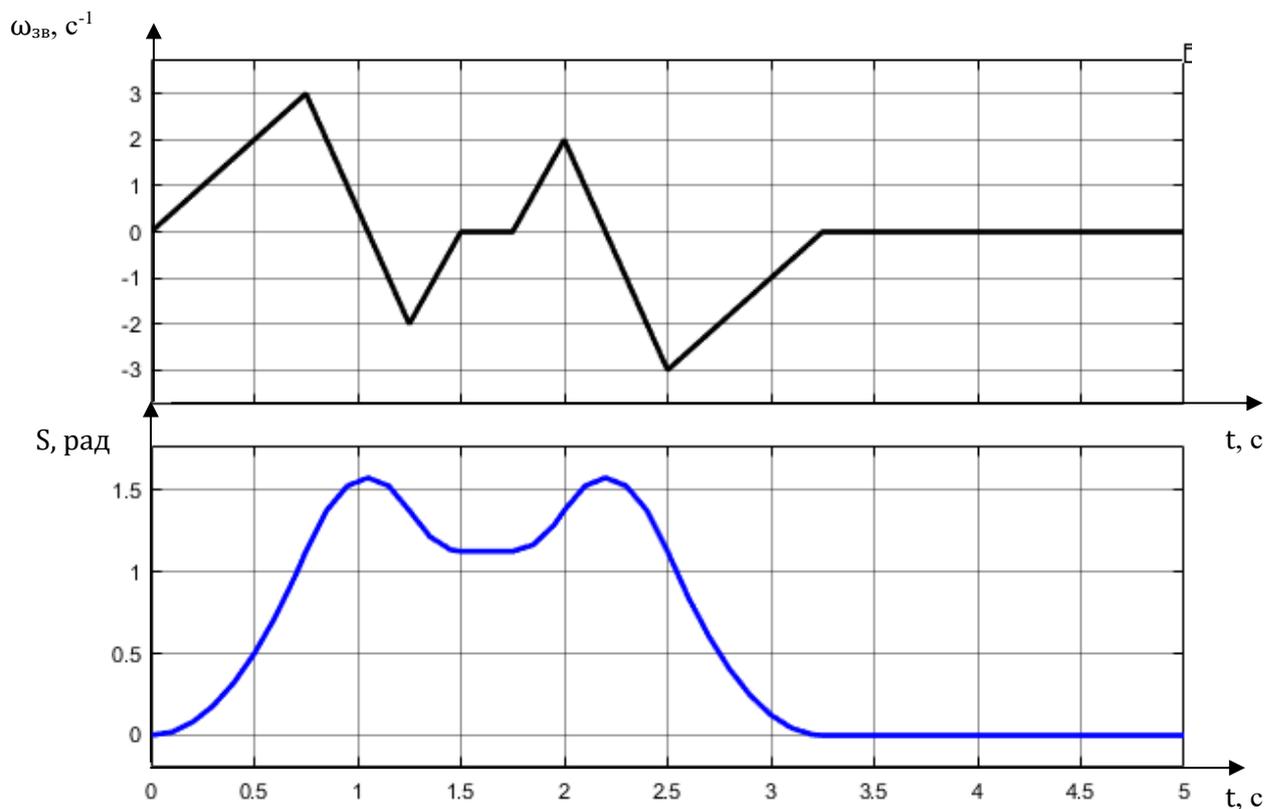


Рисунок 7 – Упрощённые диаграммы угловой скорости и перемещения третьего звена манипулятора

Учитывая передаточное число редуктора, получим тахограмму электродвигателя, изображенную на рисунке 8.

Найдём суммарный приведённый момент сопротивления:

$$M_c^{дв} = \frac{760}{65} + \frac{101,1}{65} = 13,24 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Суммарный момент двигателя можно определить из главного уравнения движения электропривода, описанного формулой (3).

$$M_{дв} \pm M_c = J_{\Sigma} \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad (3)$$

где J_{Σ} – суммарный момент инерции, приведённый к валу двигателя, рассчитываемый согласно формуле (4).

$$J_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + \frac{J_{\text{зв}}}{i^2} \quad (4)$$

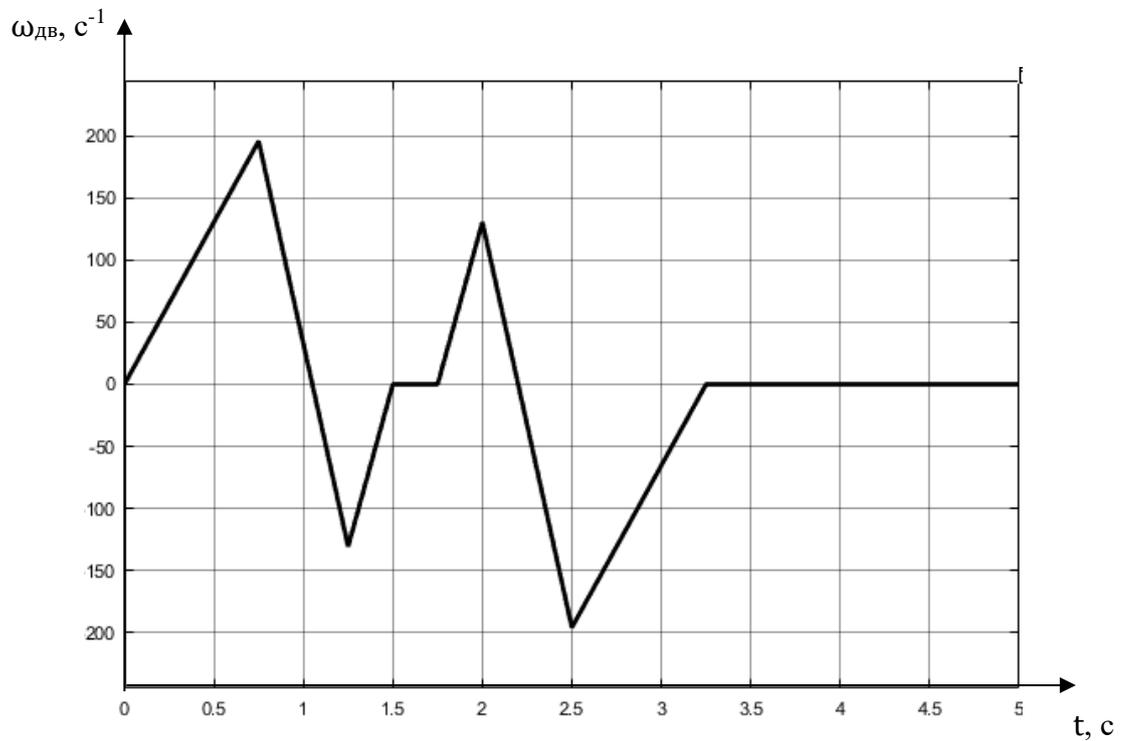


Рисунок 8 – Тахограмма двигателя третьей оси

Упрощенно звено представляет собой стержень, вращающийся вокруг статора двигателя. Момент инерции звена $J_{\text{зв}}$ можно найти по формуле 5.

$$J_{\text{зв}} = \frac{1}{3} \cdot m \cdot l^2 \quad (5)$$

$$J_{\text{зв}} = \frac{1}{3} \cdot 130,4 \cdot 1,031^2 = 46,11 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{\Sigma} = 0,0085 + \frac{46,11}{65^2} = 0,0193 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Диаграммы моментов уравнения движения изображены на рисунке 9.

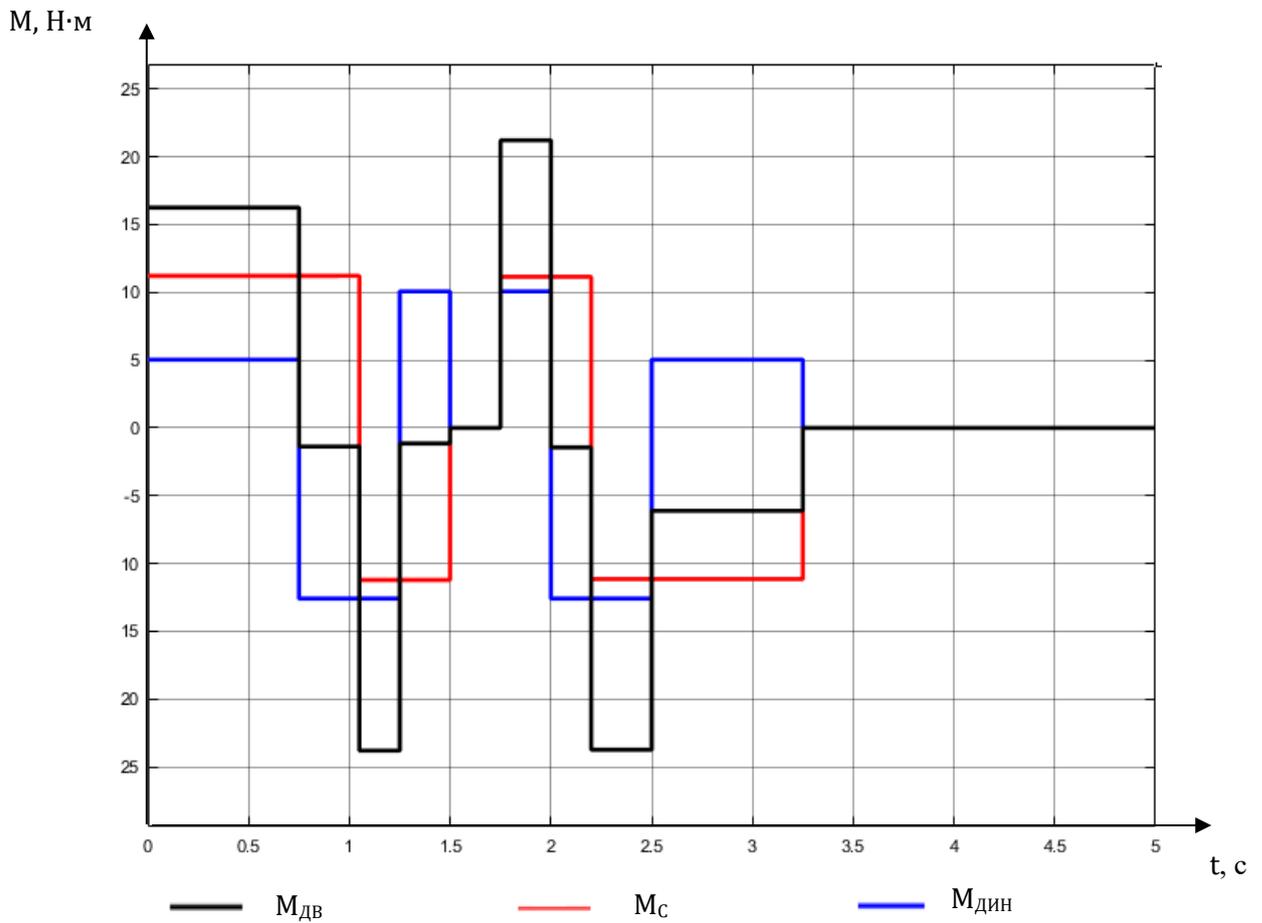


Рисунок 9 – Моменты сил сопротивления, динамический и суммарный

Тахограмма и нагрузочная диаграмма (см. рисунок 10) позволяют выбрать и проверить силовое оборудование по перегреву.

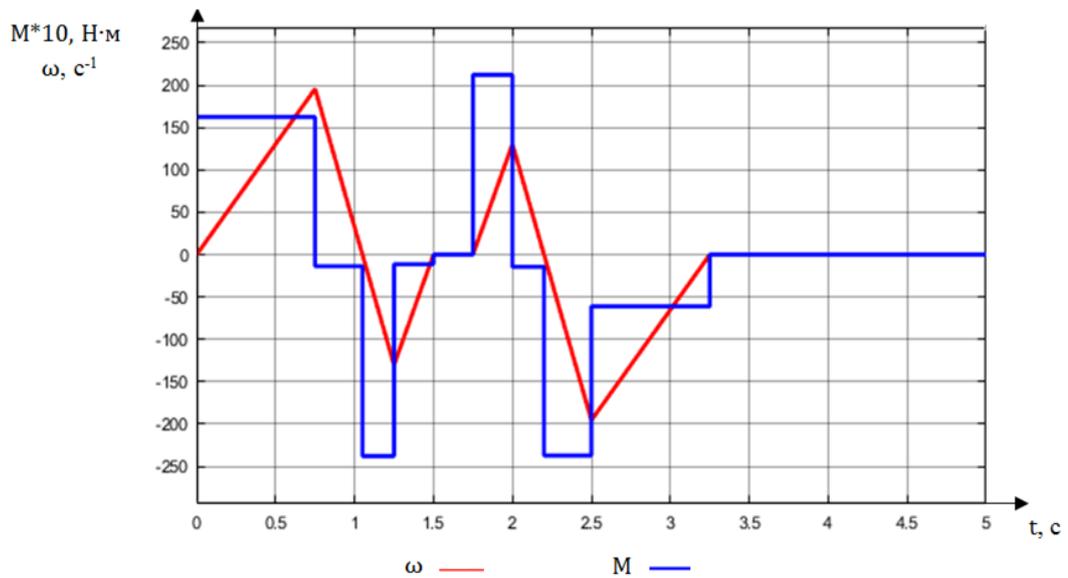


Рисунок 10 – Нагрузочная диаграмма и тахограмма работы привода третьей оси

1.6 Выбор основного силового оборудования

Сервоприводом считается любой тип электропривода, включающий в свой состав датчик (усилия, скорости, положения) и регулятор привода, поддерживающий автоматически нужные показатели на датчике, согласно внешнему сигналу задания. К сервоприводам относится множество различных регуляторов и усилителей с отрицательной обратной связью, например, гидро -, электро -, пневмоусилители ручного привода управляющих элементов, однако термин «сервопривод» принято употреблять в случаях, когда разговор идет о электроприводах с обратной связью по позиции, применяемых в САР. В состав сервопривода входят:

1. Привод — обычно, это двигатель, соединенный с редуктором.
2. Датчик обратной связи, позволяющий отслеживать скорость и/или позицию ротора двигателя (энкодер).
3. Блок питания и управления в обычных САУ это преобразователь частоты, который также называется сервоусилитель.
4. Вход/конвертер/датчик управляющего сигнала/воздействия (может быть в составе блока управления). Нередко у роботов имеется свой контроллер который осуществляет решение прямой и обратной задач кинематики и перемещение робота.

На рисунке 11 представлен двигатель фирмы Fanuc, установленный в третьей оси робота манипулятора Fanuc M-710ic/50.



Рисунок 11 – Двигатель Fanuc α22/2000

В таблице 1 приведены параметры двигателя третьей оси робота манипулятора.

Таблица 1 – Технические характеристики двигателя Fanuc $\alpha 22/2000$

Параметр	Значение
Мощность, кВт	3,8
Частота, Гц	133
Номинальный ток, А	15
Номинальное напряжение, В	157
n, об/мин	2000
Момент инерции, кг·м ²	0,0625

Передаточные механизмы приводов роботов служат связующими звеньями между двигателями и исполнительными органами и предназначены для выполнения следующих функций: преобразования вида движения (вращательного - в поступательное и наоборот), согласования параметров движения (скорости и крутящего момента), а также осей двигателей и исполнительного органа. Преимуществом планетарных зубчатых передач является их высокая компактность, однако они менее технологичны в производстве, требуют повышенной точности изготовления и сборки. Однако, они нашли широкое применение в роботизированных комплексах, ввиду своих малых габаритов.

В промышленном роботе Fanuc M-710ic/50 установлены планетарные редукторы одноимённой фирмы. Редуктор третьей оси изображен на рисунке 12.



Рисунок 12 – планетарный редуктор Fanuc

Необходимо выполнить проверочный расчёт и убедиться, что двигатель подходит по мощности и нагреву.

$$M_э < 0,8 \cdot M_{ном},$$

где $M_э$ – эквивалентный момент, который рассчитывается по формуле (6).

$$M_э = \sqrt{\frac{\sum M_k^2 \cdot \Delta t_{ki}}{\sum_k \Delta t_k}} \quad (6)$$

где $\sum_k \Delta t_k$ является временем цикла и составляет 3,25 секунды.

Согласно формуле 6:

$$M_э = \sqrt{\frac{16,1^2 \cdot 0,75 + 1,5^2 + 23,9^2 \cdot 0,2 + 1,5^2 \cdot 0,25 + 21,1^2 \cdot 0,257 +}{3,25} + \frac{16,1^2 \cdot 0,75 + 1,5^2 \cdot 0,3 + 23,9^2 \cdot 0,3 + 5^2 \cdot 0,75}{3,25}} = \sqrt{\frac{601,8}{3,25}} = 13,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{9,55 \cdot P_{\text{НОМ}}}{n} \quad (7)$$

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{9,55 \times 3800}{2000} = 18,145 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_3 < 0,8 \cdot M_{\text{НОМ}}$$

$$13,6 < 0,8 \cdot 18,145$$

$$13,6 < 14,5$$

Данное условие выполняется, то есть данный двигатель подходит для данной задачи.

Кроме манипулятора, который будет перемещать захват необходимо установить воздуходувку, которая будет обеспечивать необходимую разность давления и удерживать ряд кройкоробок. Для нашей задачи, согласно технологическим требованиям, подходит вихревая воздуходувка SCL K07-MS итальянской фирмы FPZ. Воздуходувки представляют собой единый блок в различных вариантах: как в вертикальном, так и в горизонтальном исполнении. Характеристики установленного вихревого компрессора FPZ SCL K07-MS изображены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики вихревой воздуходувки SCL K07-MS фирмы FPZ

Макс. Расход, м ³ /час	414
Макс. давление, мбар	400
Рабочая точка	96 м ³ /час при 400 мбар

Продолжение таблицы 2

Мощность, кВт	5.5
---------------	-----

Напряжение, В	380
Уровень шума, дБ	77.3
Входной патрубок, мм	75
Выходной патрубок, мм	75
ДхШхВ, см	42x33x38
Вес, кг	61

Работа участка перемещения кройкоробок в гофроящик будет реализована на примере готовых и полностью автоматизированных фасовочных линий. Все составляющие пневмоприводов (толкатели, распределители, шланги подачи воздуха), механические направляющие, датчики системы автоматизации выбираются в соответствии с готовой линией. Для предотвращения поломок механизмов, движущихся частей, электрических схем необходимо выбрать оборудование, которое будет осуществлять защиту привода от всех видов перегрузок.

1.7 Защита привода

Регулировать частоту вращения двигателя звена можно двумя способами: изменением числа пар полюсов или изменением частоты питающего напряжения. Первый способ в большинстве случаев нецелесообразен, так как приводит к усложнению конструкции. Поэтому применяют второй способ.

В электроприводах, отличающихся высоким моментом инерции приводного механизма и требующих быстрого изменения режимов работы и обеспечения реверса, необходимо плавно менять частоту напряжения питающего СД, чтобы СД не выходил из синхронного режима работы. Это достаточно сложно, особенно в тех случаях, когда начальная частота составляет доли герца, а затем

возрастает до максимального значения. При этом целесообразно применять метод частотного регулирования с самосинхронизацией. Метод подразумевает управление преобразователем частоты от системы датчиков положения ротора.

Управление и защита приводов робота осуществляется контроллером Fanuc R-30iA Mate (см. рисунок 13). Способность контроллера к выполнению сложных задач и простая конструкция предоставляют возможности для улучшения производительности, оптимизации траекторий перемещения робота и упрощения интеграции в систему.



Рисунок 13 – Контроллер Fanuc R-30iA Mate

Все шесть осей и их электроприводы управляются от общего центрального вычислительного устройства (контроллера), которое решает траекторные задачи движения робота и выдаёт управляющие сигналы на сервоусилители отдельных приводов, которые управляют сервоприводами в соответствии с сигналами от контроллера и энкодеров о положения звеньев. Энкодеры двигателей оснащены дополнительным элементом питания для запоминания положения в случае отключения питания.

Быстродействующие контроллеры частоты вращения, регулирования тока и положения обеспечивают отличное качество работы, гарантируют жёсткую синхронизацию по каждой оси. Достаточно точное и быстрое управление

значительно сокращает производственный цикл робота, одновременно обеспечивая стабильное повышение производительности. Алгоритм управления, применяемый в сервоусилителях, обеспечивает динамичное и быстрое регулирование скорости двигателя, точное позиционирование. Схема подключения интерфейсов контроллера Fanuc R30 iA Mate изображена на рисунке 14 [8].

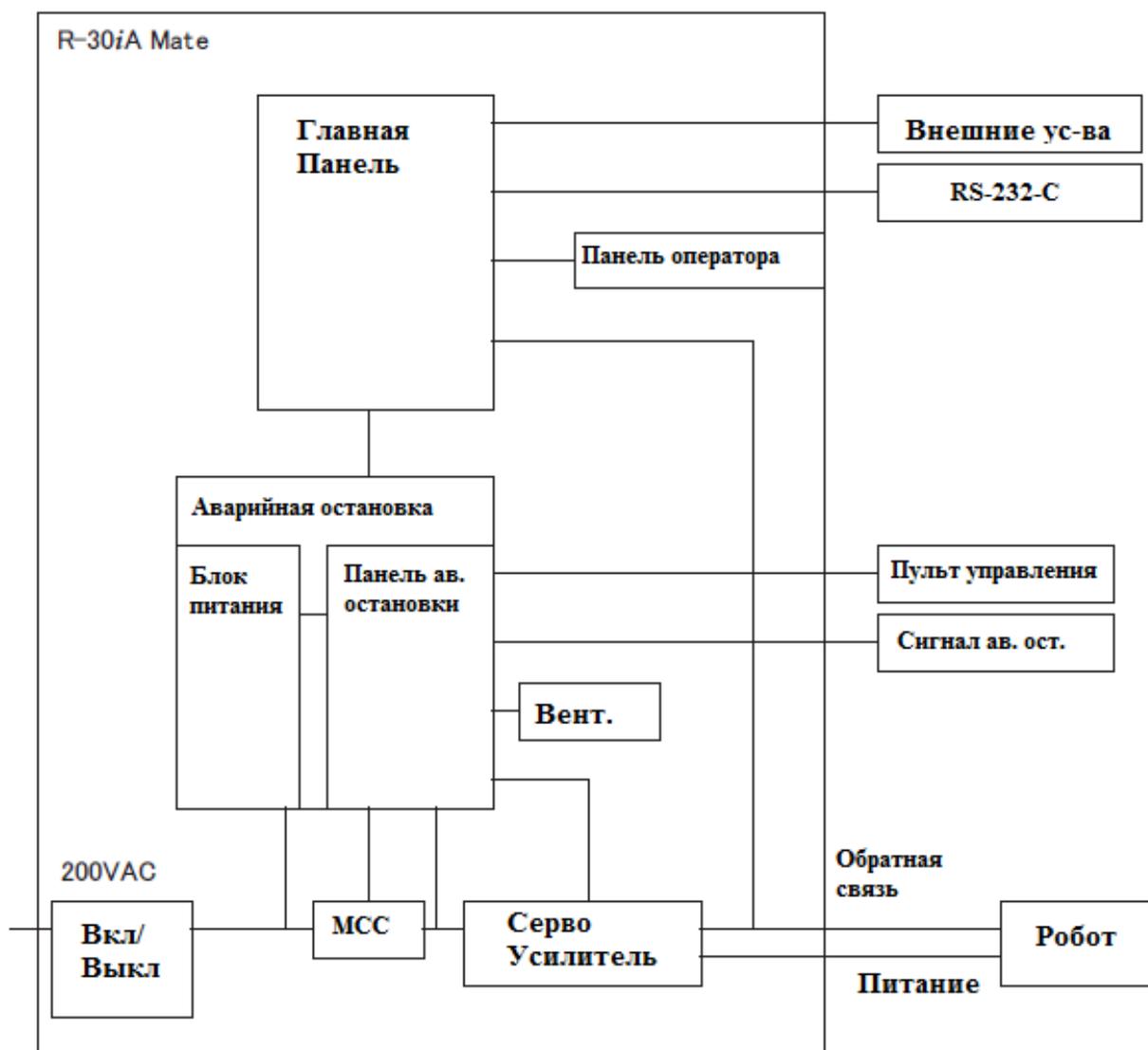


Рисунок 14 – Блок схема подключения электрического интерфейса

Контроллер позволяет осуществлять защиту привода специальным блоком контроля аварийной остановки, как для магнитного контактора, так и для предварительной зарядки сервоусилителя. Контроллер оснащен аварийным

выключателем, в случае подачи высокого напряжения или сбоя электросистемы.

Сервоусилитель представляет собой двухзвенный преобразователь частоты с автономным инвертором напряжения, который состоит из трёх основных элементов: выпрямителя, автономного инвертора напряжения и промежуточного контура постоянного тока, включающего конденсатор, который является источником реактивной мощности двигателя [9]. В сервоусилителе происходит двукратное преобразование электрической энергии: сначала переменное напряжение с частотой f_1 выпрямляется, а затем постоянное напряжение преобразуется (инвертируется) в переменное с заданной амплитудой первой гармоники и частотой f_2 . В качестве ключевых элементов в автономном инверторе напряжения используются биполярные транзисторы с изолированным затвором.

Контроллер R30 iA осуществляет смену режимов работы, а именно переход в рабочий и аварийный режимы, благодаря блоку аварийной остановки. Постоянный контроль положения робота осуществляется по сигналу обратной связи, идущей с энкодера в блок сервоусилителя и главной панели, которая осуществляет программное управление положением робота. Согласно техническим требованиям на предприятии допускается просадка питающего напряжения, контроллер робота также защищает электропривода от перегрузки по напряжению. Именно контроллер робота осуществляет решение прямой и обратной задач кинематики и создает сигналы на поворот степеней подвижности робота.

2 РАЗРАБОТКА САУ

2.1 Разработка архитектуры системы автоматизации

Современные фасовочные линии оснащены автоматизированными системами управления технологическим процессом (АСУ ТП) на основе микропроцессорных контроллеров и управляющих электронно-вычислительных машин. АСУ ТП – это человеко-машинная система, которая обеспечивает не только сбор, обработку и хранение информации о ходе протекания технологического процесса, но и управление этим процессом, в том числе и без участия человека.

Автоматизированная система направлена на выполнение управляющей и информационно-вычислительной функций. Первая из них выполняет регулировку конкретных процессов производства и технологических координат агрегатов. Под второй функцией понимают считывание, входной анализ и хранение информации, отображение на экранах и диагностирование показателей работы участков, установок или конкретного оборудования и взаимодействие между уровнями автоматизации и смежными устройствами с целью передачи данных.

АСУ можно представить в виде пирамиды (рисунок 15), которая следует правилу: нижестоящий уровень регулируется вышестоящим. Благодаря такой иерархии система позволяет охватывать все производство.

Первый снизу уровень пирамиды (Input/Output-уровень) включает в себя датчики, показывающие состояние технологической координаты, сигналы управления различными приводами, толкателями, клапанами и прочими объектами управления. Устройства данного уровня становятся всё более интеллектуальными, что позволяет осуществлять обмен информацией напрямую через промышленную сеть предприятия.

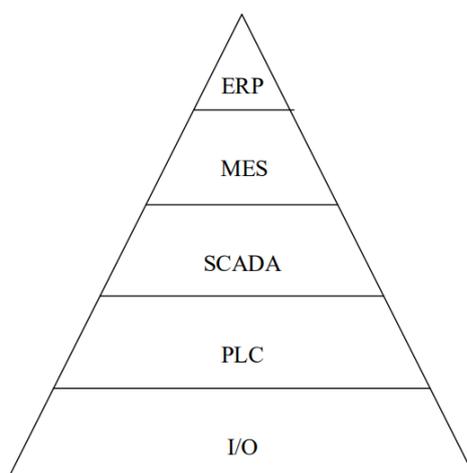


Рисунок 15 – Уровни автоматизированной системы управления
в общем виде

На втором уровне (PLC-уровень) находятся контроллеры, логически программируемые с целью выполнения функции прямого автоматического управления работой оборудования. Исполнительные механизмы управляются определенными алгоритмами. Входными параметрами являются обработанные данные состояния технологических координат, считанные измерительными приборами. Чаще всего данный уровень охвачен промышленной сетью Ethernet через которую происходит обмен информацией.

В нашем случае, помимо промышленного контроллера, на PLC уровне также будет установлен контроллер, осуществляющий перемещение робота. Данный контроллер будет решать прямые и обратные задачи кинематики, согласно заданию, загруженному в память контроллера робота и вызванному промышленным контроллером при работе автоматической фасовочной линии.

Обучение перемещениям робота происходит с помощью пульта управления (рисунок 16), который обеспечивает интерфейс между прикладным программным обеспечением ЧПУ и оператором. Пульт обучения подключен кабелем к печатной плате в контроллере [10].

Пульт управления позволяет сделать перемещения робота максимально близким к заданию, настраивая траекторию движения, скорости вращения осей, ограничение положения рабочего органа и другие параметры.



Рисунок 16 – Пульт управления роботом FANUC

Третий уровень характеризуется станцией, на которой происходит управление и отслеживание технологического процесса оператором. SCADA (англ. Supervisory Control and Data Acquisition – рус. сбор данных и диспетчерское управление) – программа, осуществляющая разработку или обеспечение работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте отслеживания и управления.

Файловые серверы данных предприятия и рабочие места операторов оборудования составляют SCADA систему, являющейся верхним уровнем АСУ ТП. На серверах держится работа SCADA системы. Они постоянно поддерживают обмен данными с оборудованием (контроллерами, интеллектуальными датчиками и механизмами) и протокол работы с сетью персональных компьютеров. Связь АСУ ТП (её верхнего уровня) с АСУ фасовочного цеха и АСУ всего предприятия, в чей состав входят обычные компьютеры, осуществляется стандартным коммуникационным оборудованием по сети Ethernet.

Выше АСУ ТП в пирамиде автоматизации находится система организации производства MES (англ. Manufacturing Execution System) и система планирования производственных ресурсов предприятия ERP (англ. Enterprise Resource Planning). MES производит последовательный анализ информации о процессе изготовления готового продукта на всех участках предприятия, обеспечивает управление качеством и отображает в настоящем времени

информацию для необходимых уровней управления предприятием. ERP предназначена для автоматизации планирования производства и финансовой деятельности, снабжения и продаж, анализа и прогнозирования.

Представим архитектуру системы автоматизации двух нижних уровней в общем виде на рисунке 17.

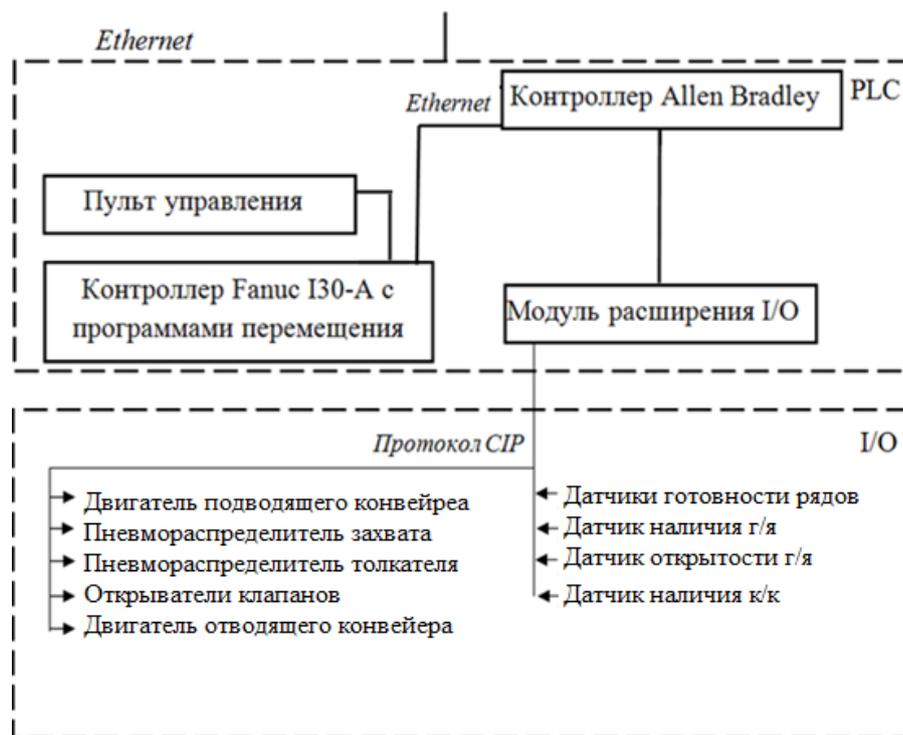


Рисунок 17 – Архитектура уровней PLC и I/O участка

Положение каждой оси робота-манипулятора регулируется приводом серводвигателя. Благодаря контроллеру Fanuc R30 iA обеспечивается частотное управление всеми двигателями. Скорость, угол и положение осей двигателя измеряются датчиками, значения отображаются на пульте управления для оказания помощи при проведении работ по наладке и корректировке работы робота.

2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат

Сигналы управления приходят с контроллера, который также реализует всю систему автоматизации. В данной автоматизированной системе установлен

контроллер фирмы Allen Bradley Compact Logix 1768-L45S, изображенный на рисунке 18. Характеристики контроллера приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики контроллера Allen Bradley Compact Logix

Модель	Compact Logix 1768-L45S
Модули	Один последовательный порт I/O и один порт EtherNet/IP
Скорость обмена данными EtherNet	10/100 Мбит/с
Потребление тока	2.1А 24V
Пользовательская память	3 МБ + 1 МБ память безопасности
Встроенные порты	1 RS-232
Коммуникационные возможности	EtherNet/IP, ControlNet, DeviceNet



Рисунок 18 – Контроллер фирмы Allen Bradley Compact Logix 1768-L45S

Платформа CompactLogix характеризуется малыми габаритами и высоким быстродействием, содержит в себе все достоинства платформы Logix: общий способ программирования, общие коммуникационные возможности и единый алгоритм управления. CompactLogix поставляется в сочетании с двумя

модулями Compact I/O, которые отлично реализуют решение задач автоматизации на уровне механизмов с несложным управлением перемещением, показывая при этом большую масштабируемость. Платформа подходит для систем, которые требуют автономный контроллер, связанный со смежными устройствами системы по сети EtherNet/IP, ControlNet или DeviceNet [11].

В Архитектуре контроллера имеется шина, расположенная сзади, предназначенная для простой коммуникации и полного управления движением оборудования. Контроллер 1768 служит для управления перемещением. Архитектура Logix поддерживает компоненты управления перемещением, работающие в широком спектре различных машин.

- Интегрированное управление перемещением в EtherNet/IP поддерживает подключение к преобразователям Ethernet.

- Решение Kinetix для интегрированного управления перемещением использует модуль интерфейса SERCOS для выполнения многоосевого синхронизированного перемещения.

- Интегрированное управление перемещением Logix поддерживает аналоговое семейство сервомодулей для управления преобразователями/исполнительными механизмами.

- Сетевое перемещение обеспечивает возможность подключаться через сеть DeviceNet к одиночному преобразователю осей для выполнения поточечного индексирования.

Управление и защита приводов робота осуществляется контроллером Fanuc R-30iA Mate. Способность контроллера к выполнению сложных задач и простая конструкция предоставляют возможности для улучшения производительности, оптимизации траекторий перемещения робота и упрощения интеграции в систему. Для связи двух контроллеров используется сеть Ethernet, для этого необходимо установить блок

Способом визуализации технологических процессов, которые происходят на предприятии, является система компьютеров и специализированных

мониторов. На мониторах отображаются изменения параметров и этапы срабатывания оборудования.

В состав системы автоматизации входят фотоэлектрические датчики фирмы SICK, изображённые на рисунке 19, которые сообщают о наличии коробок, готовности запуска программы, её окончании.



Рисунок 19 – Фотоэлектрический датчик Sick WTB15

Датчики серии WTB15 располагаются на рабочем столе и отвечают за:

- Готовность первого ряда кройкоробки
- Готовность второго ряда кройкоробки
- Наличие кройкоробки перед рабочим столом

Датчики серии WL15 находятся на конвейере с гофрокоробами и отвечают за контроль состояния в зоне робота, а именно:

- Наличие гофрокороба
- Открытость гофрокороба

В таблицах 4 и 5 приведены характеристики датчиков компании Sick.

Таблица 4 – Характеристики датчика Sick WTB15-P2431

Принцип датчика/ обнаружения	Датчик с отражением от объекта, подавление заднего фона
Размеры (Ш x В x Г)	16,2 мм x 48,5 мм x 31,9 мм
Дистанция работы, макс.	4мм–200мм
Расстояние срабатывания	15мм–200мм
Вид излучения	Видимый красный свет
Напряжение питания	10-30 В Постоянного тока

Таблица 5 – Характеристики датчика Sick WL15-P2433

Принцип датчика/ обнаружения	Датчик с отражением от рефлектора, двойная линза
Размеры (Ш x В x Г)	16,2 мм x 48,5 мм x 31,9 мм
Дистанция работы, макс.	0,035м–5м
Расстояние срабатывания	0,035м–3,5м
Вид излучения	Видимый красный свет
Напряжение питания	10-30 Постоянного тока

2.3 Выбор и разработка функциональной схемы САР привода проектируемого агрегата

На рисунке 20 изображена функциональная схема системы автоматического регулирования (САР) положения осей робота манипулятора. Схема разделена на системы, которые соответствуют определенным составляющим робота и его

контроллера. Для целостности схемы, на ней присутствуют средства очувствления роботов. Данный уровень присущ более современным роботам и в выбранном роботе Fanuc отсутствует.

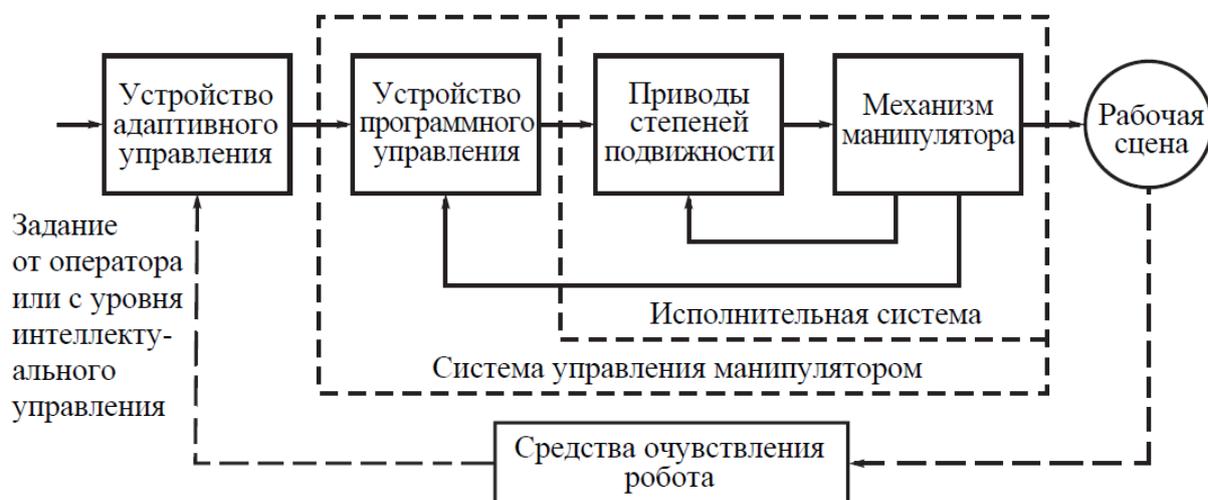


Рисунок 20 – Функциональная схема САР манипулятора

Вращение в каждом узле робота осуществляется с помощью электродвигателей. Двигатель, как правило, выполняется в виде блока, включающего также механизм передачи движений (редуктор), датчики обратной связи, информация с которых обрабатывается, благодаря микропроцессорам или аналоговым устройствам, обрабатывающих управляющие сигналы на двигатель. САУ, включающая данные устройства, представляет собой привод степени подвижности манипулятора.

Сервопривод принято замыкать по моменту, по скорости, а также по положению (например, с помощью энкодеров). Существует подход, основанный на последовательном синтезе всех трех контуров обратной связи, известный как принцип подчиненного регулирования [12].

Манипулятор следует понимать как управления систему, состоящую из приводов, работающих на одну (одинаковую для всех) механическую нагрузку, –механизм манипулятора. Входным сигналом данной системы является сигнал, приходящий с контроллера, который осуществляет управление роботом, а выходом данной системы регулирования будет являться требуемая позиция

схвата манипулятора. Эту систему считают исполнительной системой роботизированного манипулятора.

Для роботов, обладающих высокой точностью позиционирования, использующих приводы с обратной связью, уместны наиболее современные методы управления, которые предполагают аппроксимацию траектории движения рабочего органа, инструмента в виде безотрывной кривой с дальнейшим ее отслеживанием – контурное управление.

Система управления манипулятором – многоуровневая, каждый уровень, как правило, обслуживается собственной системой с микропроцессором. Так, на уровне привода обеспечивается управление двигателем, осуществляющим движение одной или нескольких степеней подвижности.

На вышестоящем уровне, благодаря центральному процессору, происходит скоординированная работа приводов манипулятора. Последовательность положений схвата манипулятора или связанного с ним объекта является входной информацией уровня. Она преобразуется в сигналы задания двигателей, а затем контроллер запоминает её как программу работы манипулятора, тогда говорят о системе программного управления. В нашем случае программное управление осуществляет контроллер Fanuc R-30 iA, который решает прямые и обратные задачи кинематики для движения робота.

В ходе работы бакалавра мы будем рассматривать управление исполнительной системы манипулятора. Для этого необходимо разобраться в подчиненном регулировании звеньев манипулятора и построить систему автоматического регулирования положения звена робота.

2.4 Разработка контура регулирования технологических координат

Система автоматизации робототехнической системы представляет собой иерархическую структуру, во главе которой контроллер, осуществляющий все управление и расчеты. Контур регулирования отдельной оси представлен на рисунке 21.

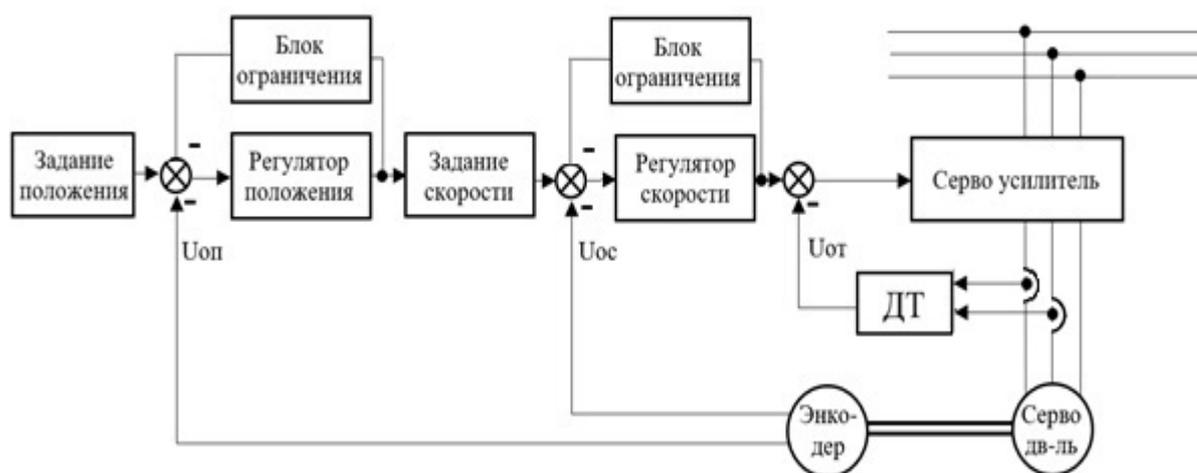


Рисунок 21 – Упрощенная функциональная схема звена робота

Сигналы задания регуляторов, которые зависят от управляющих воздействий, сигналов обратных связей и принятых алгоритмов регулирования, являются сигналами управления частотой, выходным напряжением и током сервоусилителя.

Контур регулирования имеет: два канала: канал регулирования или управления от регулятора к объекту и канал главной отрицательной обратной связи от объекта к регулятору. Поскольку в реальном объекте обычно требуется регулировать несколько величин, он имеет несколько самостоятельных контуров автоматического регулирования, а обобщенный объект в каждом контуре регулирования является динамической моделью части реального объекта [13].

В системе имеются три контура: внутренний контур регулирования тока (момента), промежуточный контур регулирования угловой скорости (частоты вращения) и внешний контур регулирования положения. Каждый вложенный контур однозначно подчиняется заданию вышестоящего. Регулятор каждого контура поддерживает заданную на своем уровне величину. Трехконтурная система позволяет достичь высокой точности регулирования, снижая быстродействие системы. Правильный выбор регуляторов и их коэффициентов позволит построить переходные процессы согласно техническим требованиям.

2.5 Разработка структурной схемы САУ и моделирование типовых режимов работы привода

Разработка структурной схемы САР

Системы автоматического регулирования (САР) применяют, чтобы регулировать отдельные параметры в объекте управления. В современных системах автоматического управления (САУ) системы автоматического регулирования являются подсистемами САУ и их применяют для регулирования различных параметров при управлении объектом или процессом. В данной работе необходимо построить и смоделировать САР положения электропривода третьего звена робота, проверочный расчёт которого был выполнен в первой главе. Моделирование остальных звеньев происходит подобным образом, отличием будут являться параметры двигателей, моментов инерции осей, моментов сопротивлений и другие физические параметры.

Рассмотрим моделирование следящего электропривода, которым и является привод осей манипулятора. Следящие электроприводы или системы отслеживания позиции являются замкнутыми электроприводами, которые управляют перемещением и обеспечивают фиксацию технологической координаты относительно базовой системы координат. При этом регулируемая координата (угол поворота звена) с определенной точностью должна быть сопоставима с приложенным к системе управляющим воздействием [14].

Разработка и исследование контура скорости

С целью изменения скорости двигателя необходимо образовать на его валу нужный момент, что включено в задачи регулятора скорости (РС). Напряжение на выходе РС поступает на вход регулятора тока, подчиненного регулятору скорости, здесь формируется ток оптимальной величины, а, следовательно, пропорциональный току момент при неизменной величине магнитного потока.

Реализованную структурную схему подчиненного регулирования координат в сервоприводе изобразим на рисунке 22. Контур скорости включает в себя: внутренний замкнутый контур регулирования момента (оптимизированный контур момента), регулятор скорости, передаточную функцию W_{PC} которого необходимо определить, объект управления, отрицательную обратную связь по скорости [15].

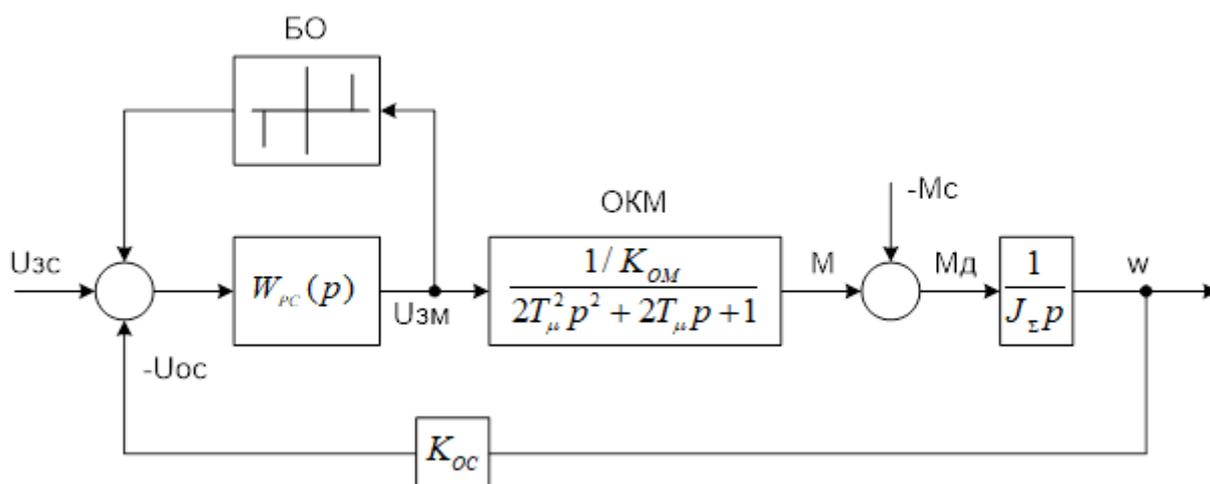


Рисунок 22 – Структурная схема реализации подчиненного регулирования скорости электропривода

На рисунке 22 ОКМ является колебательным звеном с временными показателями, соответствующими модульному оптимуму.

Наименьшей постоянной времени T_{μ} обладает сервоусилитель, расположенный в контроллере робота, так как он является самым быстродействующим элементом в данной системе. Значение постоянной времени данного звена принимается равным $T_{\mu}=0,005$ с.

Использование пропорционально интегрального регулятора скорости при рассмотрении ОКМ в виде звена с колебательной переходной функцией увеличивает колебательность скорости, а также величина перерегулирования скорости достигает больших значений [16].

В теории автоматического управления, в связи с малой величиной постоянной времени T_{μ} , разрешается провести аппроксимацию

оптимизированного контура момента, тогда он примет вид апериодического звена первого порядка.

Оптимизированный внутренний контур момента включает коэффициент обратной связи по моменту K_{OM} , описываемый уравнением (8), и некомпенсируемую постоянную времени привода T_{μ} , равную 0,005 с.

$$K_{OM} = \frac{U_{max}}{M_{НОМ}} = \frac{10}{18,145} = 0,551 \quad (8)$$

где $U_{max} = 10$ В – максимальное напряжение задания момента;

$M_{НОМ}$ – номинальный момент двигателя, Нм.

Коэффициент обратной связи по скорости K_{OC} есть коэффициент пропорциональности между величиной действительной скорости вращения и напряжением обратной связи по скорости (или напряжением задания величины скорости), он определяется согласно формуле (9):

$$K_{OC} = \frac{U_{3Cmax}}{\omega_{ДВmax}} = \frac{10}{209,44} = 0,0477 \quad (9)$$

где U_{3Cmax} – напряжение (максимальное) задания скорости, В;

$\omega_{ДВmax}$ - максимальная скорость электродвигателя, рад/с.

Двигатель представлен интегрирующим звеном с передаточной характеристикой:

$$W_{ДВ}(p) = \frac{1}{J_z p} = \frac{1}{0,0193p}$$

где J_z – момент инерции системы, кгм², рассчитанный по формуле (4)

При настройке контура регулирования на модульный оптимум передаточная функция РС будет иметь пропорциональный вид с коэффициентом передачи K_{PC} .

Регулятор скорости может быть представлен либо в виде дробно-рациональной функции, либо в виде двух составляющих: пропорциональной K_{PC} и интегральной с постоянной времени T_{PC} .

Передаточная функция РС в этом случае будет иметь вид:

$$W_{PC}(p) = \frac{T_{PC}p + 1}{T_{IPCP}} = K_{PC} + \frac{1}{T_{PC}p}$$

где K_{PC} – пропорциональный коэффициент передачи РС (формула 10);

T_{PC} – постоянная времени интегрирования РС (формула 11).

Пропорциональный коэффициент передачи в свою очередь равен:

$$K_{PC} = \frac{K_{OM}J_{\Sigma}}{4T_{\mu}K_{OC}} = \frac{0,551 \cdot 0,0193}{4 \cdot 0,005 \cdot 0,0477} = 10,954 \quad (10)$$

Постоянная времени интегрирования регулятора скорости:

$$T_{PC} = \frac{8T_{\mu}}{K_{PC}} = \frac{8 \cdot 0,005}{10,954} = 0,00365 \quad (11)$$

Таким образом передаточная функция регулятора скорости равна:

$$W_{PC}(p) = 10,954 + \frac{273,97}{p}$$

Согласно требованиям технологического процесса относительно регулирования координат привода система его автоматического управления должна предотвращать поломки механического и электрического оборудования

при аварийных ситуациях, что может быть достигнуто путем ограничения параметров на определенных уровнях задания, то есть ограничением сигналов задания локальных систем регулирования.

Введем блок ограничения БО выходного напряжения ПИ РС (напряжения задания величины тока) для ограничения тока электродвигателя на заданном уровне. Примем значение ± 10 В.

Приведем моделирование работы контура регулирования скорости в Simulink.

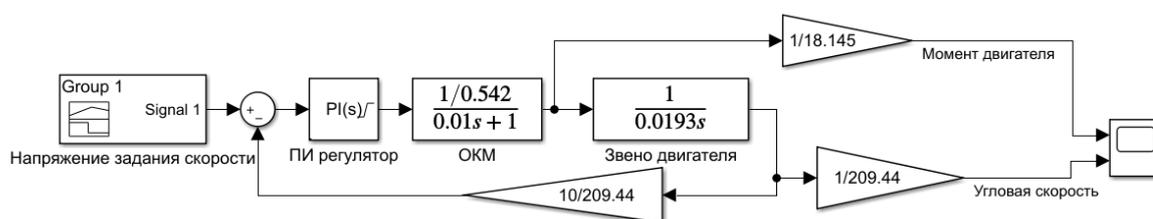


Рисунок 23 – Модель контура скорости

Моделирование проведено для случая задания скорости по трапецеидальному закону изменения скорости. Переходный процесс изображен на рисунке 24. Для наглядности момент и угловая скорость приведены в относительных единицах.

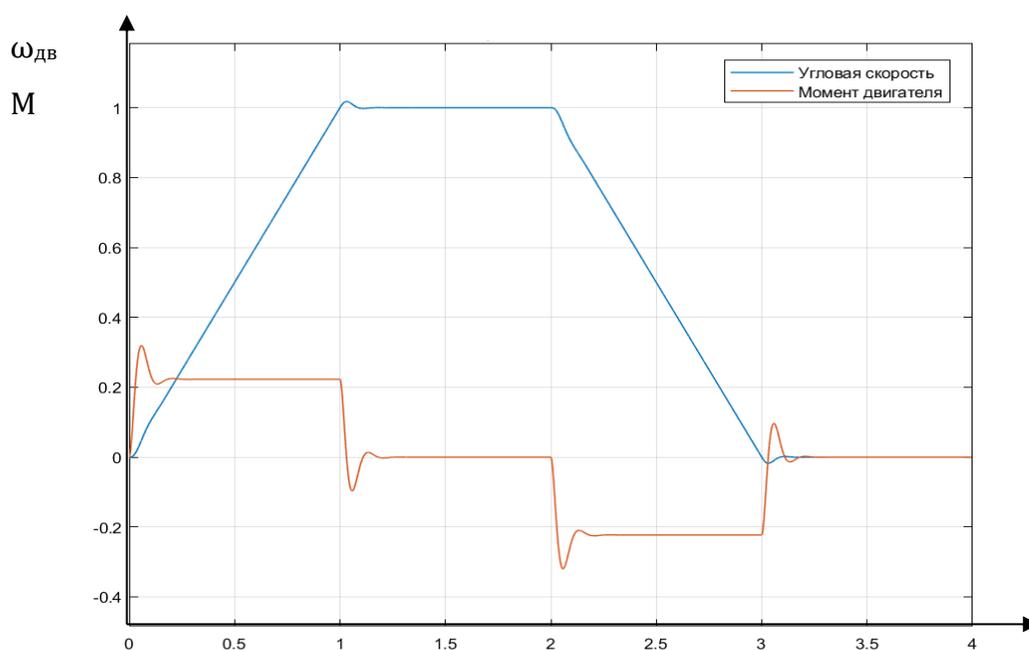


Рисунок 24 – Скорость и момент двигателя

t, c

Разработка и исследование контура положения

Структурная схема контура позиционирования представлена на рисунке 25:

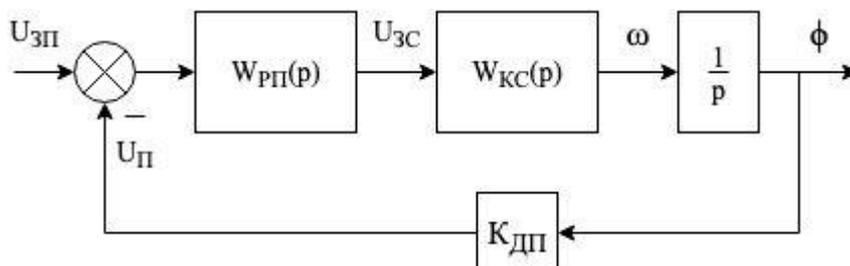


Рисунок 25 – Структурная схема контура положения

При моделировании сервопривода и его положения по значениям промежуточных координат различают три вида перемещений: малые – когда регуляторы всех трех контуров привода не выходят в насыщение; средние – когда в насыщение выходит регулятор тока; большие – когда в насыщение выходит и регулятор скорости. Настройку регулятора положения рассмотрим отдельно для каждого из перечисленных случаев [17].

Для преобразования угловой скорости двигателя в угловую скорость звена, положение которого и необходимо регулировать, необходимо добавить звено:

$$k_i = \frac{1}{i} = \frac{1}{65} = 0,0154 \text{ ,}$$

где i – передаточное число редуктора.

После преобразователя скорости необходим интегратор для получения перемещения на выходе контура положения. Ввиду того, что мы отслеживаем угол поворота двигателя и звена никаких коэффициентов для получения линейного перемещения добавлять не нужно.

Рассчитаем коэффициент обратной связи по положению:

$$K_{\text{оп}} = \frac{U_{\text{зпmax}}}{\Phi_{\text{двmax}}}, \quad (12)$$

где $\Phi_{\text{двmax}}$ – номинальное перемещение третьей оси, равное 7,68 радиан.

$$K_{\text{оп}} = \frac{10}{7,68} = 1,302$$

Для нелинейного регулятора положения необходимо определить границы малых, средних и больших перемещений $\Delta U_{\text{п min}}$ и $\Delta U_{\text{п max}}$:

$$\Delta U_{\text{п min}} = 2\varepsilon_{\text{max}} k_{\text{и}} (16T_{\mu})^2 \quad (12)$$

$$\Delta U_{\text{п max}} = \frac{\omega_{\text{ном}}^2 k_{\text{и}} k_{\text{оп}}}{2\varepsilon_{\text{max}}} \quad (13)$$

Максимальное ускорение $\varepsilon_{\text{max}} = 940,2 \text{ рад/с}^2$. Коэффициенты $k_{\text{оп}}$ $k_{\text{и}}$ определены, тогда:

$$\Delta U_{\text{п min}} = 2 \cdot 940,2 \cdot 1,302 \cdot 0,0154 \cdot (16 \cdot 0,005)^2 = 0,241$$

$$\Delta U_{\text{п max}} = \frac{209,44 \cdot 0,0154 \cdot 1,302}{2 \cdot 940,2} = 0,467$$

Для области малых перемещений ($\Delta U < 0,241\text{В}$) коэффициент регулятора $k_{\text{рпм}}$ вычисляется по формуле (14).

$$k_{рпм} = \frac{k_{ос}}{16T_{\mu}k_{оп}k_{и}} \quad (14)$$

$$k_{рпм} = \frac{0,0477}{16 \cdot 0,005 \cdot 1,302 \cdot 0,0154} = 29,794$$

Для области средних перемещений ($0,241 \text{ В} < \Delta U < 0,467 \text{ В}$) коэффициент регулятора $k_{рпс}$:

$$k_{рпс} = k_{ос} \sqrt{\frac{2\varepsilon_{\max}}{k_{оп}k_{и}}} \quad (15)$$

$$k_{рпс} = 0,0477 \sqrt{\frac{2 \cdot 940,2}{1,302 \cdot 0,0154}} = 14,628$$

В области больших перемещений ($\Delta U \geq 0,467 \text{ В}$) РП выдает сигнал, равный максимальному значению сигнала задания, т.е. $\pm 10 \text{ В}$.

Функция регулятора положения была реализована, как показано на рисунке 26. Нелинейная функция регулятора положения изображена на рисунке 27.

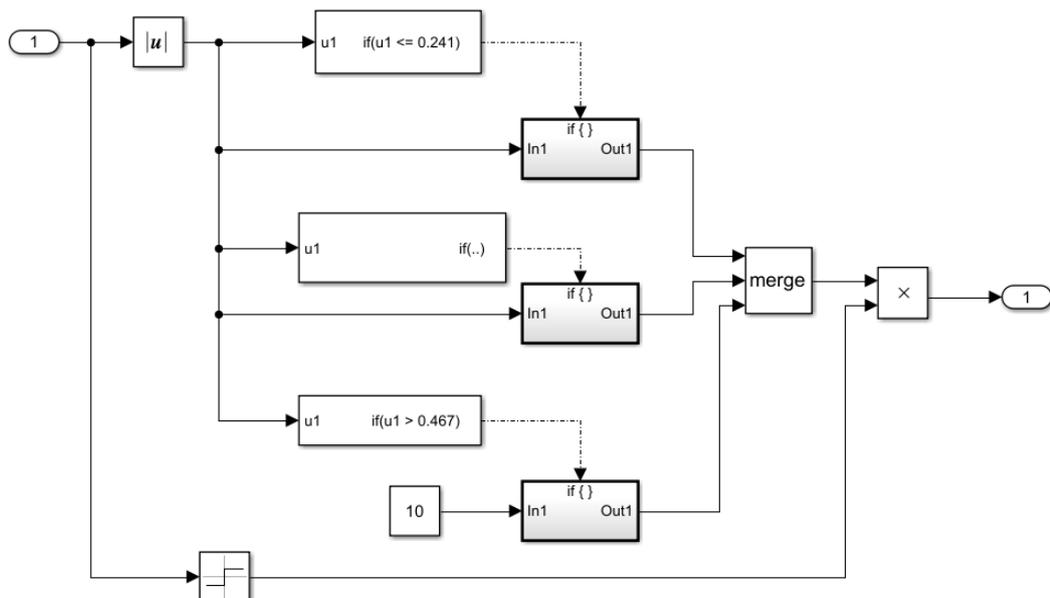


Рисунок 26 – Реализация регулятора положения в Simulink

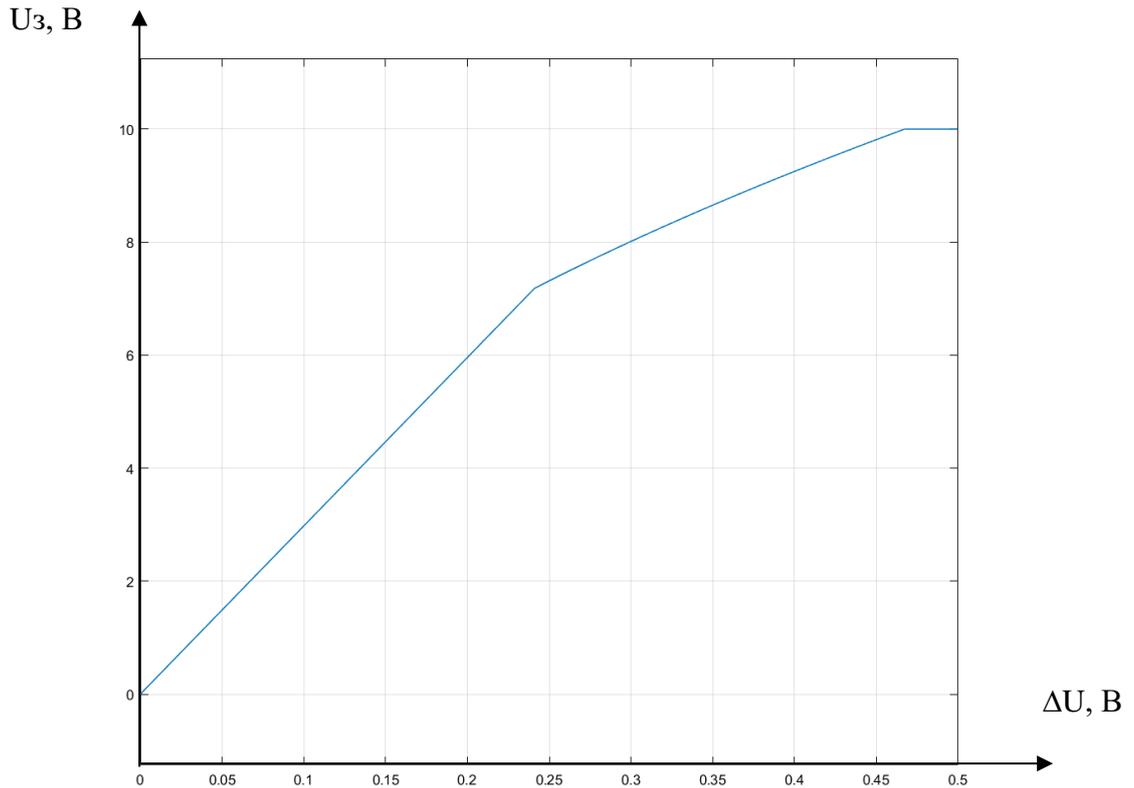


Рисунок 27 – Нелинейная функция регулятора положения

Ввиду того, что сигнал задания на положение имеет ступенчатый характер, система нуждается в установке задатчика интенсивности скорости (ЗИС), основным назначением, которого является ограничение темпа нарастания скорости. ЗИС состоит из функции знака (Sign) и интегратора, замкнутых обратной связью. Передаточная функция интегратора имеет вид:

$$W_{зи}(p) = \frac{1}{T_{зи} p}$$

$$T_{зи} = \frac{U_0}{\epsilon k_{oc}} = \frac{10}{650 \cdot 0,0478} = 0,322, \quad (16)$$

где ϵ - максимальное ускорение двигателя, равное 650 c^{-2} .

Количественная формализация представлена в виде математической модели САУ и проиллюстрирована на рисунке 28.

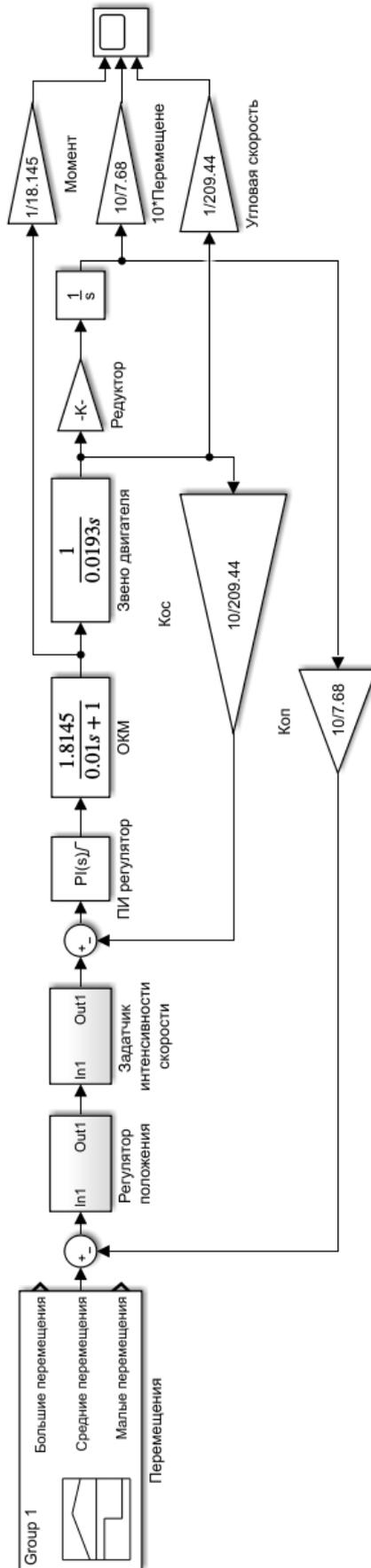


Рисунок 28 – Математическая модель САУ

Моделирование типовых режимов работы привода

За типовые режимы перемещения САР звена робота принято считать большие, средние и малые перемещения.

Обработка больших перемещений (см. рисунок 29) характеризуется тем, что момент и скорость достигают установившегося значения, электропривод работает по трапецеидальной тахограмме с заданным ускорением и замедлением [18]. При рассмотрении контура регулирования положения видно, что здесь отсутствует перерегулирование, как и должно, быть. Отсюда следует, что ошибка регулирования по положению под нагрузкой равна нулю.

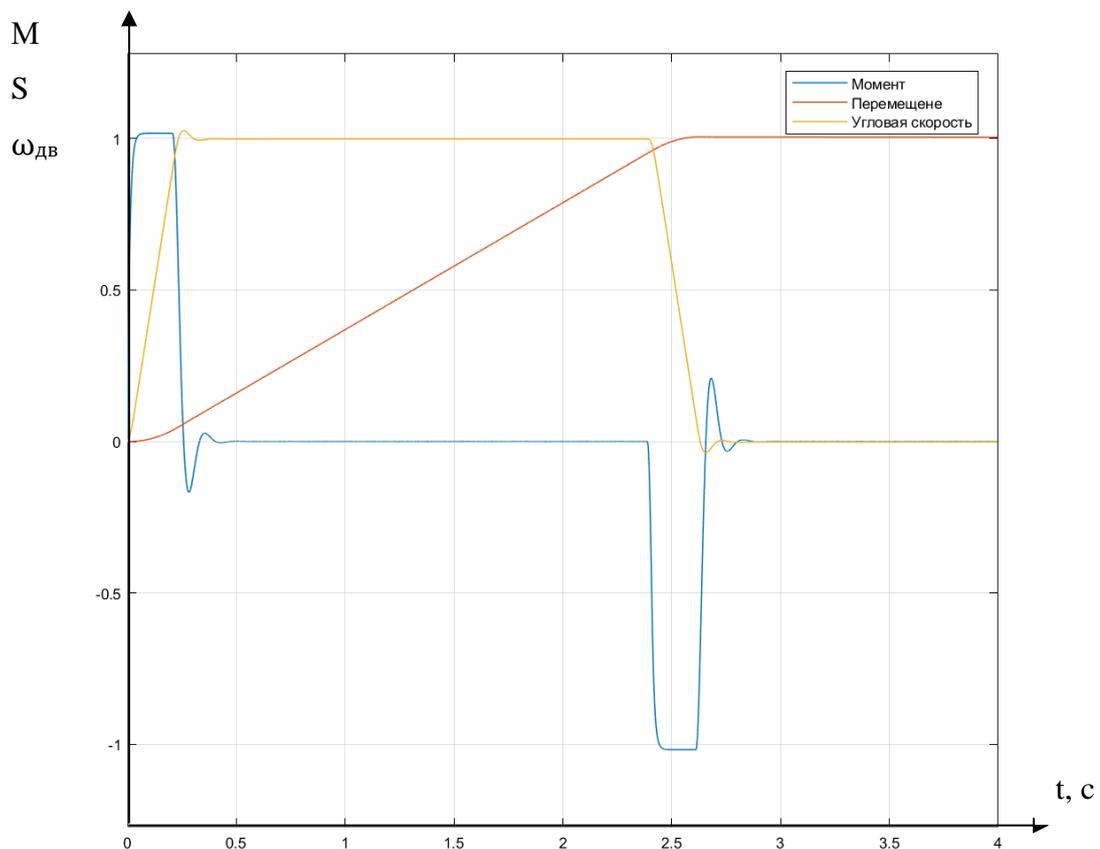


Рисунок 29 – Обработка больших перемещений

Обработка средних перемещений (см. рисунок 30) характеризуется тем, что момент достигает установившегося значения, поэтому ускорение достигает заданного, электропривод работает по треугольной тахограмме с заданным ускорением и замедлением.

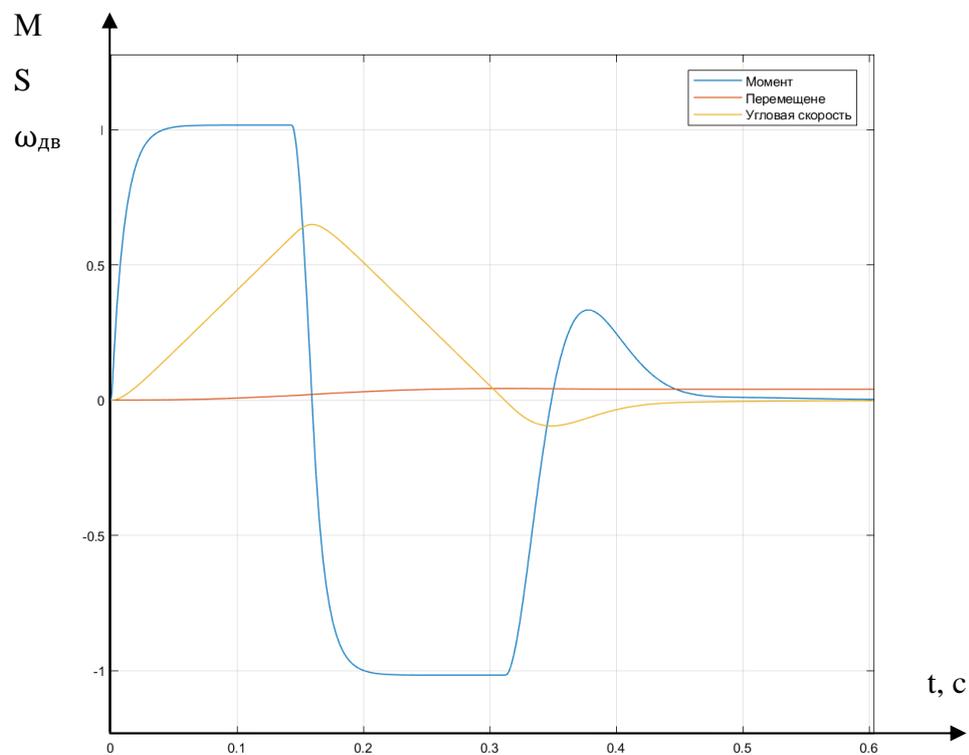


Рисунок 30 – Отработка средних перемещений

Отработка малых перемещений (см. рисунок 31) характеризуется тем, что ни одна из регулируемых координат не достигает установившегося значения.

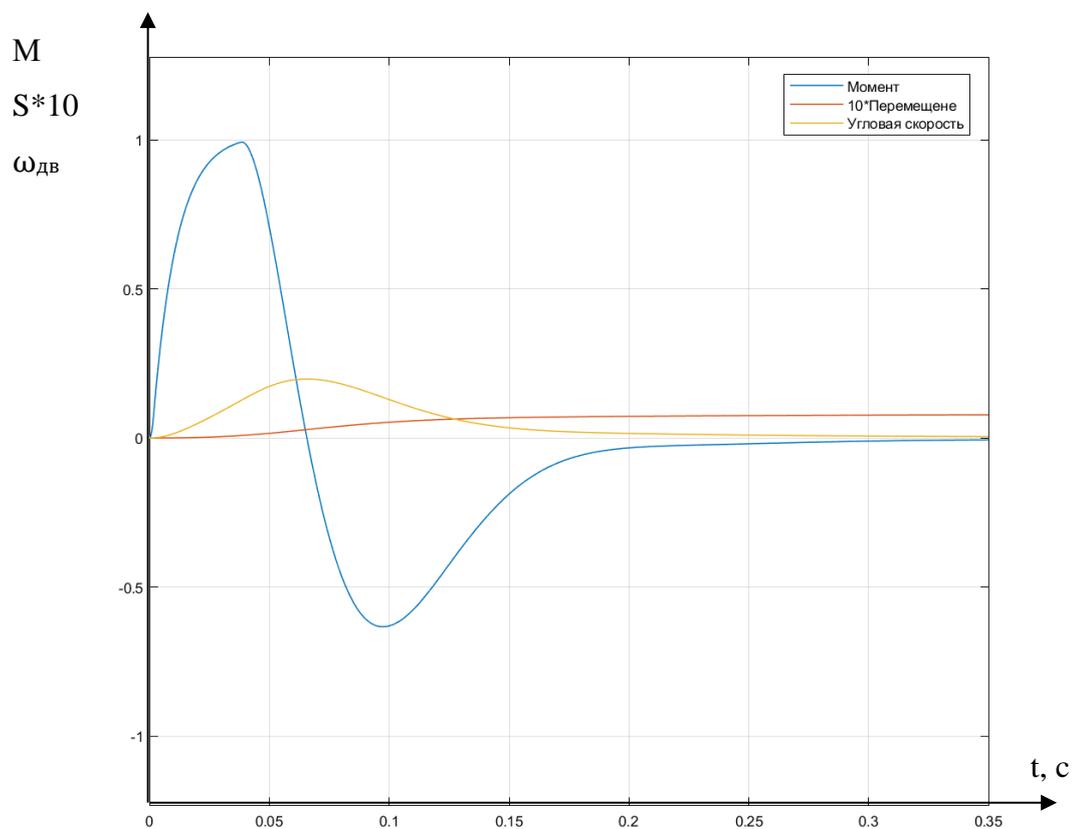


Рисунок 31 – Отработка малых перемещений

Принцип подчиненного регулирования координат должен обеспечить оптимальные переходные процессы, величина перерегулирования и точность перемещения соответствуют требованиям. Сведем показатели качества переходных процессов больших перемещений звена робота в таблицу 6. Остальные перемещения трудно охарактеризовать, т.к. не все показатели достигают номинальных значений. Отметим, что затянутость регулирования момента при малых перемещениях связана с отсутствием перерегулирования.

Таблица 6 – Показатели качества больших перемещений

Показатель	Момент	Скорость	Перемещение
Время регулирования, с.	0,04	0,3	2,5
Перерегулирование, %	4	8	0
Статическая ошибка, %	4	2	0

2.6 Разработка алгоритма работы участка

Для полной автоматизации работы участка необходимо грамотно разработать алгоритм работы, который будет осуществлять бесперебойную работу участка перемещения кроекоробок в гофращик.

Алгоритм работы построен исходя из технологического процесса автоматической фасовочной линии. Он позволит защитить оборудование от механических поломок, благодаря согласованной работе всех элементов установки. Блок схема разработанного алгоритма проиллюстрирована на рисунке 32.

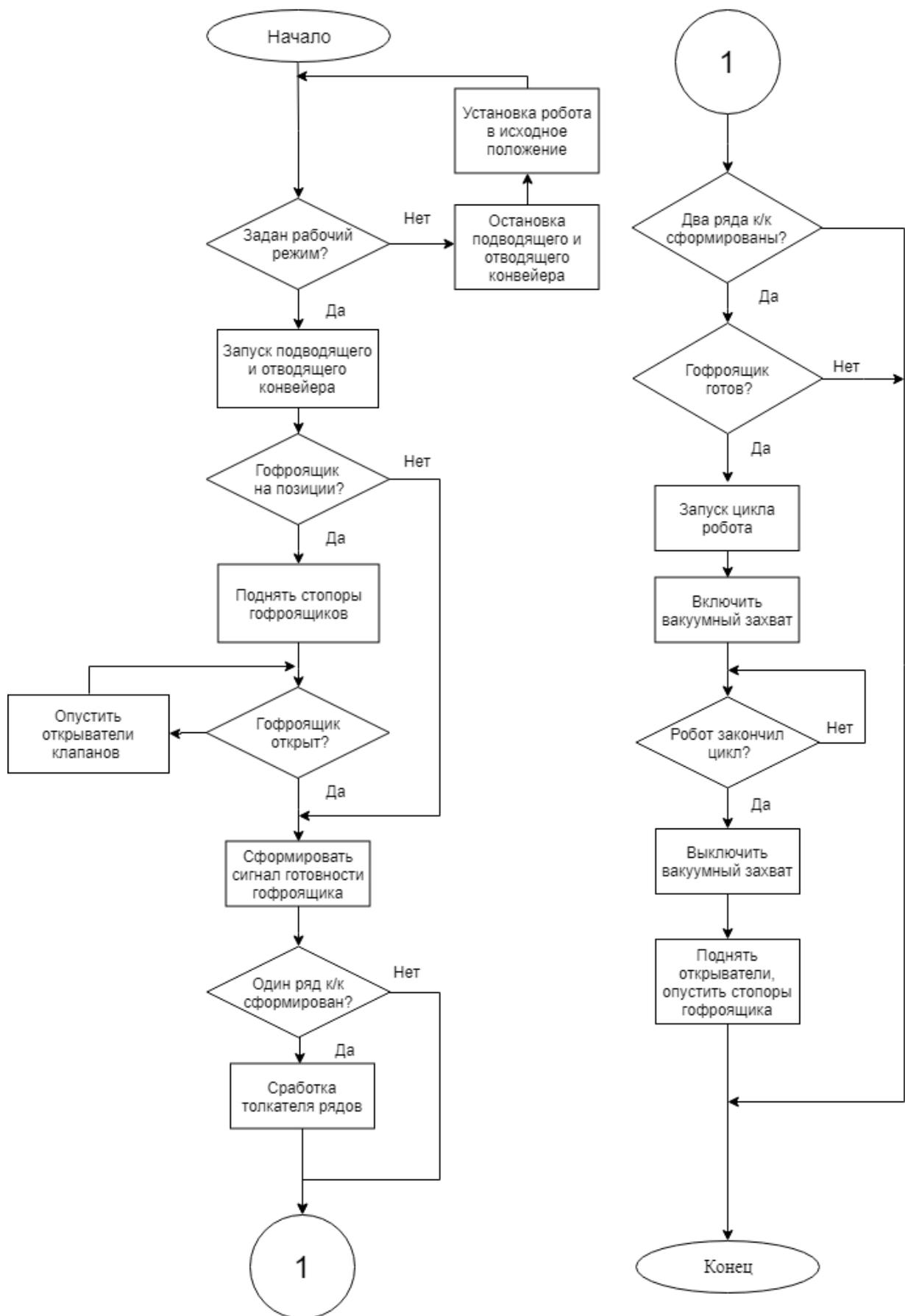


Рисунок 32 – Блок схема алгоритма работы участка

3 РАСЧЕТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

3.1 Краткая характеристика подразделения и выпускаемой продукции

Сегодня продукция компании ООО «Ресурс» поставляет более 50 видов продукции из зерна и хлопьев во все города России областного значения, а также в страны ближнего и дальнего зарубежья. Марка «Увелка» – лидер отечественного рынка пакетированных круп. Продукция компании представлена во всех федеральных сетях, что говорит о востребованности продукции конечными потребителями.

Поступающее на предприятие сырье, упаковка, вспомогательные материалы подвергаются входному контролю. На предприятии располагается производственно-технологическая лаборатория, которая осуществляет контроль над качеством входного сырья. Лаборатория включает отделения химических и микробиологических исследований, оснащенные современным оборудованием.

Фасовочный цех, куда и будет устанавливаться оборудование, разделен на зону мягкой упаковки, зону хлопьев и автоматические фасовочные линии. На всех участках работают операторы и наладчики технологического оборудования, осуществляющие контроль работы участков.

Производство круп и хлопьев в ООО Ресурс осуществляется на высокотехнологичном современном оборудовании, которое позволяет сохранить в крупе и хлопьях все витамины и микроэлементы, благотворно влияющие на организм человека.

Ассортимент компании состоит из следующих позиций:

- Крупы в варочных пакетах ТМ «Увелка»;
- Крупы в мягкой упаковке ТМ «Увелка»;
- Хлопья зерновые ТМ «Увелка»;
- Смеси круп, овощей, грибов и специй «Домашние гарниры»;
- Экзотические крупы в мягких упаковках «Коллекция вкусов».

3.2 Производственная программа цеха

На данный момент в фасовочном цехе ООО «Ресурс» работает около двухсот сотрудников, в том числе аппаратчики, которые занимаются подготовкой крупы для её фасовки – 20 человек. В цеху реализовано непрерывное производство в 4 смены по 12 часов.

В ходе преддипломной практики были получены технико-экономические параметры, которые будут использованы для расчета. Годовое состояние автоматической фасовочной линии № 3, куда и будет устанавливаться робот-манипулятор, приведено на рисунке 33.

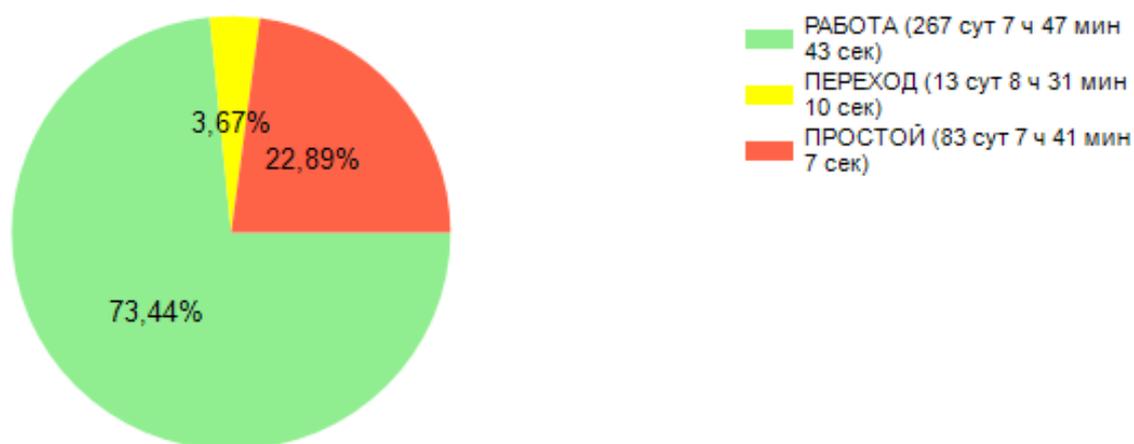


Рисунок 33 – Состояние АФЛ № 3 за 2018 год

В будущем году планируется сокращение простоев более, чем на 25%, что увеличит работу линии. Будем считать, что линия проработает 290 суток в год, что даст небольшой запас при проверке экономической окупаемости.

Исходя из технологических требований автоматическая фасовочная линия, включая участок перемещения кройкоробок в гофроящик, должна работать круглосуточно в автоматическом режиме, не исключая праздничные и выходные дни.

3.3 Расчёт сметы капитальных затрат (расчёт стоимости приобретенного оборудования, затрат на монтаж оборудования, величины транспортных расходов, заготовительно-складских расходов, затрат на запасные части и расходов на комплектацию оборудования)

Определим общую величину капитальных вложений по формуле (17) как сумму затрат на приобретение, транспортировку, монтаж оборудования и на строительные работы.

$$K = C_{\text{ОБ}} + T_{\text{Р}} + Z_{\text{СМР}} + Z_{\text{НР}} + Z_{\text{ПР}} \quad (17)$$

где K – общая величина капитальных вложений, руб;

$C_{\text{ОБ}}$ – стоимость оборудования, руб;

$T_{\text{Р}}$ – транспортные расходы, руб;

$Z_{\text{СМР}}$ – затраты на строительно-монтажные работы, руб.

$Z_{\text{НР}}$ – непредвиденные расходы, руб.

$Z_{\text{ПР}}$ – затраты на прочее неучтенное оборудование, руб.

Сведем расчет стоимости приобретаемого оборудования по таблице 1. Прочее вспомогательное оборудование необходимое для автоматической работы на аналогичных установках составляет 1100000 рублей. Затраты на монтаж $Z_{\text{СМР}}$ определим в размере 15% от стоимости оборудования, транспортные расходы $T_{\text{Р}}$ – 10%, резерв на непредвиденные расходы $Z_{\text{НР}}$ – 5%.

Таблица 7 – Расчет стоимости приобретенного оборудования

Наименование	Цена за единицу, руб.
Робот Fanuc M710ic/50 вместе с контроллером Fanuc R-30 iA и пультом	3116800
Воздуходувка вихревая FPZ SCL K07-MS	173977

Продолжение таблицы 7

Вспомогательное оборудование (направляющие, фиксаторы, толкатели, кабели и др.)	1100000
Итого стоимость всего оборудования	4390777

Затраты на транспортировку, монтаж и непредвиденные расходы:

$$T_p = 1,1 \cdot C_{об} = 4390777 \cdot 0,15 = 658616,55 \text{ руб.}$$

$$Z_{смп} = 1,15 \cdot C_{об} = 4390777 \cdot 0,1 = 439077,7 \text{ руб.}$$

$$Z_{нр} = 1,05 \cdot C_{об} = 4390777 \cdot 0,05 = 219538,85 \text{ руб.}$$

Согласно формуле (17), общая величина капитальных вложений во всю систему определена:

$$K = 4390777 + 658616,55 + 439077,7 + 219538,85 = 5708010,1 \text{ руб.}$$

3.4 Расчет РСЭО (затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, потери электроэнергии, расчет амортизационных отчислений, затраты на ремонт и обслуживание электрооборудования)

РСЭО до внедрения оборудования

Так как, на данный момент на рассматриваемом участке перемещение крайкоробок в гофроящик происходит без использования оборудования, то есть ручным трудом, то затраты на содержание будут включать только основную и дополнительную заработную плату рабочих, отчисления в социальные фонды и прочие расходы. Материальные затраты на край/коробки и гофрокартон после интегрирования оборудования не изменятся, поэтому учитывать мы их не

будем. Ввиду отсутствия основных фондов (оборудования), затраты на амортизацию равны нулю.

$$И_{\text{ТЕК1}} = З + О_{\text{СН}} + П_{\text{р}} \quad (18)$$

Расчет фонда заработной платы

Общий фонд заработной платы складывается из основной и дополнительной заработной платы производственных рабочих.

К основной заработной плате относится оплата труда по тарифным ставкам и окладам на основе тарифной сетки по оплате труда рабочих (ТСР), учитывающей разряд работ и уровень оплаты труда.

Кроме оплаты труда по тарифным ставкам и должностным окладам, работникам различных категорий установлены соответствующие доплаты компенсирующего, стимулирующего характера, выплаты с целью регионального регулирования и мотивационного характера.

Доплаты на работах с тяжелыми, вредными и (или) опасными условиями труда – 12 %, а особой тяжелыми и особо вредными – 24 % тарифной ставки (оклада). Доплаты за работу в ночное время – 40 % тарифной ставки (оклада) за каждый час работы в ночное время. Можно принять при двухсменном графике работы 3,33 % тарифной ставки (оклада) с учетом доплаты за условия труда, а при круглосуточной работе – 13,33 % [19].

Доплаты за работу в праздничные дни – в двойном размере и при круглосуточной работе составляют 2,74 тарифной ставки (оклада).

Производство работает круглый год без выходных, то есть 365 дней. Количество праздничных дней в году составляет примерно 15 дней.

Тарифная ставка фасовщицы составляет 60,7 руб./час. Согласно политике предприятия за работу без претензий премия 100% к тарифной ставке (окладу).

Общая сумма заработной платы за год, которая выплачивается фасовщицам, заменяющим проектируемый агрегат, равна:

$$З=2 \cdot (1,1333 \cdot (365 - 15) + 2,74 \cdot 15) \cdot 24 \cdot 60,7 \cdot 2 \cdot 1,04 \cdot 1,15 = 3050859,6 \text{ руб.}$$

где 2 – кол-во работников в смену;

1,1333 – коэффициент за работу в ночное время;

24 – часов в сутки;

60,7 – часовая ставка работников фасовочного оборудования;

2 – коэффициент премии, установленная по предприятию;

1,04 – процент доплаты за физические перегрузки;

1,15 – районный коэффициент Уральского региона;

Отчисления на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды установлены в размере 30 % от общего фонда ЗП и включают в себя отчисления в пенсионный фонд РФ (22 %), федеральный фонд обязательного медицинского страхования (5,1 %), территориальный фонд обязательного медицинского страхования (2,9 %).

$$O_{CH} = 0,3 \cdot 3050859,6 = 915257,88 \text{ руб.}$$

Прочие расходы

Прочие расходы составляют 3 % от фонда заработной платы.

$$P_p = 0,03 \cdot 3050859,6 = 91525,8 \text{ руб.}$$

Таким образом, с учетом всех рассчитанных значений, сумма расходов в год для рассматриваемого участка фасовочной линии равна:

$$I_{\text{ТЕК1}}=3050859,6+915257,88+91525,8=4057642,68$$

РСЭО для проектируемого агрегата

Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования (РСЭО) за год определяются суммой экономических элементов согласно формуле (19).

$$I_{\text{ТЕК2}}=М+А+П_{\text{р}} \quad (19)$$

где $I_{\text{ТЕК2}}$ – эксплуатационные расходы, руб;

$З$ – основная и дополнительная заработная плата, руб;

$О_{\text{СН}}$ – отчисления на социальные нужды, руб;

$М$ – материальные затраты (электроэнергия и колеса), руб;

$А$ – амортизационные отчисления, руб;

$П_{\text{р}}$ – прочие расходы, руб.

Расчет основной и дополнительной заработной платы

В рамках данной работы экономическая выгода будет заключаться в отсутствии затрат на заработную плату (основную и дополнительную) и тем самым в отчислении в социальные фонды. Это будет достигаться путем замены ручного труда на автоматический агрегат. Таким образом затраты на заработную плату и отчисления в социальные фонды равны нулю.

Материальные затраты

Расчет затрат на основные материалы, полуфабрикаты и запасные части производится на основании норм расхода каждого вида материалов и запасных частей.

$$M = \Xi + Z_M \quad (20)$$

Материальные затраты на основное оборудование, а именно робот манипулятор с его вспомогательными устройствами, выделять не нужно. Необходимо проводить замену расходных материалов, связанных с вспомогательным оборудованием, примем их стоимость 5% от стоимости вспомогательного оборудования.

$$Z_M = 0,05 \cdot 1100000 \cdot (1 + 0,1 + 0,15 + 0,05) = 71500 \text{ руб.}$$

$$\Xi = 0,5 \cdot 290 \cdot 24 \cdot 3,3 \cdot 2,5 = 28710 \text{ руб.}$$

где 0,5–коэффициент использования оборудования;

290– планируемое количество дней работы оборудования;

24– часов в сутка;

2,5– средняя потребляемая мощность манипулятора, кВт;

3,3– стоимость электроэнергии для промышленных предприятий, руб/кВт

Таким образом, материальные затраты равны:

$$M = 71500 + 28710 = 100210 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления

Амортизационные отчисления есть отчисления части стоимости основных фондов для возмещения их износа. Амортизационные отчисления включены в издержки производства. С помощью накопления этих отчислений производят финансирование мероприятий по ликвидации износа основных фондов путем замены физически изношенных и морально устаревших объектов новыми [20].

Величина амортизации определяется согласно нормам амортизационных отчислений по основным фондам и первоначальной стоимости основных фондов.

$$A = \frac{H_A}{100} \cdot K \quad (21)$$

Годовая норма амортизации устанавливаемого оборудования равна:

$$H_A = \frac{100}{C_э} = \frac{100}{15} = 6,67 \% \quad (22)$$

где $C_э$ – срок полезного использования, равный 15 лет.

Исходя из этого, амортизация равна:

$$A = \frac{6,67}{100} \cdot 5708010,1 = 380724,3 \text{ руб.}$$

Прочие расходы

Так как в «новой» модели у нас отсутствует фонд заработной платы, прочие расходы примем в объеме 3 % от расходов на содержание и эксплуатацию оборудования [21].

$$P_p = 0,03 \cdot (100210 + 380724,3) = 14428,03 \text{ руб.}$$

Подставив все рассчитанные значения в формулу (19) и получим РСЭО для проектируемого агрегата:

$$I_{\text{ТЕК2}} = 100210 + 380724,3 + 14428,03 = 495362,33 \text{ руб.}$$

3.5 Расчет срока окупаемости проекта

Таким образом, затраты на содержание и эксплуатацию оборудования (РСЭО) за год при «старой» и «новой» моделях определены соответственно значениями:

$$I_{\text{ТЕК1}}=4057642,68 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ТЕК2}}=495362,33 \text{ руб.}$$

Определим срок окупаемости по формуле ниже:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\text{Э}_{\text{год}}} \quad (23)$$

где K – капитальные затраты, руб;

$\text{Э}_{\text{год}}$ – экономия в год, руб.

Экономия в год равна разнице расходов на содержание старой модели и расходов на содержание и эксплуатацию новой.

$$\text{Э}_{\text{год}} = I_{\text{ТЕК1}} - I_{\text{ТЕК2}} \quad (24)$$

$$\text{Э}_{\text{год}} = 4057642,68 - 495362 = 3562280,68 \text{ руб}$$

Таким образом, согласно формуле (25), срок окупаемости равен:

$$T_{\text{ок}} = \frac{5708010,1}{3562280,68} = 1,6 \text{ года} = 1 \text{ год и } 7 \text{ месяцев} \quad (25)$$

3.6 Составление сводной таблицы технико-экономических расчетов

Технико-экономические показатели сведены в таблицу 8. Сводная таблица наглядно отображает разницу показателей до и после внедрения оборудования.

Таблица 8– Сводная таблица технико-экономических расчетов

Наименование показателя	Значение показателя до	Значение показателя после	Разница показателей до и после
Годовой объем производства, тонн продукта в год	17662	17662	–
Капитальные вложения, руб.	–	5708010,1	5708010,1
РСЭО, руб.:	4057642	495362	–3562280
– фонд заработной платы, руб.	3050859,6	–	–3050859,6
– страховые взносы, руб.	915257,88	–	–915257,88
– материальные затраты, руб.	–	100210	100210
– прочие расходы, руб.	91525,8	14428,03	–77097,77
– амортизация, руб.	–	380724,3	380724,3
Итого экономия в год, руб.		3562280,68	
Срок окупаемости		1 год и 7 месяцев	

Рассчитанные показатели говорят об экономической уместности работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенной выпускной квалификационной работы был выполнен обзор промышленных роботов манипуляторов, их видов и характеристик. Описан и проанализирован технологический процесс фасовочного цеха ООО «Ресурс». Анализ показал, что участок автоматической линии автоматизирован не полностью и нуждается в совершенствовании, так как предприятие стремится к полностью автономному производству.

Была разработана система автоматизации участка перемещения кройкоробок в гофроящик. В результате работы произведен расчет технико-экономических показателей внедрения оборудования в технологический процесс. Выбранный для интегрирования цех промышленный робот Fanuc M-710ic/50 прошел проверочный расчет. Силовое оборудование проверено по перегреву, выбран контроллер, обеспечивающий управление и защиту электроприводов манипулятора.

Были определены требования к электроприводу и системе автоматизации, построена нагрузочная диаграмма и тахограмма работы привода третьей оси робота-манипулятора.

Робот-манипулятор устанавливается вместе с контроллером одноименной фирмы Fanuc. В построенной системе автоматического управления он устанавливается наравне с логическим контроллером, который связан с контроллером робота по сети Ethernet. Контроллер Fanuc R30iA осуществляет полное управление шестью осями робота, решая прямую и обратную задачи кинематики, отслеживая положение вакуумного захвата в режиме реального времени, тем самым является устройством программного управления робота. Помимо управления, контроллер предназначен для защиты электроприводов робота от перегрузки и хранения информации о перемещениях робота.

Функциональная схема системы автоматического регулирования сервопривода осей робота приведена на рисунке 21. Трехконтурная система регулирования угла поворота звена робота состоит из оптимизированного

контура момента, пропорционально-интегрального регулятора скорости и нелинейного регулятора положения, который рассчитан для трех типовых перемещений привода: малых, средних и больших.

Важной технологической координатой электропривода звена является его положение, от которого зависит положение рабочего органа, поэтому к позиционированию применяют высокие технологические требования, такие как отсутствие перерегулирования и статической ошибки по положению. Отметим, что электропривод обрабатывает все три типа типовых перемещений с достаточным быстродействием.

В ходе выпускной квалификационной работы были рассмотрены технико-экономические параметры фасовочного цеха ООО «Ресурс», в который интегрировалось оборудование. Капитальные затраты на установку оборудования составили 5708010,1 руб. Данная сумма включает расходы на транспортировку оборудования, его установку и непредвиденные расходы. В расчет также вошло вспомогательное оборудование, которое соответствует аналогичной фасовочной линии.

Годовая экономия средств идущих на заработную плату, отчисления на социальные нужды, материальные затраты, амортизационные отчисления и прочие расходы составили 356280,68 руб.

Срок окупаемости оборудования в ходе расчёта составил 1 год и 7 месяцев. Таким образом, поставленные задачи и цели выпускной квалификационной работы можно считать выполненными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сайт компании «Увелка». – URL: <http://www.uvelka.ru/>
2. Шеленок Е. А. Разработка учебного робота-манипулятора. Том 5 / Шеленок Е.А. Ученые заметки. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2014. – 247 с.
3. Воробьев Е.И., Механика промышленных роботов / Е.И. Воробьев, С.А. Попов, Г.И. Шевелева. В 3кн. – М: Высшая школа, 1988 – 304 с.
4. ГОСТ 12.2.072-98. Роботы промышленные. Роботизированные технологические комплексы. Требования безопасности и методы испытаний. – М: Изд-во стандартов, 1998. – 7 с.
5. ГОСТ 26050-89. Роботы промышленные. Общие технические требования. –М: Изд-во стандартов, 1989. – 8 с.
6. Василенко Н.В. Основы робототехники под общей редакцией / Н.В. Василенко, К.Д. Никитина. – ТОМСК: изд-во Раско 1993 – 257 с.
7. Фу К. Робототехника / К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли. – М.: Мир, 1989. – 614 с.
8. Сайт компании FANUC. – <https://www.fanuc.eu>
9. Электротехнический справочник в 4 т. Т.4 / под общей редакцией В.Г. Герасимова, А.Ф. Дьяконова, Н.Ф. Ильинского, В.А. Лабунцова. – М.: изд-во МЭИ, 2004. – 696 с.
10. Агарков А.В. Автоматизация технологических процессов в приборостроении с помощью промышленных роботов: учебное пособие / А.В. Агарков. – Москва: Изд-во МАИ, 2014. – 52 с.
11. Сайт компании Allen Bradley. – <http://ab-ra.ru/>
12. Следящие электроприводы.– http://mod.exponenta.ru/epivod/glv_090.htm
13. Сайт компании FANUC. – <https://www.fanuc.eu>
14. Вейнгер А. М. Регулируемые электроприводы переменного тока: учебное пособие / А.М. Вейнгер. – Москва: Изд-во МЭИ, 2009. – 103 с.

15. Терехов В. М. Системы управления электроприводов: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. – 305 с.

16. Фомин, Н. В. Системы управления электроприводов: Учеб. Пособие / Н.В. Фомин. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. – 87 с.

17. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0 / С.Г. Герман-Галкин. - СПб.: Корона принт., 2001. — 320 с.

18. Зенкевич С.И. Основы управления манипуляционными роботами: учебник для вузов. / С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко. – 2-е изд. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 76 с.

19. Попп Т.В. Определение экономической эффективности технических решений в дипломных проектах: методические указания к выполнению экономической части дипломного проектирования / Т.В. Попп. – Екатеринбург: УрГУПС, 2014. – 32 с.

20. Кучина, Е.В. Экономика организации: учебное пособие / Е.В. Кучина. – Челябинск, 2017. – 52 с.

21. Бахольская Л.И. Экономика, организация и планирование производства: Методические указания по дипломному и курсовому проектированию для студентов специальности 180400 дневной и заочной форм обучения / Л.И. Бахольская. – Магнитогорск: МГТУ, 2001. – 72 с.