

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»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

_____ В.Р. Гасияров

_____ 20__ г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВАРА
ЮУрГУ 15.03.06.2020.575 ПЗ (ВКР)

Модернизация привода мехатронной системы вращения трубы сварочного
участка ТЭСЦ №6 ПАО «ЧТПЗ»

Консультант по экономике
Д.э.н., доцент

_____ Е.В. Кучина

Руководитель работы
Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

_____ В.Р. Гасияров

Нормоконтролер
Преподаватель

_____ О.А. Гасиярова

Автор работы
студент группы П-456

Яловой Роман Русланович
_____ 2020 г.

Консультант по проверке ВКР
на оригинальность
Ст. преподаватель

_____ С.С. Воронин

АННОТАЦИЯ

Яловой Р.Р. Модернизация привода мехатронной системы вращения трубы сварочного участка ТЭСЦ №6 ПАО «ЧТПЗ» - Челябинск ЮУрГУ, МТ П-456; 2020, 70 с., 25 ил., библиогр. список - 13 наим.

После анализа технологического процесса системы вращения трубы предложена модернизация работы, за счет которой увеличивается производительность механизма.

Произведен расчет электропривода механизма вращения трубы, выбран двигатель и преобразователь частоты. Смоделирована САР рассматриваемого механизма. Построен график переходных процессов.

Приведена таблица технико-экономических показателей и рассчитан срок окупаемости проекта.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 6 |
| 1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ..... | 9 |
| 1.1 Характеристика цеха, описание работы механизма..... | 9 |
| 1.2 Характеристика и кинематическая схема механизма | 13 |
| 1.3 Требование к приводам и системе автоматизации | 16 |
| 1.4 Выбор системы привода..... | 17 |
| 1.5 Расчёт и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы | 20 |
| 1.6 Выбор основного силового оборудования | 27 |
| 1.7 Защита привода, расчёт уставок защитных устройств | 29 |
| 2 РАЗРАБОТКА САУ | 35 |
| 2.1 Разработка архитектуры системы автоматизации | 35 |
| 2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат | 37 |
| 2.3 Выбор и разработка функциональной схемы САУ привода проектируемого агрегата | 39 |
| 2.4 Разработка контура регулирования технологических координат | 42 |
| 2.5 Разработка структурной схемы САУ и моделирования типовых режимов работы привода..... | 42 |
| 3 РАСЧЕТ ТЕХНИЧЕСКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ | 52 |
| 3.1 Краткое описание продукции..... | 52 |
| 3.2 Расчет производственной программы | 52 |
| 3.3 Расчет сметы капитальных затрат..... | 56 |
| 3.4 Расчет РСЭО (расходы на содержание и эксплуатацию оборудования) до внедрения проектируемых мероприятий..... | 58 |
| 3.5 Расчет РСЭО (расходы на содержание и эксплуатацию оборудования) после внедрения проектируемых мероприятий | 62 |
| 3.6 Расчет итоговых показателей..... | 64 |
| 3.7 Расчет срока окупаемости проекта | 65 |

| | |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 3.8 Составление сводной таблицы технико-экономических расчетов | 65 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 67 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 68 |

ВВЕДЕНИЕ

В данный момент наблюдается тенденция к переходу от металлических изделий к полимерам и композитным материалам. В некоторых сферах, таких как аэрокосмический комплекс, они медленно вытесняют обычные стальные и алюминиевые сплавы за счёт своей долговечности, лёгкости и устойчивости к нагрузкам. Кроме того, некоторые композиты разрабатываются в соответствии с требованиями под определённый проект, а потому идеально подходят по своим характеристикам. Однако высокая стоимость и сложность производства делает невозможным их применение в проектах крупного масштаба. В условиях постоянной массовой потребности в определённом продукте композиты не выдерживают конкуренции. Потому спрос на изделия из металла будет оставаться на одном уровне ещё довольно долго. Возможно, уменьшилось количество занимаемых металлопрокатом сфер, но проекты с его применением стали глобальнее. На примере РФ можно отследить лишь рост потребностей, особенно в судостроительной и добывающей отраслях. Стоит вспомнить и о значимых для страны проектах, относящихся к инфраструктуре («Крымский мост»).

Из результатов опросов и исследований, проведённых в процессе данной работы, целью которых стало определение истинного положения дел в металлургии, было выявлено, что большинство заводов-изготовителей металлопроката сейчас загружены, в среднем, на 80-90 процентов. Некоторые предприятия принимают заказы на изготовление своей продукции за 1,5 месяца, в силу очень плотного графика и больших объёмов, что вынуждает заказчиков подстраиваться под производителя. Некоторые заводы не имеют возможности принять заказ даже за 2 месяца, а несколько крупных предприятий вообще отказываются от их размещения из-за перегруза линий. Всё это свидетельствует о большом спросе. А значит для увеличения

прибыли производитель должен увеличить количество изготавливаемой продукции, поднять мощности на новый уровень.

Всё вышеперечисленное, постепенное вытеснение металла полимерами и композитами, рост объёмов металлопроката в одном заказе для крупных проектов, высокий массовый спрос за счёт низкой стоимости продукта в сравнении с аналогами и конкуренция между предприятиями, вынуждает металлургов находить новые решения не только в улучшении качества изготавливаемой продукции, но и в модернизации самого технологического процесса производства. А основой для этого служит автоматизация, применение новейших технологий, элементов мехатроники. Только так можно добиться ускорения выпуска единицы продукции, снижения её себестоимости без потери в качестве (а возможно и с его повышением).

Кроме того, современные реалии требуют принятия современных решений. Многие отрасли промышленности, развиваясь, выставляют новые требования и нуждаются в современных материалах. Зачастую такие материалы имеют конкретные параметры, включая не только высокие прочностные характеристики, но и приемлемую стоимость. Здесь на помощь вновь приходит металлургия - разрабатываются новые сплавы, новые элементы металлоконструкций, применяются обновлённые стандарты качества. Следовательно, крайне необходимо разрабатывать новые производственные линии, максимально эффективные и мощные. Вновь прослеживается потребность в автоматизации технологического процесса.

Одним из наиболее известных заводов-изготовителей изделий из металла, одним из лидеров в применении современного подхода к производству является ЧТПЗ – Челябинский трубопрокатный завод. Именно он был выбран для детального ознакомления с применением мехатронных систем на предприятии, выявления недостатков в процессе изготовления того или иного вида продукции, создания ряда предложений по их устранению. Об оборудовании, расположенном в его цехах, пойдёт речь в дальнейшем.

В выпускной квалификационной работы (ВКР) будет рассмотрен механизм вращения трубы. А именно модернизация привода и его управляющего оборудования. Механизм вращения трубы – это мехатронная система, которая является частью линии производства ТЭСЦ №6 ПАО «ЧТПЗ».

Установка вращения трубы предназначена для вращения изделий при сварке, резке и обработке труб и трубных узлов. Возможность вращать изделия при сборке и сварке труб существенно упрощает работу сварщиков и увеличивает производительность участка ручной или автоматической сварки в цеховых и монтажных условиях. Система управления установкой смонтирована в пылевлагозащищённом шкафу. Управление исполнительными механизмами осуществляется с пульта управления.

К рассматриваемому приводу предъявлены требования и в ходе расчета, выбрано необходимое оборудование. После выбора оборудования, были построены функциональная схема и смоделирована математическая модель механизма. Получен график переходных процессов, показывающий правильность выполненной работы.

Актуальность проекта доказана в расчете технико-экономических показателей, где показаны капитальные вложения и срок окупаемости проекта.

1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Характеристика цеха, описание работы механизма

ТЭСЦ №6, который был выбран в качестве места для изучения оборудования с целью выявления потребностей в модернизации или разработки новых систем, до определённого момента являлся самым большим цехом в Европе (длина 920 метров, ширина 350). Это позволило разместить на его площадях (0,32 км²) линии, способные выпускать большой спектр трубной продукции в различных вариациях, согласно указаниям заказчика.

Цех производит электросварные трубы диаметром от 530 до 1220 мм с возможностью внутреннего и внешнего покрытия. Для этого под крышей здания размещены два стана. Один из них загружен производством трубы диаметром от 530 до 820, а второй от 1020 до 1220. Это позволяет дифференцировать технологический процесс, разделить его на две части под разные варианты исполнения трубы (до 820 мм с одним швом, 1020-1220 с двумя швами). Подобный подход ускоряет процесс производства и сводит к минимуму необходимость в крупных перенастройках линий, которые соответствуют двум вышеупомянутым станам.

Таким образом, весь цех можно разделить на участки, согласно их назначению, и на две линии, выполняющие похожие функции, но для разных диаметров труб. Участки внутреннего и внешнего покрытия (УАПТ-2 и УВПТ) способны обслуживать обе линии одновременно (УАПТ-1 ТЭСЦ №6 обслуживает только линию стана 530-820). Кроме того, УАПТ-2 и УВПТ способен принимать на себя часть нагрузки с «Высоты-239», так как имеет возможность обрабатывать трубы 1420 диаметра.

Каждая линия имеет специализированные участки. Участок выполняет свою индивидуальную функцию. Так как линии, по их функциям, в целом,

похожи, то участки имеют одинаковые названия, выполняют одинаковые функции, но, иногда, различными способами.

Участки ТЭСЦ №6 делятся на следующие категории:

1. Стан – придание листовому металлопрокату формы трубы, сгибание при помощи пресса;
2. Участок сварки – сварка шва трубы, внутренняя и внешняя;
3. Участок дополнительной обработки – придание правильной геометрии, обработка законцовок, очистка;
4. Участок проверки – проверка трубы на изъяны и ошибки, допущенные при изготовлении, их устранение, если возможно;
5. Участок покрытия – внутренне или/и внешнее покрытие трубы специальными антикоррозийными составами, поливинилхлоридом;
6. Участок отгрузки – складской комплекс и отгрузка трубы заказчиком.

Выбранный для анализа 5-тый передвижной рольганг находится на участке сварки линии стана 530-820. Подробнее рассмотрим процессы, происходящие на этой линии.

Стан труб 530-820 диаметров представляет собой пресс, изгибающий стальной лист в два этапа. Сначала заготовка располагается над полостью в форме половины трубы. После проверки на правильность расположения, в его центр опускается полукруглая, по форме выреза, контактирующая с листом часть пресса. После прессовки лист в сечении напоминает перевернутую вырезом вверх букву «С». Позже верхние кромки так же подгибаются внутрь вторым исполнительным механизма пресса. Таким образом, лист приобретает форму трубы и отправляется на участок сварки.

Участок сварки можно разделить на несколько зон. Участок внешней сварки, участок распределения (передвижной рольганг) и участок внутренней сварки.

Заготовка располагается будущим швом вверх, точно позиционируется поворотным рольгангом перед сварочной установкой.

После освобождения установки труба перемещается внутрь, где оператор с пульта размещает головку сварочной установки точно над швом, пока она не будет располагаться над точкой начала сварки. Включается заземление, сварочное устройство опускается над трубой, начинается процесс сварки. Труба, посредством продольных усилий рольгангов, начинает перемещаться вперед. Оператор следит за качеством сварки и точностью расположения шва. При необходимости процесс останавливается, предпринимаются дополнительные действия.

После него следует участок внутренней сварки, которая, по своей сути, похожа на внешнюю. Разница заключается лишь в том, что для осуществления внутренней сварки необходимо приподнять трубу и перемещать её, в то время как внутри располагается балка со сварочным устройством (труба «наводится» на балку). После успешной сварки заготовка «откатывается» в исходное положение и опускается, отправляется дальше.

После сварки трубу ждёт дополнительная обработка. Со швов удаляется шлак, а механический экспандер, располагаясь внутри трубы (сама труба постепенно продвигается вперёд, процесс похож на внутреннюю сварку) придаёт трубе правильную геометрическую форму.

Позже, посредством плазменной резки, ровняются кромки заготовки, а при помощи рентгена и ультразвука труба проверяется на наличие дефектов, после чего проходит гидростатическую проверку.

При необходимости на трубу может быть нанесено антикоррозийное покрытие, как внутри, так и снаружи. Внутреннее покрытие представляет собой смесь краски и веществ, препятствующих возникновению коррозии. Похожее покрытие наносится и снаружи, но, обычно, внешняя обработка этим не заканчивается и на трубу наносится слой поливинилхлорида.

Стоит отметить, что перед покрытием заготовка промывается дистиллятом воды, просушивается, а позже проходит через дробомёты и прогревается в индукторе.

После покрытия труба проходит через установку по зачистке её концов и автоматическую проверку на целостность покрытия (через трубу подаётся напряжение, цепь состоит из щёток, огибающих изделие по окружности с одной стороны и продольных щёток с другой, если цепь замыкается, то это значит, что в покрытии есть отверстия, оголяющие металл, в этом месте наносится краска, чтобы в дальнейшем дефект был замечен и устранён вручную).

ТЭСЦ №6, который был выбран в качестве места для прохождения производственной практики, до определённого момента являлся самым большим цехом в Европе (длина 920 метров, ширина 350). Это позволило разместить на его площадях (0,32 км²) линии, способные выпускать большой спектр трубной продукции в различных вариациях, согласно опциям на которые указал заказчик.

На рисунке 1.1 изображено расположение цехов «ЧТПЗ».

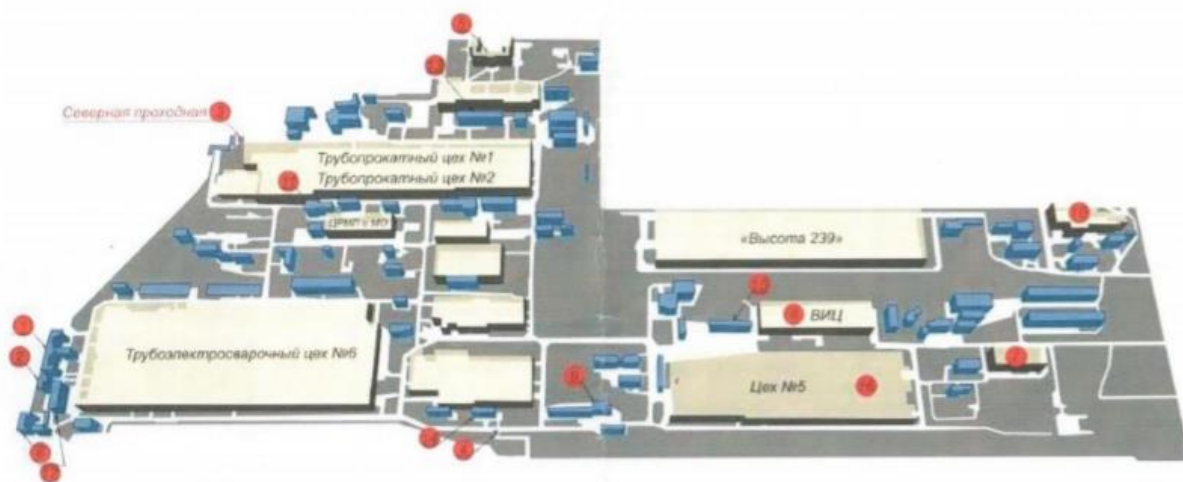
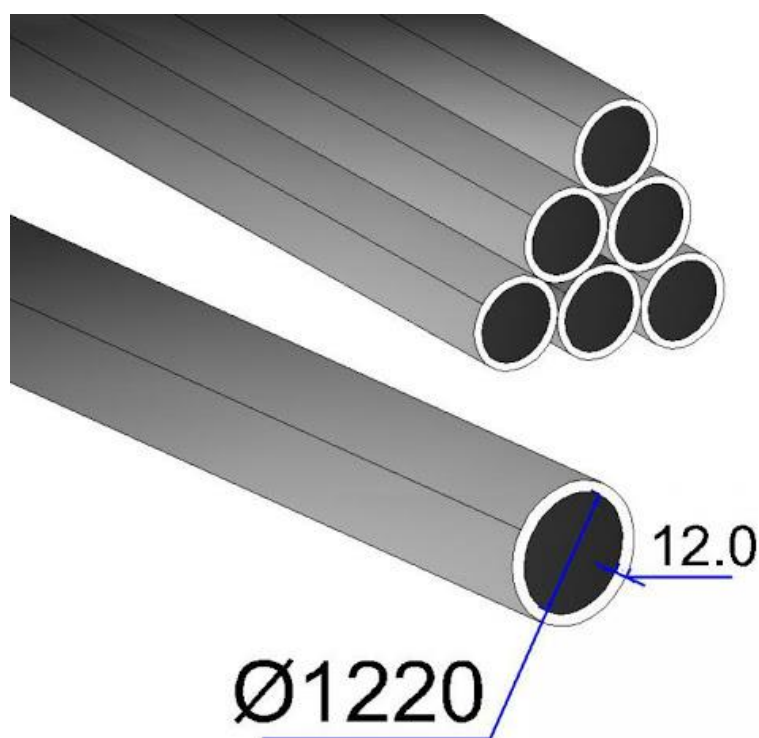


Рисунок 1.1 Расположение цехов

Цех производит электросварные трубы диаметром от 530 до 1220 мм с возможностью внутреннего и внешнего покрытия. Для этого под крышей здания размещены два стана. Один из них загружен производством трубы диаметром от 530 до 820, а второй от 1020 до 1220. Это позволяет дифференцировать технологический процесс, разделить его на две части под разные варианты исполнения трубы (до 820 мм с одним швом, 1020-1220 с двумя швами).

На рисунке 1.2 представлен вид трубы 1220 диаметра, используемый непосредственно на линии, где находится механизм вращения трубы. Толщина трубы равна 12 мм.



Рисунке 1.2. Труба 1220 диаметра

1.2 Характеристика и кинематическая схема механизма

Принципиальная кинематическая схема — это схема которая показывает путь передачи движения от двигателя к передаточному механизму (может быть несколько), к рабочему органу машины (например, шпинделю станка,

режущему инструменту, ведущим колёсам автомобиля и др.) и показывает подробно их взаимосвязь.

Конструкционные части составляющей единицы в основном не показывают или показывают тонкими линиями. Обычно кинематические механизмы изображают в виде развёрнутых схем. Все оси механизма располагают на одной плоскости. Хотя эти схемы не показывают действительного расположения деталей механизма, но позволяют точно прояснить последовательность передачи движения.

На кинематических схемах необходимо изображать только участвующие в передаче движения машины или механизмы (такие как, зубчатые колёса, ходовые винты, валы, муфты, шкивы и др.) без размеров и пропорций.

Трубный вращатель, рассматриваемый в данной работе, находится на сварочном участке. После подачи трубы, оператор с помощью контроллера вращает трубу. Контроллер имеет четыре режима работы. Быстрый и медленный режимы для прямого вращения трубы и два аналогичных для обратного. На рисунке 1.3 изображена схема вращателя трубы.

Вращение трубы происходит за счет вращения двух пар колес, расположенных под трубой. На рисунке 1 изображена одна такая пара. Одно из колес является ведущим, а другое ведомым. Если труба отсутствует, механизм вращения находится ниже роликов не препятствуя движению трубы. После ее подачи, вращатель трубы поднимается с помощью механизма подъема трубы, для свободного вращения. Труба фиксируется за счет собственной массы. В качестве аппаратной защиты используются автоматические силовые выключатели.

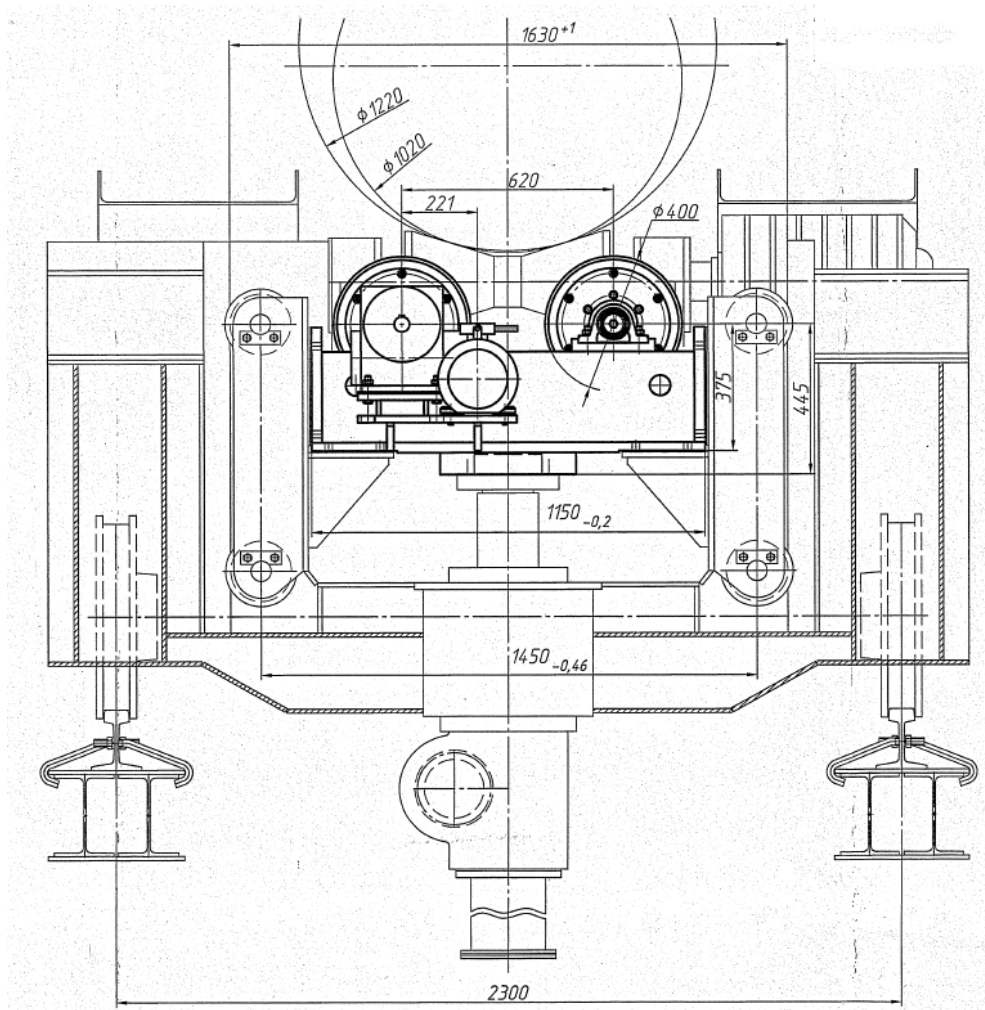


Рисунок 1.3. Схема вращателя трубы

Основные характеристики механизма сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Основные характеристики трубного вращателя

| | |
|-----------------|-------------|
| Мощность | 3 кВт |
| Номинальный ток | 7,3 А |
| Число оборотов | 1420 об/мин |
| КПД | 82% |
| Ширина | 2700 мм |
| Диаметр колеса | 400 мм |
| Высота | 2050 мм |

Для каждого ведущего колеса имеется электропривод. На рисунке 1.4 изображена кинематическая схема для одного электропривода, где под цифрой 1 обозначен двигатель, 2 – соединительная муфта, 3 – двухступенчатый червячный редуктор, 4 – исполнительный механизм. Для второго колеса схема аналогична.

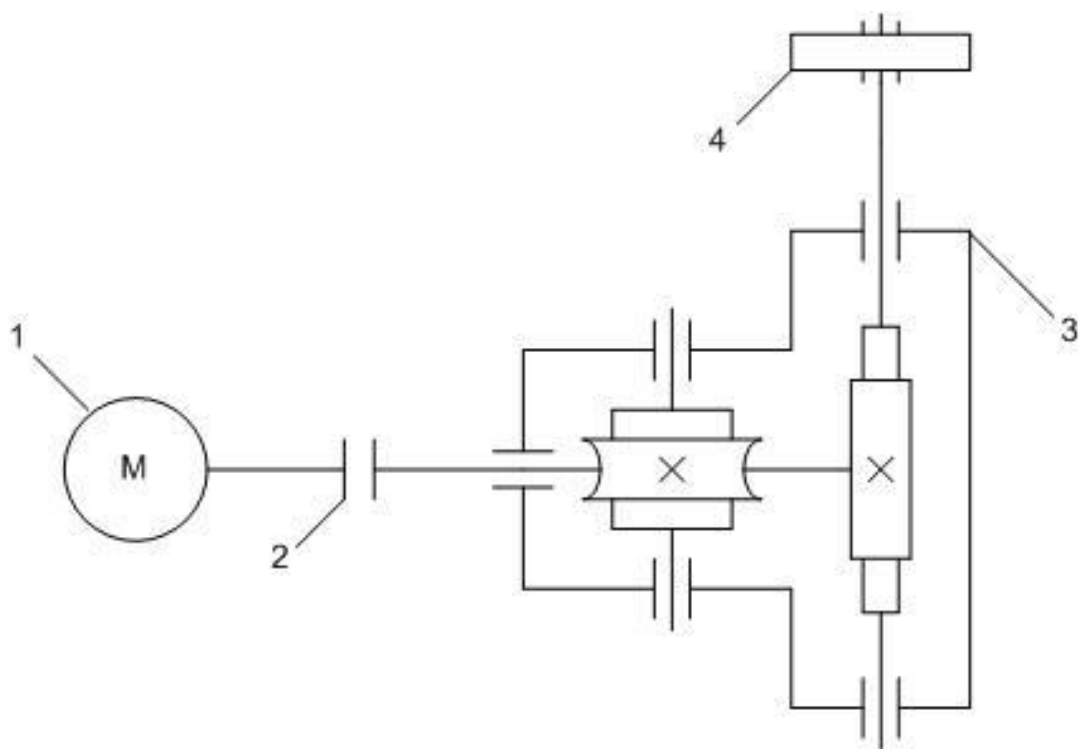


Рисунок 1.4. Кинематическая схема электропривода

1.3 Требование к приводам и системе автоматизации

Приводы сами по себе являются управляемыми системами и, соответственно, к ним всегда предъявляются высокие требования по точности, быстродействию при реализации исполнительного органа самых различных условий движения объекта. Например, отработка положений, скоростей, ориентации, ускорений усилий. Всё это требует при проектировании исполнительных механизмов промышленных приводов, использования всего арсенала средств и методов механики, теории механизмов, теории автоматического управления, теории привода.

К условиям работы приводов механизма эксплуатирующихся в сравнительно тяжёлых условиях:

- слабая предсказуемость динамики;
- пыль, влажность, грязь, коррозия;
- удары, вибрации, толчки;
- работа механизма при температурах ± 50 °С;
- перегрузки (статические);
- частая смена режимов работы;
- долгие перерывы и длительные периоды непрерывной работы;
- слабая механизация техпроцессов из-за неточного позиционирования;
- изменяющееся положение (наклон) машин и механизмов.

Параметры приводов при их проектировании основываются на технических требованиях. Они должны выполнять требования по точности и быстродействию при реализации различных видов движений.

Это требуется для корректной работы и использования таких дисциплин как механика, теория механизмов, теория автоматического управления, теория привода.

Требования к приводу вращения трубы предъявляют из следующих условий:

1. Плавность регулировки скорости вращения
2. Диапазон регулирования $D_{рег} = 2$
3. Точность позиционирования $\pm 1\%$
4. Максимальная грузоподъемность 8 т.

1.4 Выбор системы привода

При проектировании оборудования для механизма вращения трубы, где будет осуществляться вращательное движение, необходимо определиться с типом привода.

Пневмопривод это привод самый простой по сравнению с остальными. К достоинствам этого привода можно отнести надежность и дешевизну. Но пневмопривод плохо управляем и имеет ограничение по грузоподъемности.

Гидропривод в свою очередь является сложным и дорогим оборудованием. Гидропривод лучше использовать в системах, требуется большое усилие рабочими органами и высокая точность исполнения. У гидропривода мощностью до 1 кВт хороший массогабаритный показатель.

Электропривод в настоящее время становится основным в сфере мехатронных систем. К его особенностям можно отнести такие, как хорошая управляемость, высокий КПД и наилучшая массо-габаритная эффективность. Все эти позиции являются предпочтительными для применения электропривода в робототехнических системах.

Недостатками электрического привода считают наличие инерционности, вызывающей потребность введения фиксирующих устройств положения узлов по типу тормозов либо самотормозящих передач; скорости узлов меньшей сравнении с пневмоприводом.

В электроприводах используют электродвигатели постоянного тока с последовательным или независимым возбуждением, и двигатели переменного тока чаще всего асинхронные трехфазные и шаговые электродвигатели различных типов.

Для правильной работы автоматического регулирования электрических приводов должны предусматриваться управляемые преобразователи и регуляторы, которые могут автоматически, под воздействием обратных связей изменять сопротивления, напряжения, токи, частоту и другие воздействия. Самыми распространенными являются электромашинные и вентильные управляемые преобразователи напряжения постоянного тока и частоты переменного тока, а также соответствующие системы электропривода: система генератора – двигатель (Г – Д), система тиристорный или транзисторный преобразователь – двигатель (ТП – Д); система преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ – АД).

По типу управления частотных преобразователей различают векторный и скалярный тип управления.

Скалярный тип управления используется для поддержания постоянной скорости вращения ротора на определенном уровне. Амплитуда питающего напряжения является функцией частоты. В итоге отношение напряжения к частоте оказывается приблизительно постоянным. Конкретный вид этой зависимости связан с нагрузкой на валу, однако принцип остается таковым: при повышении частоты, напряжение пропорционально повышается и зависит от нагрузочной характеристики данного двигателя. В результате магнитный поток в зазоре между ротором и статором поддерживается почти постоянным. Если же данное отношение напряжения к частоте отклонить от номинального для данного двигателя, то двигатель либо перевозбудится, либо недовозбудится, что соответственно приведет к потерям в двигателе и к сбоям в рабочем процессе. Таким образом скалярное управление позволяет добиться почти постоянного момента на валу в рабочем диапазоне частот независимо от частоты, однако на низких скоростях момент все же снижается (чтобы этого не произошло, необходимо повысить отношение напряжения к частоте), поэтому для каждого двигателя имеет место строго определенный рабочий диапазон скалярного управления.

Кроме того, необходимо установка датчика скорости для скалярного управления, так как нагрузка питающего напряжения сильно влияет на отставание от частоты питающего напряжения. В основном, данный метод применяется там, где зависимость скольжения от нагрузки не является критичной.

Векторный метод регулирования предоставляет возможность независимо и почти безынерционно регулировать как момент на валу, так и скорость вращения вала под нагрузкой. Суть метода состоит в том, что контролируется не средняя, а мгновенное значение векторов обобщённых электромагнитных переменных: напряжения, тока, потока сцепления. Причем контролируется не только величина модуль вектора, но и их пространственное положение в данный момент времени.

Система векторного управления будет иметь свои особенности, свою степень точности регулировки, которые зависят от области применения того или иного электропривода .

Например, когда к точности регулировки скорости допускается отклонение до 1,5%, а диапазон регулировки не должен превышать 1 к 10, то подойдет бездатчиковая система.. Если точность регулировки скорости должна быть с отклонением не более 0,2%, а диапазон находится до 1 к 100, тогда необходимо наличие обратной связи по датчику скорости на валу. Наличие датчика скорости в системах векторного управления позволяет точно регулировать момент даже при низких частотах до 1 Гц .

Векторное управление дает много преимуществ. К ним относятся высокая точность управления скоростью вращения ротора (и без датчика скорости на нем) даже при условии динамически изменяющейся нагрузки на валу. При таком управлении рывков не будет. Вращение вала будет плавным и ровным. Высокий КПД в силу низких потерь в условиях оптимальных характеристик напряжения питания.

К недостаткам векторного управления относится сложность вычислительных операций и постоянную необходимость задавать исходные данные (параметры регулируемого привода).

В соответствии с методикой выбора электропривода необходимо произвести расчеты, построить тахограмму и нагрузочную диаграмму и проверить двигатель по мощности.

1.5 Расчёт и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы

Выбор электродвигателя производится обычно, в следующей последовательности;

1. расчет мощности и предварительный выбор двигателя;
2. проверка выбранного двигателя по условиям пуска и перегрузки;
3. проверка выбранного двигателя по нагреву.

На рисунке 1.5 изображена нагрузочная диаграмма.

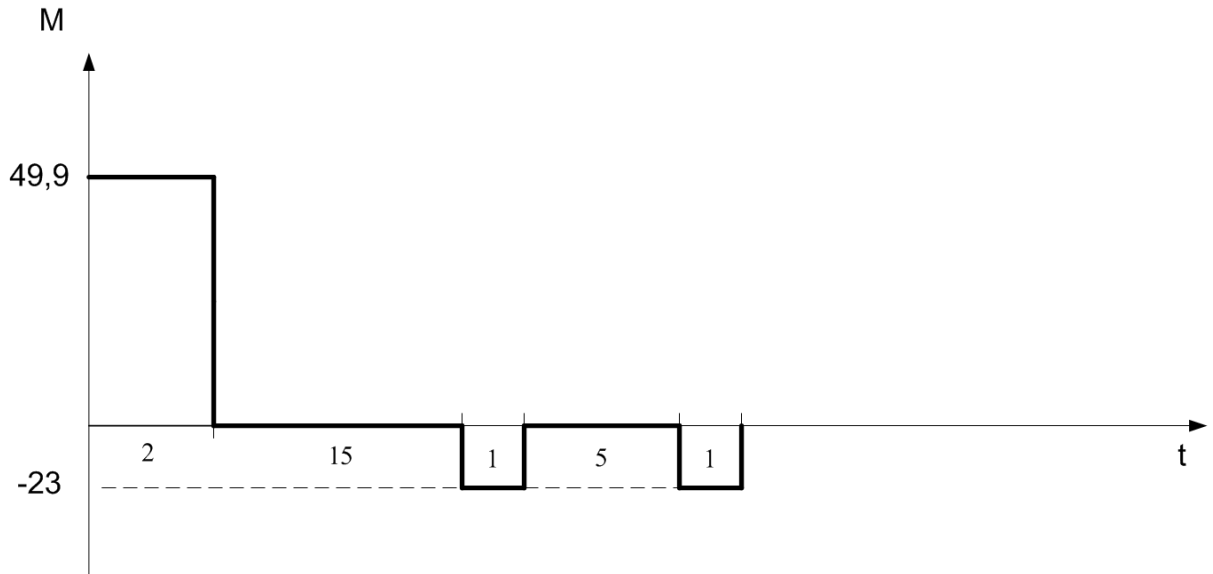


Рисунок 1.5. Нагрузочная диаграмма

- 1) Время разгона до максимальной скорости с грузом = 2 с.;
- 2) Время работы на максимальной скорости = 15 с.;
- 3) Время торможения до пониженной скорости = 1 с.;
- 4) Время работы на пониженной скорости (до сварочного шва) = 5 с.;
- 5) Время торможения до остановки = 1 с.

На рисунке 1.6 представлена тахограмма работы, где t_r – время разгона, $t_{уст2}$ – установившееся время работы второго режима, $t_{уст1}$ – установившееся время работы первого режима, t_t – время торможения.

Угловую скорость ведущего колеса найдем по формуле (1.1):

$$\omega_k = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi \cdot 5}{30} = 0,52 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad (1.1)$$

где: n – обороты колеса за минуту.

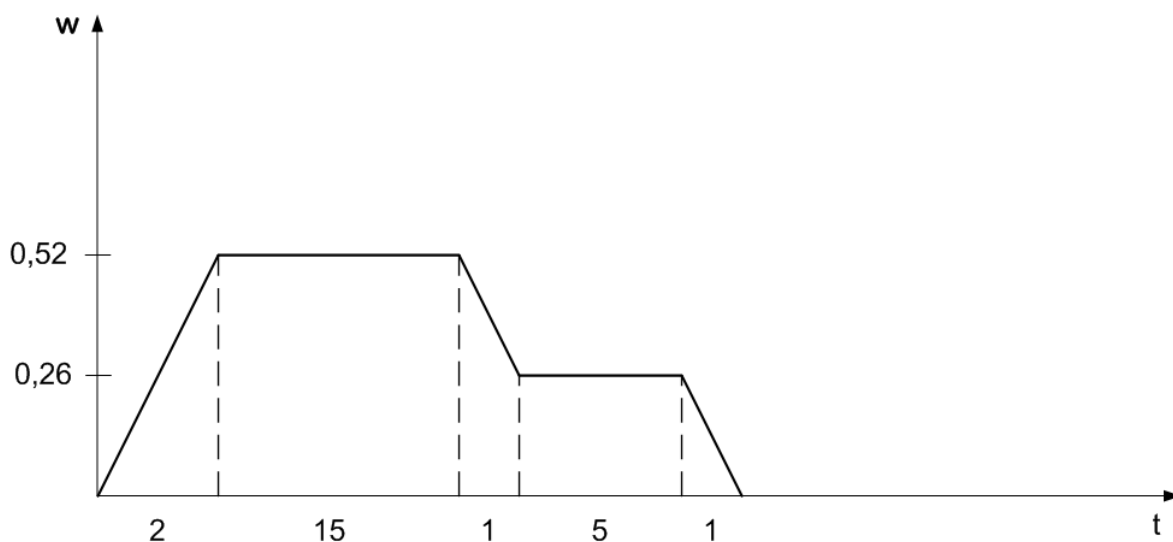


Рисунок 1.6. Тахограма роботи робочого органа

Угловую скорость двигателя найдем по формуле (1.2):

$$w = w_{\kappa} \cdot i = 0,52 \cdot 200 = 104 \text{ рад/с}, \quad (1.2)$$

где: i – передаточное число редуктора.

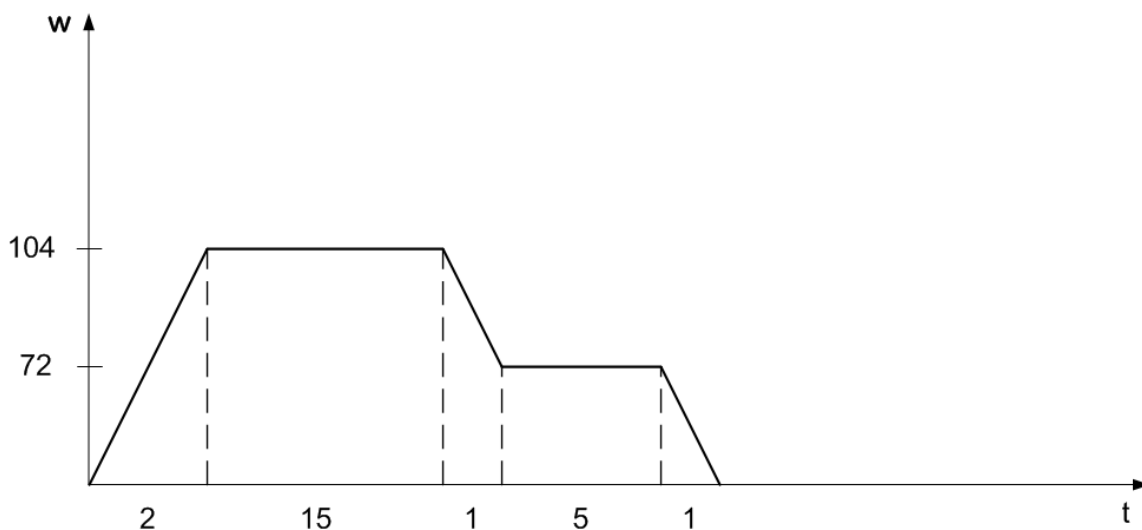


Рисунок 1.7. Тахограма работы двигателя

Так как угловая скорость двигателя получилась 104 рад/с, то пониженная скорость будет в 2 раза меньше и равна 72 рад/с.

Из нагрузочной диаграммы можно сделать вывод, что двигатель должен работать в повторно-кратковременном режиме.

В основе построения нагрузочных диаграмм лежит уравнение движения электропривода

$$M_d = M_c \pm J \cdot \frac{dw}{dt} = 47,9 \pm 0,027 \cdot 74 = 47,9 \pm 2 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (1.3)$$

где: M_d – развиваемый момент двигателем; M_c – приведенный момент сопротивления; J – приведенный момент инерции; dw/dt – угловое ускорение.

$$M_c = \frac{M_{c.m.}}{i \cdot \eta_{п}} = \frac{7865,4}{200 \cdot 0,82} = 47,9 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (1.4)$$

где: $M_{c.m.}$ – момент сопротивления производственного механизма; i – передаточное число кинематической цепи (редуктора); $\eta_{п}$ – КПД передачи

$$M_{c.m.} = r \cdot F = r \cdot (m_{тр} + m_k) \cdot g = 0,2 \cdot (4000 + 13) \cdot 9,8 = 7865,4 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (1.5)$$

где: r – радиус колеса; $m_{тр}$ – масса трубы; m_k – масса колеса.

Так как механизм имеет две пары колес, то вес трубы необходимо поделить на два.

При наличии вращающихся частей, обладающих моментами инерции и угловыми скоростями, приведенный момент инерции определяется по формуле (1.6):

$$J = J_d + J_1 \frac{w_1}{w_d} + J_2 \frac{w_2}{w_d} + J_3 \frac{w_3}{w_d} = \quad (1.6)$$

$$= 0,01 + 0,011 \frac{148}{148} + 0,01 \frac{90}{148} + 0,001 \frac{0,13}{148} = 0,027 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$

$$J_3 = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = \frac{\pi(0,4^4 - 0,066^4)}{64} = 0,001 \text{ кг}\cdot\text{м}^2 \quad (1.7)$$

Также необходимо рассчитать предварительную мощность двигателя по формуле (1.8). При расчете мощности двигателя для кратковременного и повторно-кратковременного режимов мощность определяется теми же методами, что и при длительном режиме работы, но с учетом времени работы

при кратковременном режиме и относительной продолжительности включения при повторно-кратковременном режиме. При этом следует иметь в виду, что если расчетная величина продолжительности включения повторно-кратковременного режима отличается от стандартной, то двигатель выбирается по ее ближайшему стандартному значению.

$$P = 1.2 \cdot M_{\max} \cdot w \cdot ПВ = 1.2 \cdot 47,9 \cdot 148 \cdot 0.352 = 2,9 \text{ кВт} \quad (1.8)$$

$$ПВ\% = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100\% = \frac{24}{24 + 44} \cdot 100\% = 35,2\% \quad (1.9)$$

Для привода вращения трубы условия эксплуатации следующие:

- УЗ – с умеренным климатом в закрытом помещении с естественной вентиляцией;
- Степень защиты IP54 .

В соответствии с ранее определенным типом приводного электродвигателя с учетом его степени защиты производится предварительный выбор приводного электродвигателя.

При этом должны соблюдаться условия выбора:

$$w_n \geq w \quad (1.20)$$

$$148 \geq 104 \quad (1.11)$$

Где w_n и w соответственно номинальная угловая скорость, выбранного двигателя и угловая скорость приводного механизма, определяемая тахограммой.

$$P_n \geq P_{\text{экв}} \quad (1.32)$$

$$P_{\text{экв}} = P_{\text{дв}} \sqrt{\frac{ПВ_{\text{рассч}}}{ПВ_{\text{ст}}}} = 2,9 \sqrt{\frac{37,5}{20}} = 3,8 \quad (1.43)$$

$$2,9 \text{ кВт} \leq 3,8 \text{ кВт} \quad (1.54)$$

Исходя из расчетов, представленных выше, предварительно выбранный двигатель должен иметь параметры, сведенные в таблицу 1.2.

Таблица 1.2. Данные для предварительного выбора двигателя

| | |
|-------------------------------|------------------------------|
| Номинальная скорость, об/мин. | 1000 |
| Тип электродвигателя | Асинхронный, трехфазный |
| Напряжение питания, В. | 380 |
| Мощность двигателя, кВт. | 3 |
| Условия работы двигателя | УЗ |
| Номинальный режим работы | S3- повторно-кратковременный |

По таблице 1.2 предварительно был выбран двигатель АИР 100S4. Данные о двигателе приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3. Данные о двигателе АИР 100S4

| | |
|------------------------------------|------------------------|
| Номинальная мощность | 3 кВт |
| Фактические обороты выходного вала | 1420 об/мин |
| КПД | 82 % |
| Номинальный ток | 7,3 А |
| Пусковой ток | 40,15 А |
| Номинальный крутящий момент | 18,6 Н·м |
| Пусковой момент | 45 Н·м |
| Максимальный момент | 50 Н·м |
| Момент инерции | 0,01 кг·м ² |
| Масса | 21 |

На рисунке 1.8 представлен двигатель АИР100S4.



Рисунок 1.8. Двигатель АИР100 S4

Предварительно выбранный двигатель подходит по номинальному напряжению, скорость вращения вала двигателя соответствует требованию к скорости перемещения колеса, климатическое исполнение УЗ, степень защиты IP54. По всем параметрам двигатель подходит.

Располагая графиком суммарного момента (с учетом динамических моментов), можно произвести проверку двигателя по нагреву методом эквивалентного момента. Эквивалентный момент в общем случае определяется по формуле (1.11):

$$M_э = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 \cdot t_i}{\alpha(\sum t_{II} + \sum t_T) + \sum t_y + \beta \sum t_0}} = \sqrt{\frac{7727,52}{24}} = 17,9 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (1.65)$$

Здесь α и β – коэффициенты, учитывающие ухудшение охлаждения двигателя соответственно при пуске (торможении) и остановке.

$$M_H = 18,6 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (1.76)$$

$$M_H > M_э \quad (1.87)$$

$$18,6 > 17,9 \quad (1.98)$$

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

1.6 Выбор основного силового оборудования

На рисунке 1.9 представлена упрощенная схема силового оборудования.

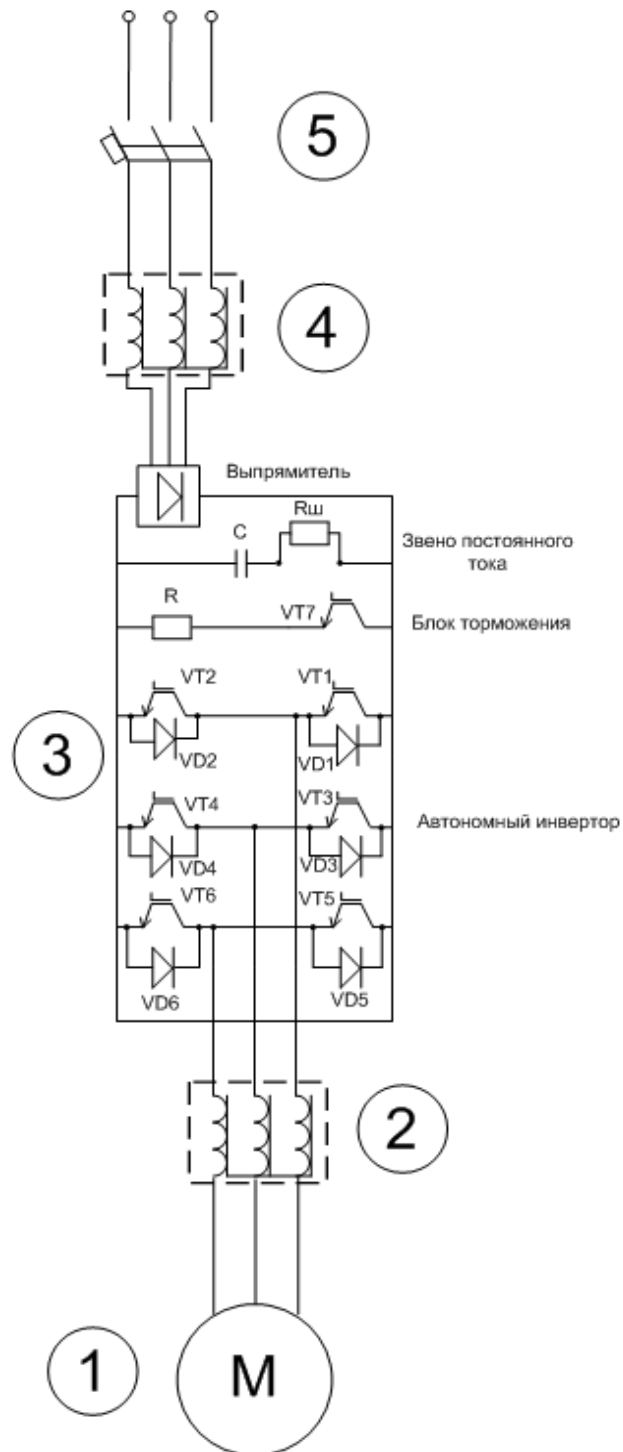


Рисунок 1.9. Схема силового оборудования

1 - двигатель; 2 - выходной дроссель; 3 – преобразователь частоты; 4 – коммутационный дроссель; 5 – автоматический выключатель.

Инвертор выполнен на основе управляемых транзисторов.

Благодаря емкости и обратным диодам при работе автономному инвертору напряжения на активно-индуктивную нагрузку, к числу которой относится асинхронный двигатель, обеспечивается обмен реактивной энергией между двигателем и звеном постоянного тока. Они обеспечивают непрерывность цепи тока в обмотках двигателя при отключении их от источника питания в процессе коммутации и возврате запасенной энергии в конденсатор.

При отсутствии реверсивного, управляемого выпрямителя для обеспечения режима динамического торможения, устанавливается узел сброса энергии на основе ключа и силового резистора. При превышении допустимого напряжения ключ открывается и обеспечивается разряд конденсатора на резистор.

Эффективность работы оборудования, правильность его использования, даже ресурс мотора будет зависеть от верного выбора частотного преобразователя. В процессе поиска, следует учитывать следующие параметры работы подключаемого механизма:

- мощность;
- тип электродвигателя;
- диапазон регулировки вращательной скорости (точность регулирования).

$$I_{\max}^{\text{дв}} = 7,3 \text{ А} < I_{\max}^{\text{пч}}; \quad (1.109)$$

$$P_{\text{дв}} = 3 \text{ кВт} < P_{\max}^{\text{пч}}. \quad (1.20)$$

Данным условиям удовлетворяет преобразователь частоты Siemens ATV 320. К его особенностям можно отнести бесшумную работу двигателя благодаря высокой частоте ШИМ и полную защиту двигателя и преобразователя. Характеристики силового оборудования и защитных устройств приведены в таблице 1.4.



Рисунок 1.10. ПЧ ATV320

1.7 Защита привода, расчёт уставок защитных устройств

В случаях возникновения в цепи двигателя токов короткого замыкания аппараты защиты должны оборвать цепь. Для обеспечения своевременного обрыва цепи установим в цепь автоматический выключатель. Выбор автоматического выключателя сводится к следующим условиям:

$$\frac{I_{\text{НОМ}}}{K_T} \leq I_{\text{НОМ}}^{\text{расц}}, \quad (1.21)$$

$$I_{\text{ПУСК}} \cdot K_N \leq I_{\text{МГН}}^{\text{расц}}. \quad (1.22)$$

Где $I_{\text{НОМ}} = 7,3 \text{ А}$ – номинальный ток двигателя; $I_{\text{НОМ}}^{\text{расц}}$ – номинальный ток автоматического выключателя; $K_T = 0,95$ – температурный коэффициент; $I_{\text{ПУСК}} = 40,15 \text{ А}$ – пусковой ток двигателя; $K_N = 1,4$ – коэффициент надежности; $I_{\text{МГН}}^{\text{расц}}$ – мгновенный ток автоматического выключателя.

Выберем автоматический выключатель Siemens фирмы со следующими параметрами $I_{\text{НОМ}}^{\text{расц}} = 8 \text{ А}$ и $I_{\text{МГН}}^{\text{расц}} = 104 \text{ А}$. Подставим значения токов в формулы (1.15) и (1.16) для проверки:

$$\frac{7,3}{0,95} = 7,6 \leq 8 \quad (1.23)$$

$$40.15 \cdot 1.4 = 56,21 \leq 104 \quad (1.24)$$



Рисунок 1.11. Автоматический выключатель Siemens

В качестве выходного фильтра используется синус фильтр, состоящий из катушек индуктивностей. Фильтр хорошо сглаживает выходные токи, формируя практически правильные синусоиды, устраняет высшие гармоники ток (помехи), наводимые ШИМ. Также ограничивает нарастание напряжения, подводимого к двигателю.

На выходе преобразователя частоты установлены сетевой дроссель. Сетевой дроссель является двусторонним буфером между сетью и частотным преобразователем. Он устраняет помехи (высшие гармоники), существенно снижает скорость нарастания токов КЗ, а также защищает преобразователь частоты от провалов напряжения со стороны цепи.

Для обеспечения качественной работы и безопасности всей системы принято использовать тормозной резистор. При переводе двигателя в генераторный режим энергия возвращается в звено постоянного тока преобразователя через обратные диоды транзисторного инвертора, заряжая конденсаторы силового фильтра до напряжения, запирающего диоды

силового выпрямителя. При превышении напряжения звена постоянного тока до уровня около 750В большинство промышленных преобразователей либо включают тормозной режим, либо отключаются и переходят в режим аварии.

Обеспечить стабильный темп торможения можно посредством замены диодного выпрямителя на транзисторный (активный выпрямитель) или же посредством применения тормозного (сливного) сопротивления.

За коммутацию цепей тормозного сопротивления отвечает специальный тормозной ключ, который встраивается в большинство современных промышленных преобразователей. При включении тормозного ключа тормозной резистор разряжает конденсаторы звена постоянного тока и рассеивает избыточную энергию торможения.

Блоки торможения используются как при редких и кратковременных торможениях механизма, например, при аварийном торможении, так и при длительном торможении.

Так же для более качественной работы преобразователя частоты потребуются сетевые дроссели. Сетевые дроссели создают ряд преимуществ.

Подавление высших гармоник, проникающих в питающую сеть от преобразователя частоты и обратно. Обычно в состав ПЧ входит частотный фильтр, снижающий данные наводки. Подключение сетевого дросселя создает дополнительное подавление высокочастотных помех. В результате уровень высших гармоник питающего напряжения в значительной степени уменьшается, а действующее значение питающего тока стремится к величине тока основной гармоники.

В случае, когда источник питания расположен близко, и сопротивление питающей линии очень низкое, использование сетевого дросселя позволяет значительно уменьшить ток короткого замыкания и увеличить время его нарастания. Это позволяет защитить ПЧ при коротких замыканиях на выходе.

Если на одной шине питания расположены несколько мощных устройств, возможны ситуации, когда при их включении или выключении возникает скачок напряжения с большой скоростью нарастания. Сетевой дроссель значительно понижает этот эффект.

Также были выбраны тормозной резистор и три предохранителя для защиты всей установки, которые выбирались по максимальному току частотного преобразователя. Все характеристики силового оборудования и защитных устройств приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4. Оборудование для привода вращения трубы

| Обозначение | Количество | Производитель | Характеристики |
|--------------------------------------|------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Коммутационный дроссель | 1 | Siemens | 22 А 1 мГн |
| Выходной дроссель | 1 | Schaffner | $I_H = 24$ А $L = 0.245$ мГн $P = 11$ кВт |
| Предохранитель быстродействующий | 3 | Siemens | $I = 32$ А $U_H = 690$ В |
| Резистор тормозной | 1 | Siemens | $U = 900$ В $P = 0,65$ кВт $R = 56$ Ом |
| Преобразователь частотнорегулируемый | 1 | Schneider Electric | $U = 380-480$ В $P = 7,5$ кВт $I_{ВХ} = 22$ А $I_{ВЫХ} = 18,4$ А |
| Выключатель автоматический силовой | 3 | Siemens | $I_{ср} = 5,5...8$ А $I_M = 104$ А |

Таким образом выбранное оборудование полностью соответствует рассматриваемому электроприводу и предъявляемые требования к приводу выполняются.

Был выбран двигатель АИР100S4 имеющий повторно-кратковременный режим работы. двигатель подходит по номинальному напряжению, скорость вращения вала двигателя соответствует требованию к скорости перемещения колеса, климатическое исполнение У3, степень защиты IP54.

Коммутационный и выходной дроссели предназначены для снижения скорости нарастания сигнала тока на выходе преобразователя частоты. На рисунке 1.12 представлен дроссель.

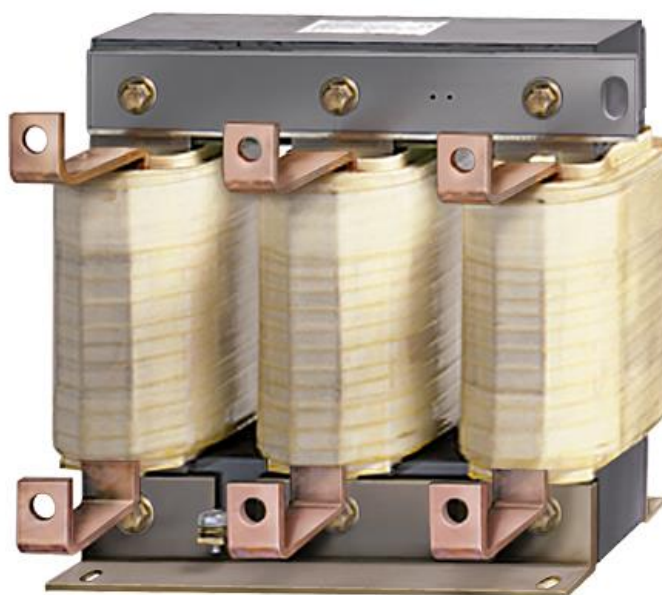


Рисунок 1.12. Коммутационный дроссель

Три быстродействующих предохранителя находятся в составе автомата, для защиты всей установки, которые выбирались по номинальному току преобразователя частоты.

На рисунке 1.13 представлен выбранный автоматический силовой выключатель Siemens.



Рисунок 1.13. Автоматический силовой выключатель Siemens

Автоматический выключатель — коммутационный аппарат, способный включать токи, проводить их и отключать при нормальных условиях в цепи, и автоматически при нормированных ненормальных условиях в цепи, таких как токи короткого замыкания.

2 РАЗРАБОТКА САУ

2.1 Разработка архитектуры системы автоматизации

Автоматизированная система направлена на выполнение управляющей и информационно-вычислительной функций. Одна из них выполняет регулировку конкретных процессов производства и технологических координат. Вторая же функция, это считывание, входной анализ и хранение информации, отображение на экранах и диагностика работоспособности участков, агрегатов или отдельно взятого оборудования, так же отслеживание связи между разными уровнями автоматизации.

Системы автоматизации разделяются на пять уровней:

L4 – Уровень планирования;

L3 – Уровень управления производства;

L2 – Уровень диспетчерского-операторского управления;

L1 – Уровень управления;

L0 – Полевой уровень.

(L0) Нижний уровень системы составляют датчики, устройства измерения параметров, приводы и исполнительные устройства, установленные на технологическом оборудовании и необходимые для сбора первичной информации и реализации исполнительных воздействий. Этот уровень называют уровнем ввода-вывода или полевым уровнем.

(L1) Следующий уровень системы – программируемые контроллеры. Они выполняют работу непосредственного управления над технологическими процессами. Управление осуществляется по определенным алгоритмам, составленным заранее, путем обработки данных о состоянии технологических параметров, полученных посредством измерительных приборов и последующей обработке.. Этот уровень получил наименование уровня непосредственного управления.

(L2) Сервера технологических данных и автоматизированные рабочие места операторов технологического оборудования образуют так называемую SCADA-систему, верхний уровень. Основными функциями SCADA-системы являются: сбор, обработка, накопление информации о параметрах технологического процесса и состоянии оборудования от промышленных контроллеров и других цифровых устройств, связанных с технологической аппаратурой, отображение информации о текущих параметрах процесса, отображение графиков текущих значений, операторское управление технологическим процессом, обнаружение критических (аварийных ситуаций), вывод на экраны операторов технологических и аварийных сообщений.

(L3) Уровень является системой управления производством. Позволяет управлять производственными и людскими ресурсами в ходе технологического процесса, управлять качеством продукции, следить за работоспособностью оборудования.

(L4) Уровень является системой планирования и управления ресурсами предприятия. На этом уровне используются системы позволяющие обрабатывать и структурировать полную информацию о всем производстве и осуществлять планирование ресурсов.

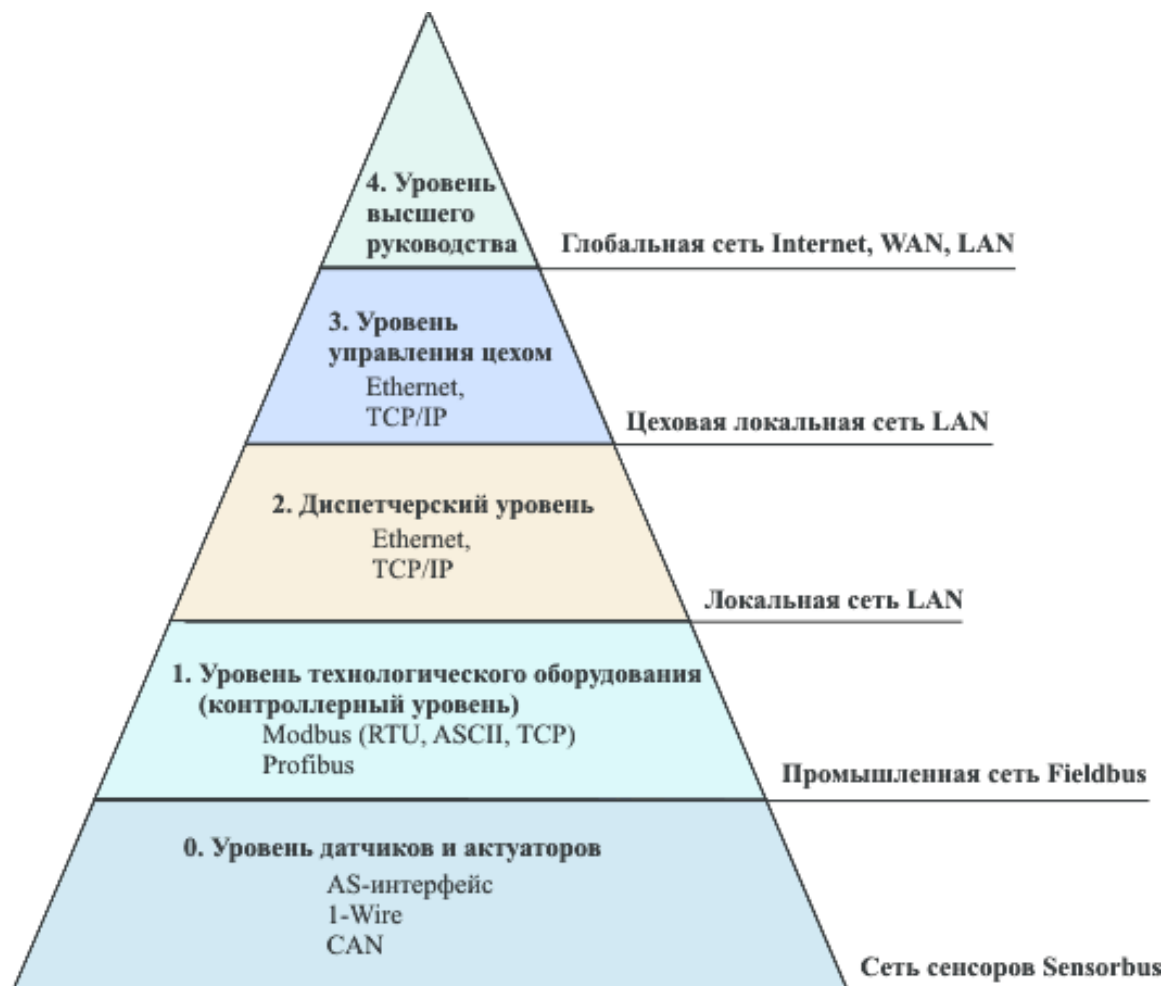
На нижнем уровне L0 расположены: двигатель АИР100S4 с преобразователем частоты, энкодер Siemens .

На уровне L1 расположен контроллер S7300 с модульной системой ввода/вывода SM335. В задачи контроллера входит сбор данных с датчиков и формирование на основании этого сигналов задания.

На уровне L2 расположен терминал оператора ET200M для управления системой автоматизации. Заданным терминалом происходит непосредственное управление системой и настройка в соответствии с техническим заданием.

Датчики и частотный преобразователь взаимодействуют между собой по сети Profinet. Контроллер, терминал оператора, и подстанция настройки соединены между собой с помощью Profinet.

На рисунке (2.1) изображен пример архитектуры САУ



Рисунке 2.1. Уровни иерархии современной САУ

2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат

Исходя из требований оборудования, был выбран контроллер S7300 315-2 PN/DP. Выбор данного контроллера обоснован тем, что нет необходимости в затратах на время и средства для обучения рабочего персонала, так как на предприятии данный вид оборудования присутствует, каждый элемент САУ будет иметь интерфейс Profinet.

Внешний вид контроллера представлен на рисунке 2.1.



Рисунок 2.2. Контроллер S7-300

Основные характеристики контроллера приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Характеристики контроллера

| Параметр | Значение |
|----------------------------------|-----------------|
| Максимум цифровых входов/выходов | 1024 |
| Оперативная память, КБ | 256 |
| Емкость памяти хранения, МБ. | 8 |
| Скорость опроса модулей, с. | 0,1 |
| Интерфейсы | MPI/DP+PROFINET |

Для регулирования привода по положению и скорости необходимо подобрать энкодер. Для данной мехатронной системы был выбран абсолютный энкодер Siemens 6FX2001-5QN25 так как:

Поддерживается протокол Profinet, соответственно есть возможность подключения к контроллеру без дополнительных периферийных устройств.

Технические данные энкодера приведены в таблице 2.2.

На рисунке 2.3 изображен выбранный энкодер.



Рисунок 2.3. Энкодер Siemens

Таблица 2.2. Характеристики энкодера

| Параметр | Значение |
|------------------------------|--------------|
| Электр. скорость, допустимая | 1500 об/мин |
| Мех. скорость макс. | 12000 об/мин |
| Поддерживаемый интерфейс | Profinet |
| Напряжение питание, В. | 10...30 |

2.3 Выбор и разработка функциональной схемы САР привода проектируемого агрегата

Как правило, функциональная схема выполняется на одном чертеже, где изображается оборудование всей системы контроля, регулирования, управления и сигнализации, которые относятся к данной технологической установке. Архитектура автоматизации механизма поворота трубы представлена на рисунке 2.4.

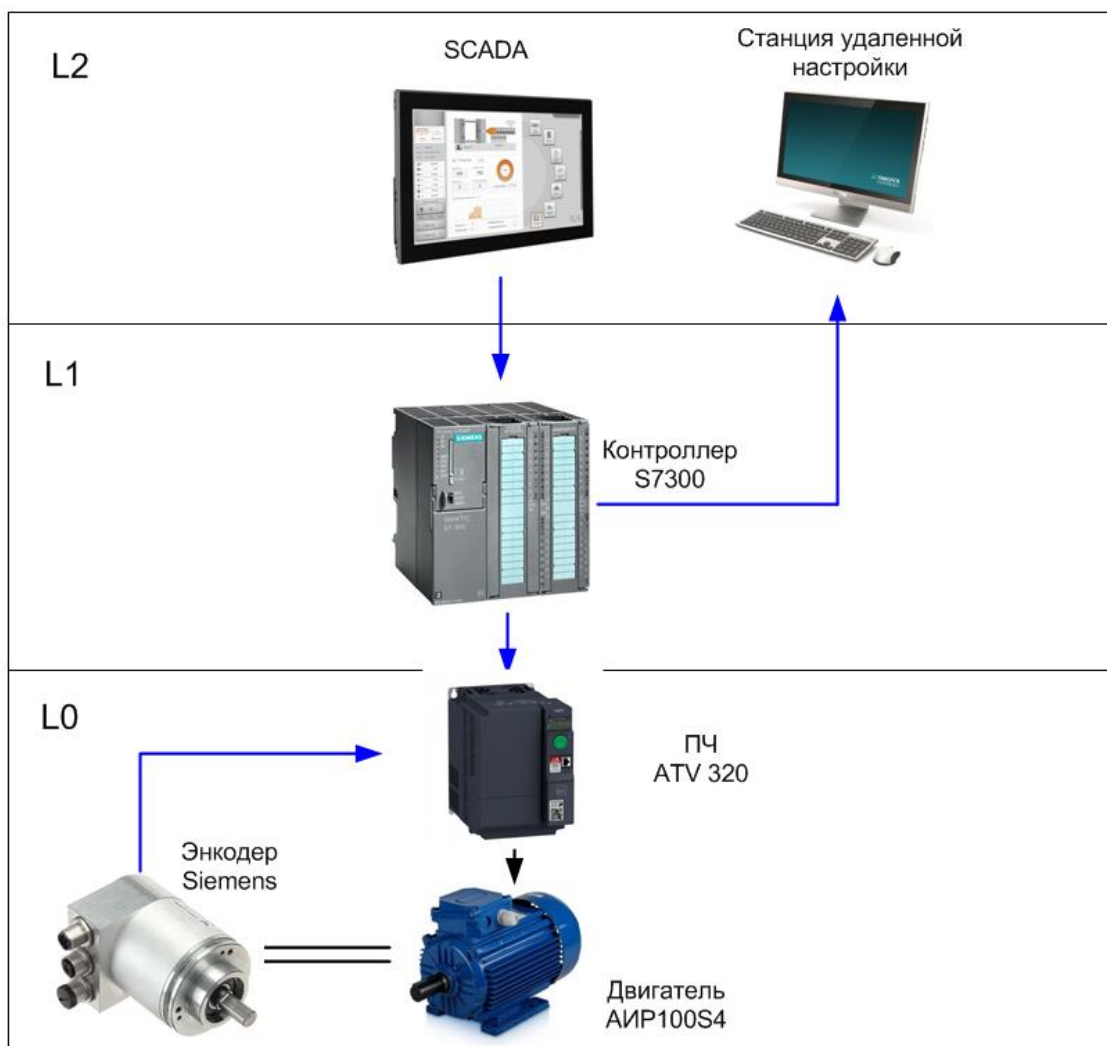


Рисунок 2.4. Архитектура автоматизации

Синими линиями обозначены кабели для протокола Profinet. Черными линиями обозначены силовые кабели. Система безопасности в данной работе не рассматривается, но является неотъемлемой частью механизма. Контроллер должен отслеживать работу датчиков, иметь возможность обмена данными с другими контролерами. Они так же не рассматриваются в данной выпускной квалификационной работе, но учитываются при задании требований к приводам и автоматике, для правильного исполнения технологического процесса.

На рисунке 2.5 изображена функциональная схема системы автоматического регулирования (САР) положения колеса вращения. Схема разделена на системы, которые соответствуют определенным составляющим.

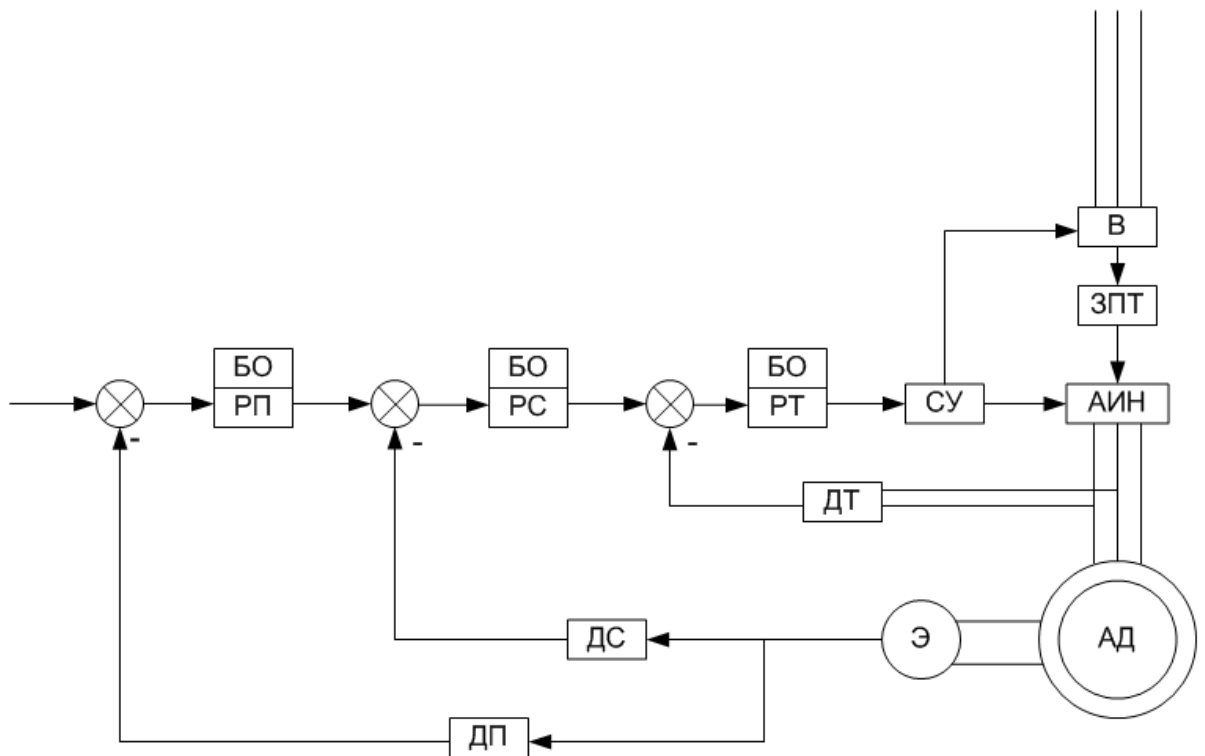


Рисунок 2.5. Функциональная схема САР

Где: БО – блок ограничения; ДТ – датчик тока; ДС – датчик скорости; ДП – датчик положения; АД – асинхронный двигатель; РТ – регулятор тока; РС – регулятор скорости; РП – регулятор положения; Э – энкодер; В – выпрямитель; ЗПТ – звено постоянного тока; АИН – автономный инвертор напряжения; СУ – система управления.

Таким образом сигнал задания на положение приходит на регулятор положения. Блок ограничения необходим для исключения аварийной ситуации. Далее сигнал поступает в регулятор скорости. Блок ограничения скорости также ограничивает максимальную скорость вращения двигателя для предотвращения аварийных ситуаций. Также в регуляторе скорости заложен задатчик интенсивности, который ограничивает рывки двигателя, и формирует ускорения согласно принципу работы механизма. Далее сигнал поступает на регулятор тока. Обратная связь по положению и скорости берутся с энкодера. Обратная связь по току реализована с помощью датчика тока. Сигнал с регулятора тока приходит в систему управления частотным

преобразователем. Эта систему управления выдает сигналы на активный выпрямитель и автономный инвертор напряжения.

2.4 Разработка контура регулирования технологических координат

Технологический процесс реконструируемого агрегата требует регулирование скорости и положения. В соответствии с этим будет 2 контура регулирования: внутренний контур скорости и внешний контур положения.

Оптимизированный контур момента будет представлен в виде апериодического звена в составе контура скорости. Для реализации такой двухконтурной системы необходимо 2 регулятора:

1. П-регулятор скорости, так как система при данном регуляторе является более устойчивой по сравнению с системой, где используется ПИ-регулятор. Так как при ПИ-регуляторе возникает 43 % по скорости. При П-регуляторе возникает статическая ошибка по скорости, но нет таких больших моментов перерегулирования. Что удовлетворяет техническим требованиям производственного процесса;

2. Нелинейный регулятор положения, для корректной отработки малых, средних и больших перемещений.

2.5 Разработка структурной схемы САУ и моделирования типовых режимов работы привода

Контур регулирования момента будет рассматриваться как готовый оптимизированный контур момента (ОКМ). Оптимизированный контур момента можно представить в виде апериодического звена первого порядка с передаточной функцией:

$$W_{\text{окм}} = \frac{1 / k_{\text{ом}}}{2T_{\mu}p + 1}, \quad (2.11)$$

где: $T_{\mu} = 0,005$ с – постоянная времени частотного преобразователя; $k_{ом}$ – коэффициент обратной связи по моменту.

Коэффициент $k_{ом}$ находится по следующей формуле:

$$k_{ом} = \frac{U_{мс}}{M_M}, \quad (2.2)$$

где: $U_{мс} = 10$ В – максимальный сигнал задания; $M_M = 50$ Н * м – максимальный момент двигателя.

$$k_{ом} = \frac{10}{50} = 0.2; \quad (2.3)$$

$$W_{окм} = \frac{1 / 0.2}{2 \cdot 0.005p + 1} = \frac{5}{0.01p + 1}. \quad (2.4)$$

Передаточная функция звена механической части:

$$W_M(p) = \frac{1}{J_{\Sigma} p}. \quad (2.5)$$

Таким образом передаточная функция звена механической части для рассчитанного выше двигателя:

$$W_M(p) = \frac{1}{0.01p}. \quad (2.6)$$

Передаточная функция П-регулятора скорости, настроенного на симметричный оптимум имеет следующий вид:

$$W_{рс}(p) = k_{рс} \quad (2.7)$$

Коэффициент $k_{рс}$ определяется выражением:

$$k_{рс} = \frac{J_{\Sigma}}{4T_{\mu}k_{ос} \frac{1}{k_{ом}}}. \quad (2.8)$$

Коэффициент обратной связи по скорости $k_{ос}$ определяется формулой:

$$k_{ос} = \frac{U_{мс}}{\omega_M}, \quad (2.9)$$

где: $U_{мс} = 10$ В – максимальный сигнал задания; $\omega_M = 104$ рад/с – максимальная скорость двигателя в течении цикла.

$$k_{ос} = \frac{10}{104} = 0.0961$$

(2.10)

Таким образом коэффициент для П-регулятора будет равен:

$$k_{pc} = \frac{0.01}{4 \cdot 0.005 \cdot 0.0961 \cdot \frac{1}{0.2}} = 1,04. \quad (2.11)$$

Тогда функция П-регулятора будет иметь вид:

$$W_{pc}(p) = 1,04. \quad (2.12)$$

Для преобразования угловой скорости двигателя на выходе контура скорости в скорость рабочего органа, для отслеживания его перемещения необходимо следующие звено:

$$k_i = \frac{1}{i} = \frac{1}{200} = 0.005, \quad (2.13)$$

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:

$$k_{оп} = \frac{U_{зп\max}}{\varphi_{дв\max}}, \quad (2.14)$$

где $\varphi_{дв\max}$ – номинальное перемещение третьей оси, равно 6,28 радиан.

$$K_{оп} = \frac{10}{6.28} = 1.59. \quad (2.15)$$

Далее необходимо рассчитать регулятор положения. Для этого необходимо определить границы малых, средних и больших перемещений. Принцип работы нелинейного регулятора положения представлен на рисунке 2.5, где: $\Delta U_{п}$ - это сигнал на входе регулятора положения; $U_{зс}$ - сигнал задания скорости. Данное звено необходимо для решения двух основных задач во первых задание максимального разгона для того, что бы технологический процесс выполнялся во время, во вторых для плавного замедления, для обеспечения правильной остановки по положению.

I – Область малых перемещений: $U_{3C} = K_{рпм} \cdot \Delta U_{П}$

II – Область средних перемещений: $U_{3C} = K_{рпс} \cdot \sqrt{\Delta U_{П}}$

III – Область больших перемещений $U_{3C} = U_{3Cmax}$

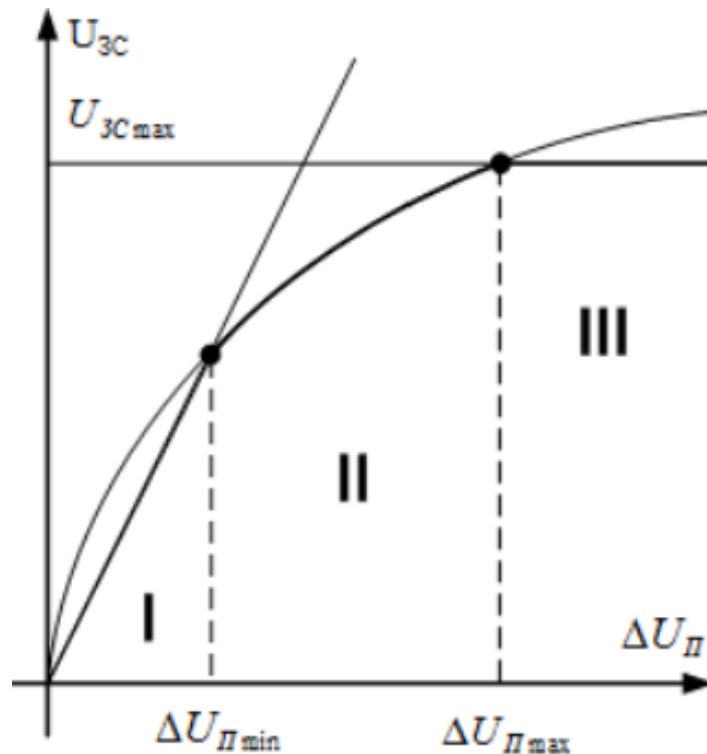


Рисунок 2.6. Зависимость выходного сигнала РП от входного

Для нелинейного регулятора положения необходимо определить границы малых, средних и больших перемещений $\Delta U_{Пмин}$ и $\Delta U_{Пmax}$:

$$\Delta U_{Пmax} = \frac{\omega_{НОМ}^2 k_{и} k_{оп}}{2\varepsilon_{max}} \quad (2.16)$$

$$\Delta U_{Пmax} = \frac{\omega_{НОМ}^2 k_{и} k_{оп}}{2\varepsilon_{max}} \quad (2.17)$$

Максимальная ускорение $\varepsilon_{max} = 72$ рад/с². Коэффициенты $K_{оп}$ и $K_{и}$ определены, тогда:

$$\Delta U_{Пмин} = 2 \cdot 72 \cdot 0.005 \cdot 1.59 \cdot (16 \cdot 0.005)^2 = 0,0073 \quad (2.18)$$

$$\Delta U_{Пmax} = \frac{104^2 \cdot 0.005 \cdot 1.59}{2 \cdot 72} = 0,597 \quad (2.19)$$

Для области малых перемещений коэффициент регулятора $K_{рпм}$ вычисляется по формуле.

$$K_{рпм} = \frac{K_{ос}}{16T_{\mu}K_{оп} \cdot K_{и}} \quad (2.20)$$

Таким образом коэффициент для малых перемещений будет равен:

$$K_{рпм} = \frac{0.0961}{16 \cdot 0.005 \cdot 1.59 \cdot 0.005} = 151,1 \quad (2.21)$$

Для области средних перемещений коэффициент регулятора $K_{рпс}$:

$$K_{рпс} = K_{ос} \sqrt{\frac{2\varepsilon_{\max}}{k_{и}k_{оп}}}. \quad (2.22)$$

Следуя формуле 2.22 получаем:

$$K_{рпс} = 0.0961 \sqrt{\frac{2 \cdot 72}{0,005 \cdot 1,59}} = 0.0961 \cdot 134,6 = 12,9 \quad (2.23)$$

В области больших перемещений выдается максимальный сигнал.

После регулятора положения необходим задатчик интенсивности, так как на вход будет подаваться ступенчатый сигнал. Задатчик интенсивности реализуется в виде последовательно соединенных функций: знака (Sign) и интегратора, замкнутых единичной обратной отрицательной связью. Интегратор имеет следующую передаточную функцию:

$$W_{зи}(p) = \frac{1}{T_{зи}p}, \quad (2.24)$$

где $T_{зи}$ – постоянная времени задатчика интенсивности, определяющая интенсивность, с которой будет формироваться выходной сигнал.

$T_{зи}$ определяется по следующей формуле:

$$T_{зи} = \frac{U_0}{\varepsilon K_{ос}}, \quad (2.25)$$

где $U_0 = 1$ – напряжение ограничения, так как перед интегратором блок Sign.

Задатчик интенсивности по формуле 2.25:

$$T_{зи} = \frac{U_0}{\varepsilon K_{ос}} = \frac{1}{72 \cdot 0.09} = 0.154 \quad (2.26)$$

Исходя из расчётов выше интегратор будет иметь вид:

$$W_{зи}(p) = \frac{1}{0.154p} = \frac{6,49}{p}. \quad (2.27)$$

Так как в момент торможения двигателя отрабатывает регулятор положения, задатчик интенсивности необходимо отключать, так как в

момент торможения замедление сигнала с регулятора положения является недопустимым.

Структура задатчика интенсивности приведена на рисунке 2.7.

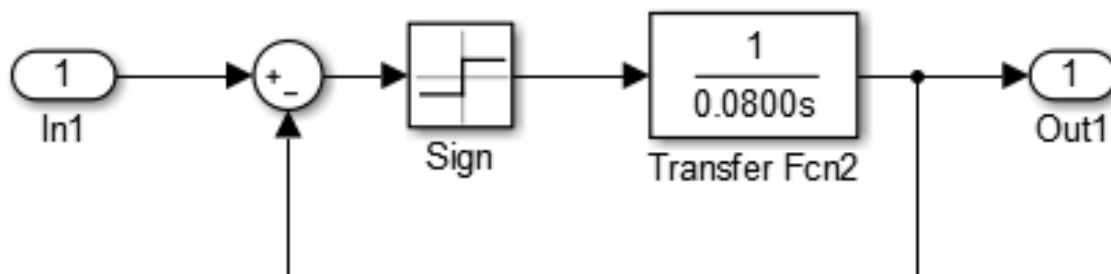


Рисунок 2.7. Структура задатчика интенсивности

Блок Sign задает точность задатчика интенсивности. Чем меньше величина в блоке Sign, тем точнее задатчик интенсивности обрабатывает. Для проектируемой САУ точность, которая обеспечивается блоком Sign является достаточной.

Также необходимо построить нелинейный регулятор положения. Структура регулятора положения представлена на рисунке 2.8.

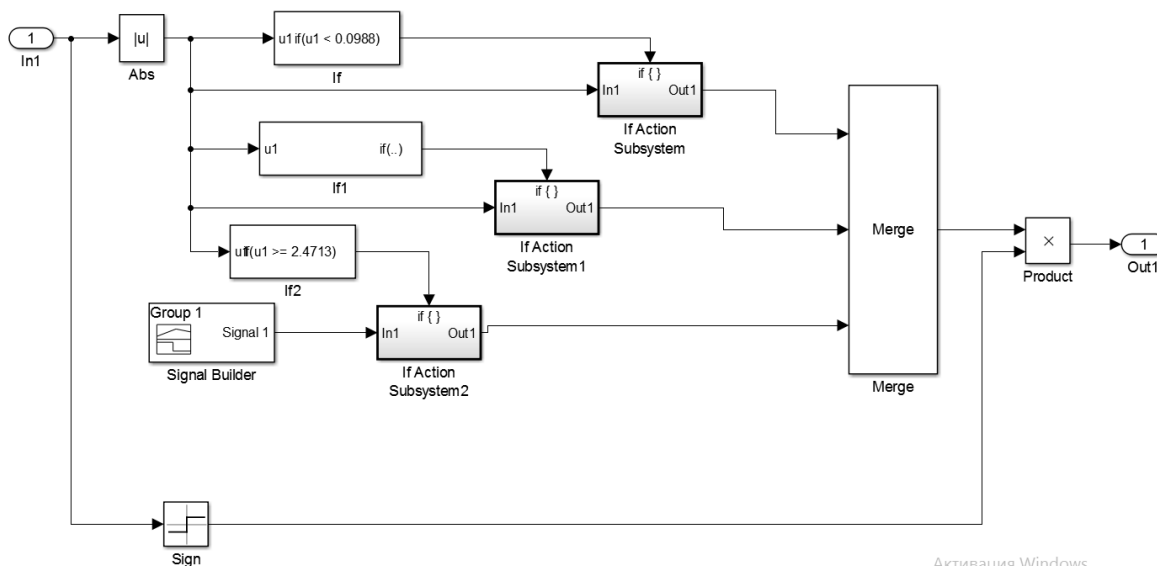


Рисунок 2.8. Структура регулятора положения

Ошибка регулирования по положению приходит в регулятор положения. Величина ошибки берётся по модулю, и если эта величина этой ошибки меньше границы малых перемещений, то обрабатывает блок малых перемещений, если величина ошибки положения попадает в область средних, то обрабатывает блок средних перемещений и аналогично с режимом больших перемещений. Блок merge пропускает через себя 1 из 3 вариантов обработки перемещений. Далее сигнал умножается на входную величину, пройденную через блок Sign. Если сигнал положительный, то блок Sign выдаст 1 и умножение на 1 даст тот же самый результат. Если ошибка по положению отрицательная (обратное перемещение) то блок Sign выдаст -1 и сигнал с регулятора положения будет отрицательным, что и является необходимым условием для перемещения в обратную сторону.

Блоки If необходимы для логической активации блока обработки перемещений в зависимости от входного сигнала. Например, 1 блок If активирует обработку малых перемещений, если сигнал задания меньше 0.01. Аналогичная со всеми остальными блоками If.

На основе всего выше сказанного необходимо составить структурную схему САУ.

Структурная схема представлена на рисунке 2.9.

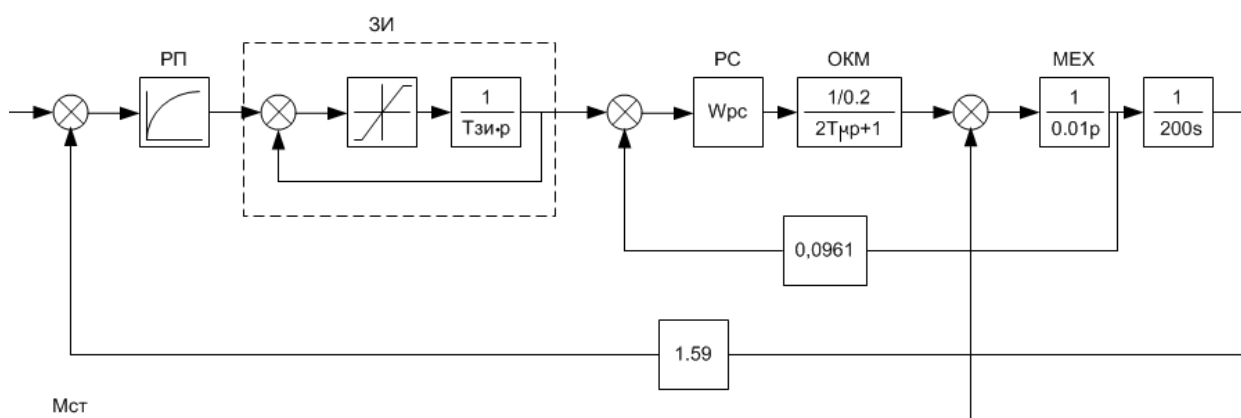


Рисунок 2.9. Структурная схема

Где:

- РП – регулятор положения;
- БО – блок ограничения;
- БП – блок переключения;
- ЗИ – задатчик интенсивности;
- РС – регулятор скорости;
- ОКМ– оптимизированный контур момента;
- МЕХ – механическая часть двигателя;

На основе спроектированной структурной схемы, приведенная будет спроектирована математическая модель, приведенная на рисунке 2.10, в среде моделирования Matlab. Данная среда позволяет получить графики переходных процессов не на реальном оборудовании а на модели.

Также это дает значительные плюсы при проверке оборудования, так как при проектировании в реальной жизни, могут быть допущены ошибки и, в итоге, можно потерять часть своего оборудования.

Далее рассчитанные модели момента, работы двигателя и коэффициенты заносятся в соответствующие блоки.

С помощью блока Scope (осциллограф), снимается график переходных процессов. Графики момента и угловой скорости должны примерно быть одинаковыми с изначальными рисунками нагрузочной диаграммы двигателя и графиком угловой скорости. График перемещения должен быть построен автоматически.

Графики переходных процессов должны иметь плавные переходы и перерегулирование должно соответствовать требованиям к приводу и автоматизации.

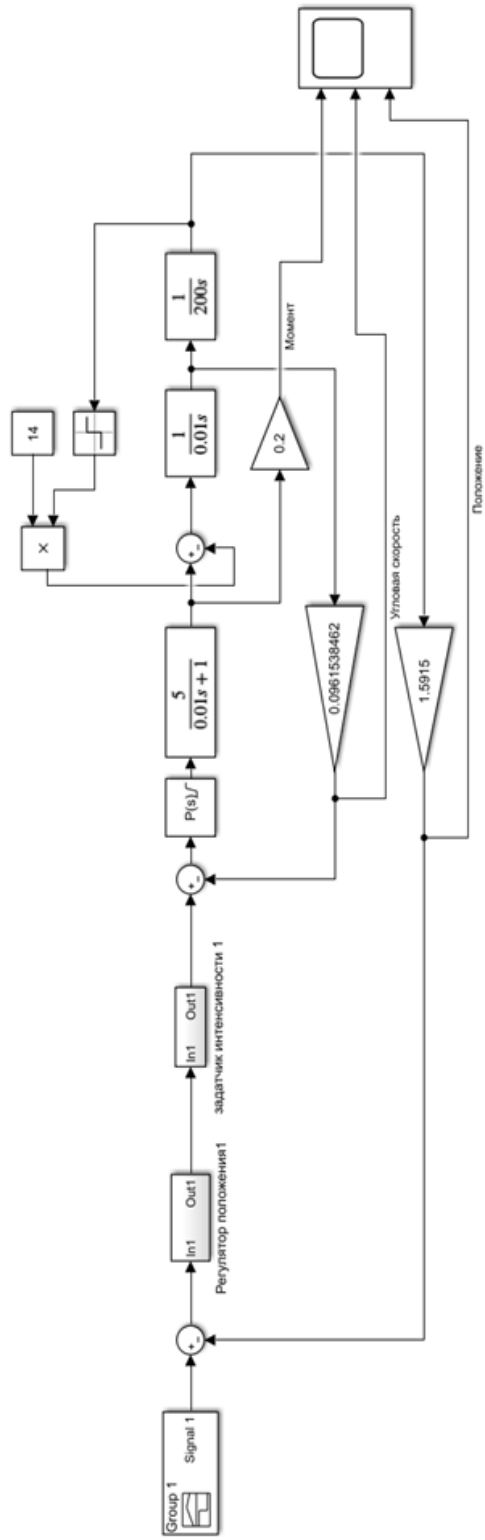


Рисунок 2.10. Математическая модель

По полученным переходным процессам, приведенным на рисунке 2.11, можно судить о правильности спроектированной модели САУ.

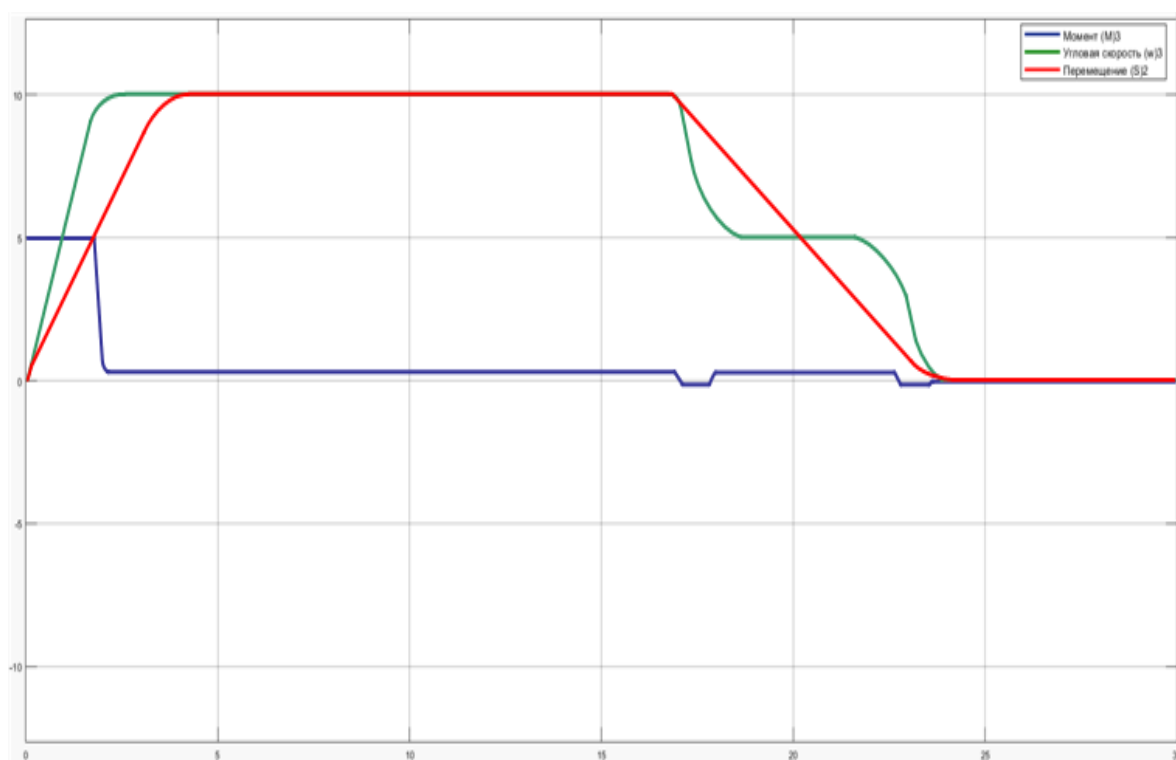


Рисунок 2.11. График переходных процессов

Судя по графику переходных процессов, можно сделать вывод что САУ механизма вращения трубы смоделирована верно.

3 РАСЧЕТ ТЕХНИЧЕСКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

3.1 Краткое описание продукции

Группа ЧТПЗ поставляет продукцию для компаний топливно-энергетического комплекса и других отраслей промышленности на внутренний и экспортный рынки: ЕС, СНГ, Северной Америки, Ближнего Востока и Северной Африки.

ЧТПЗ располагает мощностями для производства стальных труб практически всех типоразмеров. Сегодня основной продукцией компании являются:

- трубы сварные большого диаметра 530—1420 мм,
- трубы бесшовные горячедеформированные большого диаметра 245—550 мм,
- трубы бесшовные горячедеформированные малого диаметра 108—179 мм,
- трубы бесшовные холоднодеформированные 89-429 мм,
- трубы обсадные диаметром 245 –426 мм.

3.2 Расчет производственной программы

Виды и периодичность ТО и ремонта имеют прямое отношение к производственной программе. Продолжительность простоя в ТО и ремонте устанавливаются по нормативным данным или расчетным путем. При расчете коэффициента технической готовности учитываются простои подвижного состава, происходящие только за счет эксплуатационного времени.

Поэтому простои, выполняемые в межсменное время, не принимаются во внимание.

Необходимо посчитать производственную программу цеха на плановый год с учетом часовой производительности агрегата.

За базу принимается производственная программа цеха, где внедряется данное мероприятие (материалы, собранные студентом на практике).

В тех случаях, когда предлагаемое мероприятие не влияет на выпуск продукции, приводится производственная программа данного цеха с описанием порядка ее составления.

Расчет производственной программы ведется по каждому агрегату с подведением итогов по цеху. Все расчеты сводятся в типовую форму.

Для расчета производственной программы цеха необходимо определить баланс времени работы механизма вращения трубы и производительность. Баланс времени включает в себя календарное, номинальное и фактическое время работы за год. Календарное время – все время эксплуатации машины, без учета времени его ремонтов и простоев. Номинально время – это время эксплуатации машины, с учетом капитального и планово-предупредительного ремонта. Фактическое время – это время эксплуатации агрегата, с внеплановыми текущими простоями. Рассматриваемый механизм находится в эксплуатации непрерывно. Соответственно, календарное время работы T_k может быть найдено как:

$$T_k = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ ч.} \quad (3.1)$$

Номинальное время работы установки может быть определено по следующей формуле:

$$T_{\text{ном}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{КР}} - T_{\text{ППР}} - T_{\text{ВР}}, \quad (3.2)$$

где $T_{\text{КР}}$ - время, затраченное на капитальные ремонты; $T_{\text{ППР}}$ - время, затраченное на предупредительно-плановые ремонты (ППР); $T_{\text{ВР}}$ - время, затраченное на внеплановые ремонты.

Капитальный ремонт проводится 1 раз в 2 года продолжительностью в 10 суток. Тогда время КР T приходящееся на 1 год примем равным 5 дням:

$$T_{\text{КР}} = 5 \cdot 24 = 120 \text{ ч.} \quad (3.3)$$

На предупредительно плановый ремонт уходит 54 ч. в год. Внеплановые ремонты зависят от трудоемкости работы. В среднем на внеплановые ремонты уходит 2 часа в месяц, следовательно 24 часа в год.

Таким образом, номинальное время работы установки:

$$T_{\text{ном}} = 8760 - 120 - 54 - 144 = 8542 \text{ ч}; \quad (3.4)$$

Фактическое время работы определяется следующей формулой:

$$T_{\text{ф}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{пр}} \quad (3.5)$$

Время простоя оборудования при средней загрузке линии составляет 0,76 от общего времени работы.

Таким образом:

$$T_{\text{ф}} = (1 - 0,76) \cdot T_{\text{ном}} = 2055 \text{ ч}; \quad (3.6)$$

Производительность механизма вращения трубы определяется количеством труб, которое установка способна обработать.

Производительность можно рассчитать по следующей формуле:

$$P = \frac{T}{t_{\text{ц}}}, \quad (3.7)$$

где $T = 3600 \text{ с}$; $t_{\text{ц}}$ - продолжительность цикла, с.

До модернизации продолжительность цикла обработки одной трубы составляет, в среднем, 200 секунд. После модернизации возможно будет ускорить процесс обработки трубы примерно на 10 секунд за счёт улучшения быстродействия системы.

Тогда среднечасовая производительность установки:

$$P_1 = \frac{3600}{200} = 18 \text{ труб/ч}; \quad (3.8)$$

$$P_2 = \frac{3600}{195} = 18,9 \text{ труб/ч}. \quad (3.9)$$

Производственная программа цеха (производственная мощность) определяется по следующей формуле (производительность берется в т/час):

$$W_{\Gamma} = P \cdot T_{\text{ф}}.$$

(3.10)

Производственная программа цеха до и после модернизации:

$$W_{Г1} = 18 \cdot 2055 \cdot 2,3 = 85077 \text{ т/год}; \quad (3.11)$$

$$W_{Г2} = 18,9 \cdot 2055 \cdot 2,3 = 89329 \text{ т/год}. \quad (3.12)$$

После реконструкции производственная программа цеха увеличивается на 4252 тонн.

Расчёты сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1. Производственная программа

| Показатели | До реконструкции | После реконструкции |
|-----------------------------------|------------------|---------------------|
| Календарное время, ч | 8760 | 8760 |
| Капитальные ремонты, ч | 120 | 120 |
| ППР, ч | 54 | 54 |
| Внеплановые ремонты, ч | 144 | 144 |
| Номинальное время, ч | 8562 | 8562 |
| Простои, ч | 6507 | 6507 |
| Фактическое время, ч | 2055 | 2055 |
| Средняя производительность, т/ч | 18 | 18,9 |
| Производственная программа, т/год | 85077 | 89329 |

3.3 Расчет сметы капитальных затрат

Основные средства — материальные активы, которые предприятие содержит с целью использования их в процессе производства или поставки товаров, предоставления услуг, сдачи в аренду другим лицам или для осуществления административных и социально-культурных функций, ожидаемый срок полезного использования, эксплуатации, которых более одного года.

Общая величина капитальных вложений включает суммарные затраты на приобретение, транспортировку и монтаж оборудования, а также строительные работы и затраты на приобретение производственных площадей:

$$K = Цоб + Тр + Зсмп + Знр + Зпр , \quad (3.13)$$

где: Цоб – затраты на приобретение оборудования, руб.; Тр - транспортные расходы, руб.; Зсмп – затраты на монтаж, руб.; Знр – непредвиденные расходы, руб.; Зпр – затраты на прочее неучтенное оборудование, руб.

$$K = 82000 + 8200 + 12300 + 2460 + 8200 = 113160 \text{ р.} \quad (3.14)$$

Стоимость прочего неучтенного оборудования (кабели, крепления и пр.) примем в размере 10% от стоимости основного оборудования.

Затраты на монтаж Зсмп определим в размере 15% от стоимости оборудования, транспортные расходы Тр – 10%, резерв на непредвиденные расходы Знр – 3%.

Перечень приобретаемого и демонтируемого оборудования приведен в таблице 3.2.

$$Тр=82000 \cdot 0.1=8200 \text{ р.} \quad (3.15)$$

$$Зсмп=82000 \cdot 0.15=12300 \text{ р.} \quad (3.16)$$

$$Знр=82000 \cdot 0.03=2460 \text{ р.} \quad (3.17)$$

$$З_{пр} = 82000 \cdot 0.1 = 8200 \text{ р.} \quad (3.18)$$

Основным приобретаемым оборудованием является датчик компьютерного зрения, остальные вклады это расходы на транспорт, монтаж и непредвиденные расходы. Далее необходимо рассчитать РСЭО для старого оборудования и проектируемого и сравнить их. Предварительно можно сказать, что больших изменений не будет. Так как рабочие остаются на своих местах, а оборудование в основном не меняется. С учетом того, что капитальные вложения небольшие, можно предположить, что срок окупаемости будет долгим.

На рисунке 3.1. представлен датчик компьютерного зрения Siemens MV440.



Рисунке 3.1. Датчик компьютерного зрения Siemens MV440

Таблица 3.2. Перечень затрат

| Наименование оборудования | Кол-во единиц, шт | Розничная цена за единицу, руб | Общая стоимость, руб |
|-------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------|
| Приобретаемое оборудование | | | |
| Датчик компьютерного зрения Siemens MV440 | 1 | 82000 | 82000 |
| Прочее оборудование | - | - | 8200 |
| Транспортные расходы | - | - | 8200 |
| Затраты на монтаж | - | - | 12300 |
| Непредвиденные расходы | - | - | 2460 |
| Капитальные вложения | | 113610 | |

3.4 Расчет РСЭО (расходы на содержание и эксплуатацию оборудования) до внедрения проектируемых мероприятий

Исходными данными для определения текущих расходов служат технические параметры и эксплуатационные показатели по рассматриваемому проекту. Важнейшими нормативными показателями являются мощность, надежность, структура ремонтного цикла и его продолжительность, производительность, энергоемкость и др.

Необходимый набор показателей определяется в зависимости от особенностей объекта, технических средств, их назначения и целей, которые должны быть достигнуты.

Общая сумма текущих издержек за год определяется по экономическим элементам:

$$\text{Итек} = З + М + А + \text{Пр} , \quad (3.19)$$

где: Итек – текущие издержки (эксплуатационные расходы), р.; З – основная и дополнительная заработная плата; М – материальные затраты (затраты на топливо, электроэнергию и т.п.); А – амортизационные отчисления; Пр – прочие расходы.

$$\text{Итек}_1 = 541895 + 28665 + 1641 + 16256 = 588457 \text{ р.} \quad (3.20)$$

Расчет фонда заработной платы

Общий фонд заработной платы складывается из основной и дополнительной заработной платы производственных рабочих, а также заработной платы руководителей и специалистов.

К основной заработной плате относится оплата труда по тарифным ставкам и окладам рабочих.

Оплата труда руководителей и специалистов осуществляется в пределах диапазонов должностных окладов, установленных на предприятии, в зависимости от сложности работы, уровня квалификации работника и стажа работы.

Затраты на оплату труда со страховыми отчислениями можно вычислить по следующей формуле:

$$З = ЗП_{\text{гф}} + О, \quad (3.21)$$

где $ЗП_{\text{гф}}$ – общий фонд оплаты труда; О – страховые отчисления.

Общий фонд оплаты труда определен суммой основной и дополнительной заработной платой (ЗП) рабочих. К основной ЗП относится оплата труда рабочих по тарифным ставкам. К дополнительной ЗП относят доплаты компенсирующего, стимулирующего, мотивационного характеров и выплаты с целью регионального регулирования.

Основная зарплата оператора, работающего на установке, составляет 20000р.

Теперь получим годовую зарплату рабочего:

$$20000 \cdot 12 = 240000 \text{ р.} \quad (3.22)$$

Доплаты за работу в ночное время – 40% (или 13,33% для расчета по полной годовой ЗП), доплата за работу в праздничные дни – 2,7% (для расчета по полной годовой ЗП):

$$Д = 240000 \cdot (0,1333 + 0,027) = 38472 \text{ руб.} \quad (3.23)$$

Поощрения для повышения мотивации труда примем в размере 25%:

$$П = 240000 \cdot 0,25 = 60000 \text{ руб.} \quad (3.24)$$

Дополнительная заработная плата (неиспользованный отпуск, оплата больничных листов) принимается в размере 10%:

$$ЗП_{\text{доп}} = 240000 \cdot 0,1 = 24000 \text{ руб.} \quad (3.25)$$

Годовой фонд оплаты труда с учетом районного коэффициента (15%):

$$ЗП_{\text{гф}} = (240000 + 38472 + 60000 + 24000) \cdot 1,15 = 416842 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды принимаются в размере 30%, включающие в себя отчисления в пенсионный фонд (22%), отчисления в федеральный фонд обязательного медицинского страхования (5.9%), территориальный фонд обязательного медицинского страхования (2.1%):

$$О = 416842 \cdot 0,3 = 125052 \text{ руб.} \quad (3.26)$$

Таким образом, затраты на оплату труда со страховыми отчислениями:

$$З = 416842 + 125052 = 541895 \text{ руб.} \quad (3.27)$$

Материальные затраты

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

$$М = Э + З_m \quad (3.28)$$

Затраты на электроэнергию определяется следующей формулой:

$$Э = P \cdot T_{\phi} \cdot Ц_{\text{э}}, \quad (3.29)$$

где P – мощность на входе установки (номинальная мощность установленного электропривода составляет 3 кВт); T_{ϕ} – фактическое время работы электрооборудования за год, ч; $Ц_{\text{э}}$ – цена за 1 кВт·ч электроэнергии.

Затраты на электроэнергию до реконструкции:

$$\Theta_1 = 3 \cdot 2055 \cdot 3,19 = 19665 \text{ руб}; \quad (3.30)$$

В случае внепланового ремонта всегда должны иметься в запасе подшипники и щетки для двигателей. Цена щеток составляет 400 рублей, а цена подшипника равна 500.

Тогда расходы на запасные части находятся по формуле:

$$З_{м1} = 400 \cdot 10 + 500 \cdot 10 = 9000 \text{ руб}; \quad (3.31)$$

$$M = 19665 + 9000 = 28665 \text{ руб}. \quad (3.32)$$

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.

Срок службы старого оборудования подходит к концу расчётного периода, это значит, что амортизационные отчисления необходимо считать в соответствии с остаточной стоимостью ОПФ.

Амортизационные отчисления для старого оборудования можно рассчитать по методу уменьшаемого остатка, формула приведена ниже:

$$A = \frac{C_{\text{ост}} \cdot H_a \cdot K}{100\%}, \quad (3.33)$$

где $C_{\text{ост}}$ – остаточная стоимость ОПФ, равная 6,67% от первоначальной стоимости (24600 руб), т.к. до окончания расчётного периода остался год; K – коэффициент ускорения, равный, в данном случае, единице, т.к. отчисления происходили в равных долях.

Тогда амортизационные отчисления для старого оборудования составляют:

$$A_1 = \frac{24600 \cdot 6,67 \cdot 1}{100\%} = 1641 \text{ руб}. \quad (3.34)$$

Прочие расходы

Прочие расходы составляют 3 % от фонда заработной платы.

$$\text{Пр} = 0,03 \cdot 541895 = 16256 \text{ р.} \quad (3.35)$$

3.5 Расчет РСЭО (расходы на содержание и эксплуатацию оборудования) после внедрения проектируемых мероприятий

РСЭО для проектируемого агрегата

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

$$\text{Итек} = З + М + А + \text{Пр} , \quad (3.36)$$

где: Итек – текущие издержки (эксплуатационные расходы), р.; З – основная и дополнительная заработная плата; М – материальные затраты (затраты на топливо, электроэнергию и т.п.); А – амортизационные отчисления; Пр – прочие расходы.

Подставив все рассчитанные значения в формулу, получим РСЭО для проектируемого агрегата:

$$\text{Итек}_2 = 541895 + 29322 + 7548 + 17136 = 595901 \text{ р.} \quad (3.37)$$

При расчете РСЭО для проектируемого агрегата нет необходимости в нахождении основной и дополнительной заработной платы, отчислений на социальные нужды, так как они остаются неизменными.

Проект заключается в реконструкции механизма вращения трубы, а именно добавление датчика с компьютерным зрением.

Материальные затраты

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

$$М = Э + З_m \quad (3.38)$$

Затраты на электроэнергию определяется следующей формулой:

$$\text{Э} = P \cdot T_{\phi} \cdot C_{\text{э}} , \quad (3.39)$$

где P – мощность на входе установки (номинальная мощность установленного электропривода с учетом модернизации составляет 3,1 кВт); T_{ϕ} – фактическое время работы электрооборудования за год, ч; $C_{\text{э}}$ – цена за 1 кВт·ч электроэнергии.

Затраты на электроэнергию после реконструкции:

$$\text{Э}_1 = 3,1 \cdot 2055 \cdot 3,19 = 20322 \text{ руб;} \quad (3.40)$$

Рассчитывать 3м2 нет необходимости, так как оно останется неизменным.

$$M = 20322 + 9000 = 29322 \text{ руб.} \quad (3.41)$$

Амортизационные отчисления

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

$$A = \frac{N_a}{100} \cdot K \quad (3.42)$$

Годовая норма амортизации устанавливаемого оборудования равна:

$$N_a = \frac{100}{C_{\text{э}}} = \frac{100}{15} = 6,67\% \quad (3.43)$$

где $C_{\text{э}}$ – срок полезного использования, равный 15 лет.

Амортизация равна:

$$A_2 = \frac{6,67}{100} \cdot 113160 = 7548 \text{ р.} \quad (3.44)$$

Прочие расходы

Так как в «новой» модели у нас фонд заработной платы остается таким же, к прочим расходам добавим 3 % от расходов на содержание и эксплуатацию оборудования.

$$Pr = 16256 + (0,03 \cdot 29322) = 17136 \text{ р.} \quad (3.45)$$

Таблица 3.3. Расчет РСЭО

| Показатели | Значения | |
|------------------------------|------------------|---------------------|
| | До реконструкции | После реконструкции |
| Затраты на амортизацию, руб | 1641 | 7548 |
| Материальные затраты, руб | 28665 | 29322 |
| Общий фонд оплаты труда, руб | 541895 | 541895 |
| Прочие расходы, руб | 16256 | 17136 |
| Итого РСЭО, руб | 588457 | 595901 |
| Δ РСЭО, руб | 7444 | |

3.6 Расчет итоговых показателей

Себестоимость 1 тонны равна 53500 р., а цена равна 73500, объем изготавливаемый цехом до реконструкции за год равен 85077. Налог на прибыль составляет 20%.

Для того чтобы найти прибыль цеха в год, необходимо:

$$\Pi_{ц1} = (73500 - 53500) \cdot 0,8 \cdot 85077 = 1361,23 \text{ млн р.} \quad (3.46)$$

Себестоимость продукции после реконструкции можно определить по следующей формуле:

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot W_{Г2} + \Delta \text{РСЭО}}{W_{Г2}}, \quad (3.47)$$

где $\Delta \text{РСЭО} = 7444$ руб. (разница РСЭО после реконструкции).

Себестоимость продукции после реконструкции:

$$C_2 = \frac{53500 \cdot 85077 + 7444}{85077} = 53500. \quad (3.48)$$

Тогда чистая прибыль цеха после реконструкции:

$$\Pi_{ц2} = (73500 - 53500) \cdot 0,8 \cdot 89329 = 1429,26 \text{ млн руб.} \quad (3.49)$$

3.7 Расчет срока окупаемости проекта

Определим срок окупаемости по формуле ниже:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\Delta\Pi} = \frac{113610}{40800} = 2,7, \quad (3.50)$$

где: K – капитальные затраты, руб; $\Delta\Pi$ – разница прибыли до и после модернизации, руб.

$$\Delta\Pi = \Pi_1 - \Pi_2 = 1361,23 - 1429,26 = -68 \text{ млн. р.} \quad (3.51)$$

Таким образом, чистую прибыль продукции механизма вращения трубы найдем:

$$68000000 \cdot 0,0006 = 40800 \text{ р.}, \quad (3.52)$$

где 0,0006 это часть линии производства, приходящаяся на рассматриваемый механизм.

3.8 Составление сводной таблицы технико-экономических расчетов

Технико-экономические показатели сведены в таблицу 3.4. Сводная таблица наглядно отображает разницу показателей до и после внедрения оборудования.

Таким образом вышло то что годовой объем производства вырос на 4252 тонны. Капитальные вложения составили 113610, а разница РСЭО до и после модернизации составила 7444 рублей.

Так как фонд заработной платы не поменялся, его разница до и после модернизации равна 0.

Материальные затраты увеличились на 657 р. за счет приобретения нового оборудования.

Амортизация тоже имеет перерасход, так как оборудование до модернизации является старым и самортизированным. Разница после модернизации составила 5907 рублей.

Таблица 3.4. Технико-экономические показатели

| Наименование показателя | Значение показателя до | Значение показателя после | Разница показателей до и после |
|-------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Годовой объем производства, тонн продукта в год | 85077 | 89329 | -4252 |
| Капитальные вложения, руб. | - | 113610 | -113610 |
| РСЭО, руб.: | 588457 | 595901 | -7444 |
| – фонд заработной платы, руб. | 541895 | 541895 | 0 |
| – материальные затраты, руб. | 28665 | 29322 | -657 |
| – прочие расходы, руб. | 16256 | 17136 | -880 |
| – амортизация, руб. | 1641 | 7548 | -5907 |
| Срок окупаемости | 2 года и 8 месяцев | | |

Сумма капитальных вложений в мехатронную систему привода вращения трубы составляет 113610 руб. Срок окупаемости системы составил 2 года и 8 месяцев, что говорит о целесообразности разработки мехатронной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведя анализ технологического процесса работы механизма вращения трубы было предложено дополнительное оборудование, увеличивающее производительность механизма.

Был произведен анализ работы привода. Сформулированы требования к его технологическому процессу работы. Рассчитана тахограмма и нагрузочная диаграмма и по ней был выбран двигатель АИР100S4 мощностью 3 кВт. Были проведены проверки выбранного двигателя по перегреву и по перегрузочной способности. Для управления двигателя выбран частотный преобразователь Micromaster 440.

Построена архитектура системы автоматизации. Выбраны контроллер S7300, протоколы соединения уровней между собой, а также абсолютный энкодер Siemens. Данное оборудование полностью подходит для модернизации механизма вращения трубы. Контроллер поддерживает нужный интерфейс, имеет достаточное количество сигнальных входов и выходов. Также персонал уже имеет опыт работы и необходимое программное обеспечение, что является весомым аргументом в пользу выбора этого контроллера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика «Машиностроение» 1971 - 672 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя. В 3 т. Т. 3/ В.И.Анурьев - 8-е изд. перераб. и доп. Под ред. И. Н. Жестковой – М.: Машиностроение 2001 –864 с.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя. В 3 т. Т. 2/ В.И.Анурьев - 8-е изд. –перераб. и доп. Под ред. И. Н. Жестковой – М.: Машиностроение 2001 – 912 с.
4. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя. В 3 т. Т. 1/ В.И.Анурьев - 8-е изд. –перераб. и доп. Под ред. И. Н. Жестковой – М.: Машиностроение 2001 – 920 с.
5. Удут Л.С. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов./ Л.С. Удут, Н.В. Ковин.
6. Лазарева Т.Я. Основы теории автоматического управления/ Т.Я. Лазарева, Ю.Ф. Мартемьянов 2004 – 352 с.
7. Дорф Р. Современные системы управления/ Р. Дорф, Бишоп Р. – М.: Лаборатория Базовых Знаний 2002 – 831с.
8. Ч. 1 Теория линейных систем автоматического управления. Теория автоматического управления: учебное пособие / под ред. А.А.Воронова – М.:Высшая школа 1986 – 367 с.
9. Пантелеев А.В. Теория управления в примерах и задачах: учебное пособие/ Пантелеев А.В., Бортаковский А.С. – М.: Высш. шк. 2003 –583 с.
10. Горфинкель В. Я. Экономика предприятия: учебное пособие для вузов по экон. Специальностям/ В. Я. Горфинкель и др. под ред. В. Я. Горфинкеля, Б. Н. Чернышева. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ-ДАНА 2008 - 335 с.

11. Правдина Н.В. Экономика предприятия (организации): текст конспект лекций / Н. В. Правдина ;Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Экономика и упр. проектами, ЮУрГУ. - Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ 2014.

12. Каретникова Т. М. Экономика предприятия (организации): метод. указания по направлению "Экономика"/ Т. М. Каретникова ;Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Экон. теория и мировая экономика ЮУрГУ. - Челябинск Издательский Центр ЮУрГУ 2013.

13. Кучина Е.В., Вахитова, Е.С. Производственные ресурсы машиностроительных предприятий: учебное пособие/ Е.В. Кучина, Е.С. Вахитова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ 2014.

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