

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 БАКАЛАВРА
ЮУрГУ 15.03.06.2020.569 ПЗ (ВКР)

Модернизация системы управления глубокосверлильного станка

Консультант по экономике
Профессор, д.э.н.

_____ Е.В. Кучина

Руководитель работы
Преподаватель

_____ Т.А. Лисовская

Нормоконтролер
Преподаватель

_____ О.А. Гасиярова

Автор работы
студент группы П-456

_____ Алексей Валерьевич Свиридов
_____ 2020 г.

Консультант по проверке ВКР
на оригинальность
Ст. преподаватель

_____ С.С. Воронин

Челябинск 2020

АННОТАЦИЯ

Свиридов А.В. Модернизация системы управления глубокосверлильного станка. – Челябинск: ЮУрГУ, МТ; П–456; 2020, 2019, 72с., 19ил., библиогр. список – 18 наим.

В ходе анализа технологического процесса привода, и системы управления глубокосверлильного станка предложен вариант решения проблемы: заменить морально и физически устаревшее оборудование на современное, соответствующее требованиям. За счет этого время внеплановых ремонтов уменьшилось с 552 ч до 332,4 ч.

В ходе работы было рассчитано основное оборудование, которое соответствует требованиям. Также была рассчитана экономическая эффективность реконструкции.

Проведение реконструкции позволит увеличить фактическое время работы станка с 7728 ч до 7894 ч и позволит уменьшить затраты на ремонт оборудования. Срок окупаемости проекта составит 1 год 4 месяце

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	7
1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма.....	7
1.2.Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма...	11
1.3 Требования к приводам и системе автоматизации	13
1.4 Выбор системы привода	14
1.5 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы	15
1.6 Выбор основного оборудования	32
1.7Защита привода, расчет уставок защитных устройств.....	35
2 РАЗРАБОТКА САУ	39
2.1 Разработка архитектуры систем автоматизации.....	39
2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат	41
2.3 Выбор и разработка функциональной схемы САР привода проектируемого агрегата	43
2.4 Разработка контура регулирования технологических координат.....	44
2.5 Разработка структурной схемы САУ и моделирование типовых режимов работы.....	45
3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ	53
3.1 Краткая характеристика участка	53
3.2 Расчет производственной программы цеха.....	53
3.3 Расчет сметы единовременных (капитальных) затрат	56

3.4 Расчет затрат на содержание и эксплуатацию оборудования	59
3.5 Расчет на материалы и оплату труда со страховыми отчислениями ...	62
3.6 Расчет прибыли и показателей рентабельности	64
3.7 Расчет срока окупаемости проекта.....	65
3.8 Сводная таблица технико-экономических расчетов	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	69
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	70

ВВЕДЕНИЕ

Современные металлорежущие станки – это высокоразвитые машины, включающие большое число механизмов и использующие различные методы осуществления движений и управления циклом.

Одним из важных показателей является повышение надежности станков за счет оснащения их современными средствами контроля и измерения, также в связи с этим металлорежущие станки обеспечивают исключительно высокую точность обработанных деталей.

Привод подачи в металлорежущих станках необходим для перемещения инструмента относительно заготовки. В ходе выпускной квалификационной работы (ВКР) проводится модернизация системы управления глубокосверлильного станка КЖ 1911.

Целью данной ВКР является предложение решения существующей проблемы связанной с регулярным выходом из строя системы управления привода подачи, провести анализ технологического процесса и предложить вариант решения проблемы.

Задачи ВКР:

- Провести анализ технологического процесса глубокосверлильного станка, выдвинуть требования к системе привода и автоматизации;
- Согласно расчетам выбрать силовые элементы, разработать архитектуру системы автоматизации;
- Разработать САУ и смоделировать типовой режим работы;
- Провести технико-экономический расчет.

1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма

ЧТПЗ – группа комплекса России по металлургическим изделиям, представляет собой одной из самых крупных современных Российских производств – изготовители трубных изделий и примерно 18% общей доли всего рынка занимает данная промышленность. Также является одной из крупнейших трубных компаний мира. Исследуемый цех занимается производством бесшовных горячедеформированных труб диаметром 245—550 мм. Данный вид труб в основном предназначен для нужд нефтегазового комплекса, в частности, для строительства трубопроводов, обустройства газовых месторождений, обсаживания буровых скважин, для подводных трубопроводов и других целей. Изделия "Высоты 239" являются высококлассной продукцией, способной удовлетворить любые требования потребителя и эксплуатироваться в неблагоприятных условиях, будь то суровый климат, сейсмическая активность или прокладка по дну моря. Во время технического процесса заготовка подвергается ультразвуковому, рентгеновскому и магнитно-порошковому контролю, также происходит проверка сварных швов и геометрических параметров.

Если заготовка не удовлетворяет технологическим требованиям, ее либо отправляют на склад, либо на ремонт с последующим возвратом на производственную линию.

Корпоративной философией компании является «Белая металлургия», которая зародилась после реализации крупных проектов: строительство цехов «Высота 239», «Железный озон 32» и другие.

Сегодня основной продукцией компании являются трубы для нефтегазовой промышленности.

Производственные мощности компании позволяют выпускать 1,5 млн. тонн трубной продукции в год. В рамках трубного комплекса ЧТПЗ реализованы две принципиально различные технологии: бесшовное (цеха № 1,2) и сварное производство труб (цеха № 6, 8, 9).

Первый цех занимается производством бесшовных горячедеформированных труб диаметром 245—550 мм. Данный вид труб в основном предназначен для нужд нефтегазового комплекса, в частности, для строительства трубопроводов, обустройства газовых месторождений, обсаживания буровых скважин, для подводных трубопроводов и других целей.

Описание технологического процесса ТПЦ№1:

1. В производстве горячедеформированных труб используются непрерывные литые заготовки (НЛЗ). Слитки идут на склад заготовок и там производится предварительная проверка. Производится дополнительный контроль микро и макроструктуры слитка.

2. Слитки, прошедшие контроль качества, нарезают на заготовки нужной длины. Спецметалл, например, 38ХНЗМФА, 08Х18Н10ТУ-Ш и т.д, отправляют на специальный глубоководный станок. Остальные заготовки сортируются в соответствии с маркой стали и размерами.

3. Произведённые для работы слитки погружают в методическую печь, для топлива используют природный газ, загружается в печь и нагревается до высоких температур. После на тележке, заготовка направляется на прошивной стан.

4. На прошивном стане перед действием сил трения на контактной плоскости сплава с валками при винтообразной прошивке происходит изменение формы сплава, при данном слиток модифицируется в горячедеформированную гильзу, и тогда станет готова для раскатки на пилигримовом стане продольной прокатки.

5. На пильгерстане происходит обжатие разогретой гильзы, размеры обработанной заготовки близки к значениям готовой трубы.

6. С пильгерстана труба поступает на дисковую пилу для обрезки затравочной части трубы и нарезанию трубы на длину соответствующую ГОСТу или техническому заданию.

– Когда световой барьер включается трубой перед головкой экспандера, производится расчет длины трубы. Для этого на приводе тележки с клещами

смонтирован кодовый датчик угловых перемещений, который передает на вычислительную машину точную позицию тележки с клещами.

– Тем самым длина трубы установлена. Теперь рассчитывается число необходимых этапов расширения и округляется до целого этапа.

Рассчитанная

длина шага передается на привод тележки с клещами.

– Когда включается световой барьер, для тележки с клещами начинается последовательность этапов. Тележка с клещами может провести трубу по инструменту только на половине этапов. Вторую половину выполняет

роликотное транспортное устройство. Когда труба прошла поэтапное расширение, роликотное транспортное

устройство подает трубу обратно в открытые клещи. Тележка с клещами снова принимает трубу и на повышенной скорости снимает ее с поперечины. Когда тележка с клещами достигнет позиции, где она приняла трубу, она

Описание работы исследуемого механизма:

Слитки, которые прошли контроль качества, поступают на глубокосверлильный станок. В заготовках спецметалла делают отверстие с целью усиленного нагрева заготовки в методической печи, чтобы на прошивном стане формоизменение металла проходило плавно.

Работа станка осуществляется в двух режимах: наладочном и рабочем. В наладочном режиме возможно включение в любой последовательности всех

движений механизмов станка, кроме рабочей подачи и насосов СОЖ. В наладочном режиме производятся все операции по настройке и подготовки станка к работе:

- Установка на призмы и выверка заготовки на ось станка (совмещение оси заготовки с осью шпинделя стелевой бабки)
- Зажим заготовки после ее выверки
- Смена режущего инструмента и быстрый повод его к торцу заготовки
- Уплотнение торцов заготовки осевым упором и шпинделем маслоприемника

На рабочий режим станок переключается после установки, выверки и закрепления заготовки и уплотнения ее торцов осевым упором и маслоприемником. Сверление заготовки может производиться только в рабочем режиме.

Принцип работы глубокосверлильного станка:

1. Изначальная настройка станка, для работы с заготовкой
2. Изделие краном укладывается на призмы, производится центрирование изделия относительно оси станка.
3. Производится зажим изделия с помощью зажимных ползунов и уплотнение заднего торца изделия осевым упором и шпинделем маслоприемника.
4. На рабочий конец стебля устанавливается соответствующего размера режущий инструмент.
5. Подведение режущего инструмента к торцу обрабатываемого изделия.
6. Уплотнение переднего торца изделия шпинделем маслоприемника.
7. К каретке стелевой бабки крепится стружкосборочная тележка.
8. Настраивается скорость подачи стелевой бабки, в момент врезания инструмента в изделие она должна быть минимальной. В

соответствии с руководством по эксплуатации производится регулирование режимов.

9. После достижения необходимой глубины сверления или выхода инструмента во внутреннюю полость фланца осевого упора (при сквозном сверлении) выключается подача, затем вращение стебля
10. Производится переключение станка в наладочный режим и вывод режущего инструмента из заготовки.
11. После некоторой выдержки заготовки для слива из нее СОЖ, производится освобождения изделия.
12. Цеховым краном производится снятие изделия со станка и дальнейшая сортировка на склад цеха.

1.2. Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма

Глубокосверлильный станок КЖ 1911 000. 000 РЭ1 предназначен для скоростного сверления сквозных глубоких отверстий в заготовках при производстве труб.

Главный привод предназначен для вращения стебля, осуществляется электродвигателем постоянного тока типа 2ПФ115ЛГУ4. Питание двигателя и регулирование скорости осуществляется тиристорным преобразователем типа БТУ 3501 4347 Р04.

Привод подачи предназначен для перемещения стебля бабки, осуществляется электродвигателем постоянного тока типа ПБСТ-63, редуктором с электромагнитной муфтой и тиристорным преобразователем ПТ21 типа БТУ 3601-4027 П04.

К вспомогательным приводам относятся: насосная станция СОЖ, смазка, призмы для установки изделий, зажим изделия, осевой упор, маслоприемник.

Насосная станция предназначена для регулирования подачи СОЖ, состоит из двух агрегатов. В составе агрегата винтовой насос типа 3В-16/25 и электродвигатель типа 4А180 С2.

Для смазки механизма стеблевой бабки и редуктора установлены шестеренные насосы ВГ11-11 и комплектно с ними поставляются электродвигатели типа 4А63А4У3. Для смазки направляющих станка и гайки ходового винта на каретке установлен лубрикатор С 17-12 (поршневой насос) с электродвигателем типа РД-0,9.

Привод призм для установки изделий предназначен для центрирования изделия на станке, осуществляется двумя узлами, идущими на станок: левые и правые призмы. Для сведения и разведения призм служит планетарный мотор-редуктор типа МПЗ 2-50-35,5 с электродвигателем 4АХ904РЗ.

Привод для зажима изделия предназначен для закрепления изделия на станке в нужном положении, осуществляется мотор-редуктором типа МПз-2 и асинхронным электродвигателем типа 4АХ90L6РЗ.

Привод осевого упора предназначен для уплотнения заднего торца изделия для исключения утечки СОЖ на выходе инструмента, шток уплотняющего устройства приводится в действие мотор-редуктором МП02-10 с асинхронным электродвигателем типа А02-12-4.

Маслоприемник включает в себя каретку и стойку. Каретка маслоприемника перемещается по станине посредством асинхронного двигателя типа 4АХ100L. Для перемещения ползуна со шпинделем маслоприемника установлен асинхронный электродвигатель типа 4АХ80В6.

Так же на оси ходового винта со стороны редуктора подачи установлен глубиномер. Глубиномер – фотоимпульсный датчик типа БД 501-НА, который служит для измерения глубины просверливаемого отверстия, он обеспечивает индикацию положения стеблевой бабки с точностью до 0,01мм.

Исследуемым узлом выбран привод подачи (рисунок 1)

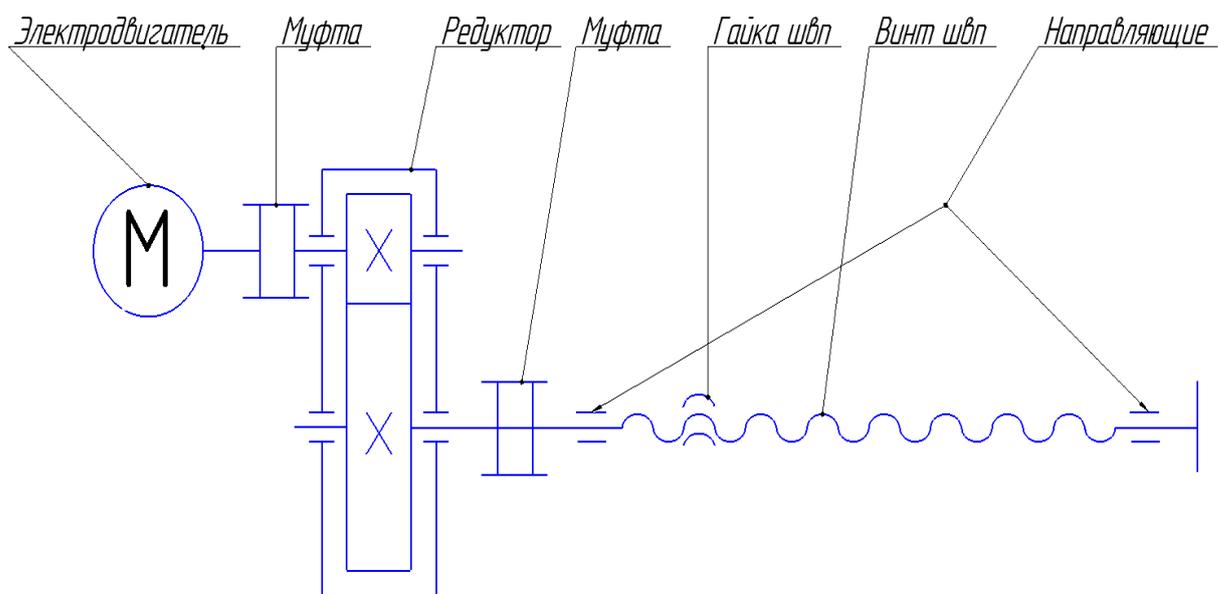


Рисунок 1. Упрощенная кинематическая схема привода подачи

В ходе модернизации глубоководного станка КЖ 1911 была отключена муфта на подачу 0,5-50мм/мин, так как при реализации команды «быстро влево (вперед)» независимо от того, в каком положении находится переключатель подачи, в положении «Подача 0,5-50мм/мин» или «Подача 15-1500мм/мин», включается муфта подачи 15-1500мм/мин. На этой же муфте реализуется быстрое перемещение стеблевой бабки во время подвода стебля к заготовке и рабочая подача во время сверления заготовки. Поэтому кинематическая схема привода подачи принимает упрощенный вид.

1.3 Требования к приводам и системе автоматизации

Требования к приводам подач, так же как и к приводам вращения шпинделей, обусловлены необходимостью высокой производительности и точности обработки. Производительность и точность станка определяются быстродействием, скоростью, мощностью и точностью привода подач. Диапазон регулирования подач определяется для станков необходимостью обеспечения минимальных подач при высокоточной отделочной обработке и при окончании

позиционирования в заданные координаты. Были предъявлены следующие требования:

- Пределы подач, мм/об: 0,5 – 1500мм/мин
- Статическая ошибка по скорости: 0
- Обеспечение ускорения не более 1 м/с^2
- Диапазон регулирования скорости двигателя: 1:100
- Допустимое перерегулирование скорости при скачке управляющего воздействия, %, не более: 5

1.4 Выбор системы привода

Когда ставится задача модернизации оборудования, одной из важнейших частей является выбор системы привода, при котором нужно учитывать множество требований.

К требованиям, обозначенным в пункте 1.3, был подобрана система с синхронным электродвигателем с постоянными магнитами, которым будет управлять преобразователь частоты.

Синхронные двигатели устойчивы к колебаниям сети, имеют КПД выше, чем у асинхронных двигателей и обеспечивают постоянную скорость вращения на протяжении долгого времени. Работа с таким двигателем обеспечивает уменьшение потребляемого тока и потерь. Но синхронный двигатель имеет ряд недостатков, например, сложную конструкцию и он более дорогой.

Особенно существенную роль это отличие играет тогда, когда обрабатывается громоздкая или тяжелая деталь.

Механизм приводится в работу за счет энергии сжатого воздуха. Для правильной работы устройства подготовка сжатого воздуха должна быть качественной. Во время сжатия воздуха твердые частички и капли влаги и воды концентрируются, образовывается абразивная суспензия. Агрессивная среда повреждает элементы конструкции, в результате происходит утечка сжатого воздуха, энергии тратится больше нормы. Для очистки воздушного потока устанавливаются фильтры. Поток воздуха проходит через жесткий слой фильтрующего элемента, посторонние частички оседают на волокно при ударе с сетчатой поверхностью. Накапливаясь, частички соединяются с каплями масла и влаги, формируя пленку, она стекает в специальный резервуар. Доля вспомогательного времени при работе на глубоко-сверлильных станках все ещё довольно велика. Поэтому даже небольшое сокращение затрат времени на выполнение вспомогательных операций приводит к повышению производительности станков. С целью уменьшения вспомогательного времени современные глубоко-сверлильные станки снабжаются удобными механизмами для переключения чисел оборотов и изменения подач; органы управления станком сосредоточены в одном месте - на шпиндельной головке.

На

1.5 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы

Для дальнейших расчетов были собраны технические данные механизма, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
$m_{ст.б.}$	Масса стеблевой бабки	кг	8000

Продолжение таблицы 1.

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
$J_{дв}$	Момент инерции двигателя	кг·м ²	0,307
L_1	Длина перемещения перед заготовкой	м	0,5
Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
V	Скорость подвода стебля к заготовке	мм/мин	1500
V	Рабочая скорость подачи	мм/мин	12
$d_{хв}$	Диаметр ходового винта	мм	108
$d_{инст}$	Диаметр режущего инструмента	мм	60
a	Допустимое ускорение	м/с ²	1
f	Коэффициент трения		0,15
$J_{вх}$	Момент инерции входного вала редуктора	кг·м ²	0,03
$J_{вых}$	Момент инерции выходного вала редуктора	кг·м ²	0,2
L_2	Длина заготовки	м	2
z	Число циклов	1/ч	0,3
α	Угол наклона резьбы	°	5,5
Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
φ	Угол трения ходового винта	°	4
$d_{шп}$	Диаметр шпинделя	м	0,2
μ_c	Коэффициент трения скольжения тело по горизонтальной поверхности		0,08
$m_{хв}$	Масса ходового винта	кг	326

На основе представленных данных мы рассчитаем и следовательно, привод должен обеспечивать стабильные показатели скорости и относительной точности позиционирования в процессе транспортировки независимо от нагрузки. Статические сопротивления движению (подведение стебля к детали) создаются силами трения скольжения и трения в винтовой передаче. Поскольку для обеспечения необходимых динамических характеристик системы исполнительного механизма предполагается большой индекс.

$$M_{\text{рост1}} = M_{\text{тс}}, \quad (1)$$

$$M_{\text{рост2}} = M_{\text{вп}} + M_{\text{тс}}, \quad (2)$$

где $M_{\text{тс}}$ – момент силы трения скольжения по горизонтальной плоскости; $M_{\text{вп}}$ – момент силы трения в винтовой передаче.

В процессе работы над заготовкой, режущий элемент принимает на себя высокое сопротивление со стороны обрабатываемой детали. На разные точки режущего элемента действуют силы сопротивления. Для упрощения расчета их заменяют равнодействующей силой, которую можно разложить на три составляющие силы F_x , F_y и F_z .

- 1) F_z – тангенциальное усилие, или усилие резания, преодолеваемое шпинделем станка;
- 2) F_y – радиальное усилие, создающее давление на суппорт;
- 3) F_x – осевое усилие, или усилие подачи, преодолеваемое механизмом подачи.

Сила сопротивления F_x направлена вдоль оси сверла. Она преодолевается механизмом подачи станка. При расчете усилия резания сверления не учитываются F_y и F_z .

Определение силы F_x и момента $M_{\text{кр}}$ производится по эмпирическим формулам, полученным экспериментальным путём. Для сверл из

инструментальных стале́й при обработке стальных и чугу́нных деталей они имеют следующий вид:

Расчет осевого усилия, кН:

$$F_x = C_{fx} \cdot d^z \cdot S^y \cdot (HB)^n, \quad (3)$$

Где C_{fx} , z , y , n – эмпирические коэффициент и показатели степени, зависят от вида обработки и материала $C_{fx}=1,5$; $z=1$; $y=0,7$; $n=0,75$; d –диаметр сверла, мм; S –максимальная подача, согласно справочным данным принимается 0,35мм/об;

HB – обозначение твёрдости стали, для марки 38ХНЗМФА равно 269.

Подставляя численные значения в эмпирическую формулу осевого усилия:

$$F_x = 1,5 \cdot 60^1 \cdot 0,35^{0,7} \cdot 269^{0,75} = 2866,85 \text{ кН}$$

Расчет крутящего момента, кН·м:

$$M_{кр} = C_m \cdot d^z \cdot S^y \cdot (HB)^n, \quad (4)$$

где C_m , z , y , n – эмпирические коэффициент и показатели степени, зависят от вида обработки и материала $C_m=0,8$; $z=2$; $y=0,8$; $n=0,7$;

Подставляя численные значения в эмпирическую формулу крутящего момента:

Момент силы трения в винтовой передаче, Н·м:

$$M_{вп} = \frac{Q \cdot d_{хв} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}{2}, \quad (5)$$

где $d_{хв}$ – диаметр ходового винта, м; α и φ – угол наклона резьбы и угол трения ходового винта; Q – тяговая сила подачи, определяется в соответствии нормали станкостроения Н48-61. Для сверлильных станков, Н:

$$Q = (1 + 0,5 \cdot f) \cdot F_x + \frac{f \cdot M_{кр}}{d_{шп}}, \quad (6)$$

где f – коэффициент трения; $d_{шп}$ – диаметр шпинделя, мм.

Подставляя численные значения в формулу тяговой силы подачи для сверлильных станков:

$$Q = (1+0,5 \cdot 0,15) \cdot 2866850 + \frac{0,15 \cdot 62441530}{20} = 4018482,95 \text{ Н}$$

Подставляя численные значения в формулу момента силы трения в винтовой передаче:

$$M_{\text{вп}} = \frac{4018482,95 \cdot 0,108 \cdot \text{tg}(5,5+4)}{2} = 36313,025 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент силы трения скольжения тела по горизонтальной плоскости:

$$M_{\text{тс}} = \frac{m_{\text{ст.б.}} \cdot \mu_{\text{с}} \cdot g \cdot d_{\text{хв}}}{2}, \quad (7)$$

где $m_{\text{ст.б.}}$ - масса стеблевой бабки, кг; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; $\mu_{\text{с}}$ – коэффициент трения скольжения.

Подставляя численные значения в формулу момента силы трения тела по горизонтальной плоскости:

$$M_{\text{тс}} = \frac{8000 \cdot 0,08 \cdot 9,81 \cdot 0,108}{2} = 339,03 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Подставляя численные значения в формулу статического момента:

1. Без нагрузки(подвод стебля к заготовке):

$$M_{\text{рост1}} = 339,03 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2. Под нагрузкой(сверление):

$$M_{\text{рост2}} = 36313,025 + 339,03 = 36652,06 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Угловая скорость рабочего органа, с^{-1} :

$$\omega_{\text{хв}} = \frac{V_{\text{ф}}}{\rho}, \quad (8)$$

где $V_{\text{ф}}$ – скорость подачи, мм/с ; ρ – приведенный радиус.

$$\rho = \frac{d_{\text{хв}}}{2} \cdot \text{tg}\alpha \quad (9)$$

$$\rho = \frac{0,108}{2} \cdot \text{tg}5,5^\circ = 5 \text{ мм}$$

Подставляя численные значения в формулу угловой скорости рабочего органа:

$$\omega_{хв} = \frac{0,2}{5} = 0,04\text{с}^{-1}$$

На основе заданных путей перемещения L , установившейся скорости V_y и допустимого ускорения a рассчитаем:

- время пуска $t_{пдо}$ установившейся скорости с допустимым ускорением, торможения t_T от установившейся скорости до остановки

$$t_{п} = t_T = \frac{V_y}{a_{доп}}, \quad (10)$$

- путь, проходимый за время пуска (торможения) рабочей машиной

$$L_{п} = L_T = \frac{V_y^2}{2 \cdot a_{доп}}, \quad (11)$$

- время установившегося режима движения со скоростью V_y :

$$t_y = \frac{L - (L_{п} + L_T)}{V_y}, \quad (12)$$

Подставив числовые значения, получим:

1. При движении вперед без нагрузки:

$$t_{п1} = t_{т1} = \frac{0,025}{1} = 0,025 \text{ с}$$

$$L_{п1} = L_{т1} = \frac{0,025^2}{2 \cdot 1} = 0,0003125 \text{ м}$$

$$t_{y1} = \frac{0,5 - (0,0003125 + 0,0003125)}{0,025} = 19,975 \text{ с}$$

2. При движении вперед под нагрузкой:

$$t_{п2} = t_{т2} = \frac{0,0002}{1} = 0,0002 \text{ с}$$

$$L_{п2} = L_{т2} = \frac{0,0002^2}{2 \cdot 1} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ м}$$

$$t_{y2} = \frac{2 \cdot (2 \cdot 10^{-8} + 2 \cdot 10^{-8})}{0,0002} = 9999,9998 \text{ с}$$

3. При движении назад без нагрузки:

$$t_{п3} = t_{т3} = \frac{0,025}{1} = 0,025 \text{ с}$$

$$L_{п3} = L_{т3} = \frac{0,025^2}{2 \cdot 0,1} = 0,0003125 \text{ м}$$

$$t_{y3} = \frac{2,5 \cdot (0,0003125 + 0,0003125)}{0,025} = 99,97 \text{ с}$$

Общее время работы:

$$t_p = t_{п1} + t_{п2} + t_{п3} + t_{т1} + t_{т2} + t_{т3} + t_{y1} + t_{y2} + t_{y3} = 10040,04 \text{ с}$$

Момент инерции рабочего органа:

$$J_{po} = J_{ст.б.} + J_{хв} \quad (13)$$

где J - момент инерции стеблевой бабки; J - момент инерции ходового винта.

Момент инерции ходового винта:

$$J_{хв} = \frac{1}{2} \cdot m_{хв} \cdot R^2, \quad (14)$$

где $m_{хв}$ - масса ходового винта.

$$J_{хв} = 0,5 \cdot 326 \cdot 0,054^2 = 0,475 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент инерции стеблевой бабки:

При скоростной подаче (подвод стебля к заготовке):

$$J_{ст.б.1} = m_{ст.б.} \cdot \left(\frac{V_{п}}{\omega_{хв}} \right)^2, \quad (15)$$

где $m_{ст.б.}$ - масса стеблевой бабки.

$$J_{ст.б.1} = 8000 \cdot \left(\frac{0,025}{5} \right)^2 = 3,125 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

При рабочей подаче (сверление):

$$J_{\text{ст.б.2}} = 8000 \cdot \left(\frac{0,0002}{0,04} \right)^2 = 0,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент инерции рабочего органа при скоростной подаче:

$$J_{\text{ро1}} = J_{\text{ст.б.1}} + J_{\text{хв}} = 3,125 + 0,475 = 3,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент инерции рабочего органа при рабочей подаче:

$$J_{\text{ро2}} = J_{\text{ст.б.2}} + J_{\text{хв}} = 0,2 + 0,475 = 0,675 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

При заданной величине допустимого ускорения $a_{\text{доп}} = 1 \text{ м/с}^2$ для каждого режима рабочей машины определяются динамические моменты:

$$M_{\text{родин}} = J_{\text{ро}} \cdot \frac{a_{\text{доп}}}{\rho} \quad (16)$$

Динамический момент рабочего органа при скоростной подаче:

$$M_{\text{родин1}} = 3,6 \cdot \frac{1}{0,005} = 6250 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Динамический момент рабочего органа при рабочей подаче:

$$M_{\text{родин2}} = 0,675 \cdot \frac{1}{0,005} = 135 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Полный момент находится по формуле:

$$M = \pm M_{\text{рост}} \pm M_{\text{родин}} \quad (17)$$

Первый участок – старт стеблевой бабки:

$$M_{\text{ро1}} = M_{\text{рост1}} + M_{\text{родин}} = 339,03 + 6250 = 6589,03 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Второй участок – стебель подходит к заготовке:

$$M_{\text{ро2}} = M_{\text{рост1}} = 339,03 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Третий участок – торможение стеблевой бабки:

$$M_{po3} = M_{рост1} - M_{родин1} = 339,03 - 6250 = -5910,97 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Четвертый участок – начало сверления заготовки:

$$M_{po4} = M_{рост2} + M_{родин2} = 36652,06 + 135 = 36787,06 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Пятый участок – продолжение сверления заготовки:

$$M_{po5} = M_{рост2} = 36652,06 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Шестой участок – торможение сверления заготовки:

$$M_{po6} = M_{рост2} - M_{родин2} = 36652,06 - 135 = 36517,06 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Седьмой участок – начало обратного движения стебля:

$$M_{po7} = -M_{рост1} - M_{родин1} = -339,03 - 6250 = -6589,03 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Восьмой участок – обратное движение стеблевой бабки:

$$M_{po8} = -M_{рост1} = -339,03 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Девятый участок – торможение стебля:

$$M_{po9} = -M_{рост1} + M_{родин1} = -339 + 6250 = 5910,97 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Рассчитаем среднеквадратическое значение момента:

$$M_{сркв} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 \cdot t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}} \quad (18)$$

где M_k – момент двигателя на различных участках, Н·м; t_k – длительность различных участков, с.

Подставив числовые значения, получим:

$$M_{сркв} = 36578,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Мощность двигателя может быть определена по формуле:

$$P_{\text{ДВ}} = k_1 \cdot M_{\text{срkv}} \cdot \frac{2 \cdot V_0}{d_{\text{хв}}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{факт}}}{\text{ПВ}_{\text{кат}}}}, \quad (19)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, $k_1=1,5$; V_0 – рабочая линейная скорость рабочего органа, м/с; $d_{\text{хв}}$ – диаметр шестерни выходного вала редуктора, м; $\text{ПВ}_{\text{факт}}$ – фактическое значение относительной продолжительности работы электродвигателя; $\text{ПВ}_{\text{кат}}$ – ближайшее значение относительной продолжительности работы к фактическому значению, указанном в каталоге выбранной серии двигателей.

Зная длительность работы на всех участках движения и заданное время цикла, рассчитываем фактическое значение:

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{z}, \quad (20)$$

где z – число циклов работы машины в час.

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{z} = \frac{3600}{0,3} = 12000 \text{ с}$$

$$\text{ПВ}_{\text{факт}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \cdot \sum_{k=1}^m t_{\text{к}} \quad (21)$$

$$\text{ПВ}_{\text{факт}} = \frac{1}{12000} (4 \cdot 0,25 + 19,75 + 0,002 \cdot 2 + 9999,998 + 99,75) = 83,75\%$$

$$P_{\text{ДВ}} = 1,5 \cdot 36578,1 \cdot \frac{2 \cdot 0,0097}{0,2} \cdot \sqrt{\frac{0,8375}{1}} = 9 \text{ кВт}$$

Из представленных на ранке синхронных двигателей выбираем двигатель 1FT7108-5AC71-1DA0 (рисунок 2). Выбор произведен по номинальной мощности. В таблице 2 представлены данные двигателя



Рисунок 2. Внешний вид двигателя

Таблица 2. Номинальные данные двигателя 1FT7108-5AC71-1DA0.

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
P_n	Номинальная мощность	кВт	10,5
n_n	Номинальная частота вращения	об/мин	2000
I_n	Номинальный ток	А	18
U_n	Диапазон раб. напряжений	В	400-480
КПД	Коэффициент полезного действия	%	93
Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
$\cos\varphi$	Коэффициент мощности		0,81
$m_{дв}$	Масса двигателя	кг	59,104
$J_{дв}$	Момент инерции двигателя	кг·м ²	0,307

После выбора двигателя рассчитаем статические моменты рабочей машины, приведенные к валу двигателя, по формуле, Н·м:

$$M_{pc} = \frac{M_{рост}}{j_p \cdot \eta_p} \quad (22)$$

где $M_{рост}$ – статический момент рабочего органа; j_p – передаточное число редуктора.

При движении без нагрузки:

$$M_{двст1} = \frac{M_{рост1}}{j_p \cdot \eta_p} = \frac{135}{20 \cdot 0,92} = 7,33 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Движение под нагрузкой:

$$M_{двст2} = \frac{M_{рост2}}{j_p \cdot \eta_p} = \frac{36652,06}{20 \cdot 0,92} = 1991,96 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для построения нагрузочной диаграммы рассчитываются момент инерции, приведенный к валу двигателя, кг·м²:

$$J_{эквдв} = J_{дв} + J_{вх} + \frac{J_{вых}}{i^2} + \frac{J_{ро}}{i^2} \quad (23)$$

где $J_{дв}$ – момент инерции двигателя; $J_{вх}$ – момент инерции входной шестерни редуктора; $J_{вых}$ – момент инерции выходной шестерни редуктора; $J_{ро}$ – момент инерции рабочего органа.

При скоростной подаче (подвод стебля к заготовке):

$$J_{эквдв1} = 0,307 + 0,03 + \frac{0,2}{20^2} + \frac{3,6}{20^2} = 0,416 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

При рабочей подаче (подвод стебля к заготовке):

$$J_{эквдв2} = 0,307 + 0,03 + \frac{0,2}{20^2} + \frac{0,2}{20^2} = 0,338 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Приведенный динамический момент, Н·м:

$$M_{двдин} = J_{ро} \cdot \frac{2 \cdot a_{доп} \cdot i}{d_{хв}} \quad (24)$$

При движении без нагрузки:

$$M_{двдин1} = 0,416 \cdot \frac{2 \cdot 1 \cdot 20}{0,108} = 154,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Движение под нагрузкой:

$$M_{\text{двдин2}} = 0,338 \cdot \frac{2 \cdot 1 \cdot 20}{0,108} = 125,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Полный момент находится по формуле:

$$M_{\text{дв}} = \pm M_{\text{двст}} \pm M_{\text{двдин}} \quad (25)$$

Первый участок – старт стеблевой бабки:

$$M_{\text{дв1}} = M_{\text{двст1}} + M_{\text{двдин1}} = 7,33 + 154,1 = 161,43 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Второй участок: стебель подходит к заготовке:

$$M_{\text{дв2}} = M_{\text{двст1}} = 7,33 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Третий участок- торможение стеблевой бабки:

$$M_{\text{дв3}} = M_{\text{двст1}} - M_{\text{двдин1}} = 7,33 - 154,1 = -146,77 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Четвертый участок - начало сверления заготовки:

$$M_{\text{дв4}} = M_{\text{двст2}} + M_{\text{двдин2}} = 1991,96 + 125,1 = 2117,06 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пятый участок – продолжение сверления заготовки:

$$M_{\text{дв5}} = M_{\text{двст2}} = 1991,96 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Шестой участок – торможение сверления заготовки:

$$M_{\text{дв6}} = M_{\text{двст2}} - M_{\text{двдин2}} = 1991,96 - 125,1 = 1866,86 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Седьмой участок – начало обратного движения стебля:

$$M_{\text{дв7}} = -M_{\text{двст1}} - M_{\text{двдин1}} = -7,33 - 154,1 = -161,43 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Восьмой участок – равномерное обратное движение:

$$M_{\text{дв8}} = -M_{\text{двст1}} = -7,33 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Девятый участок – торможение стебля:

$$M_{\text{дв9}} = -M_{\text{двст1}} + M_{\text{двдин1}} = -7,33 + 154,1 = 146,77 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

В соответствии с рассчитанными данными (таблица 3) была построена тахограмма и нагрузочная диаграмма (рисунок 3).

Таблица 3. Расчет нагрузочной диаграммы

Обозначение	Подвод стебля			Сверление			Отвод стебля		
	Пуск	Уст.	Торм.	Пуск	Уст.	Торм.	Пуск	Уст.	Торм.
t,с	0,025	19,97	0,025	0,0002	9999,9998	0,0002	0,025	19,97	0,025
$V_{п}$, мм/мин	1500			12			1500		
Обозначение	Подвод стебля			Сверление			Отвод стебля		
	Пуск	Уст.	Торм.	Пуск	Уст.	Торм.	Пуск	Уст.	Торм.
t,с	0,025	19,97	0,025	0,0002	9999,9998	0,0002	0,025	19,97	0,025
$M_{рост}$, Нм	339,03			36652,06			-339,03		
$M_{родин}$, Нм	6250			135			-6250		
$J_{ро}$, кгм ²	3,6			0,675			3,6		
ω , с ⁻¹	5			0,04			5		
$M_{ро}$	6589,03	339,03	-5910,97	36787,06	36652,06	36517,06	-6589,03	-339,03	5910,97
$M_{двст}$	7,33			1991,96			-7,33		
$M_{двдин}$	154,1			125,1			154,1		
$J_{эквдв}$, кгм ²	0,416			0,338			0,416		
$M_{дв}$	161,43	7,33	-146,77	2117,06	1991,96	1866,86	-161,43	7,33	146,77

Целями предварительной проверки является более точный расчет нагрузочных диаграмм момента и скорости двигателя, также расчет учитывает момент инерции выбранного двигателя.

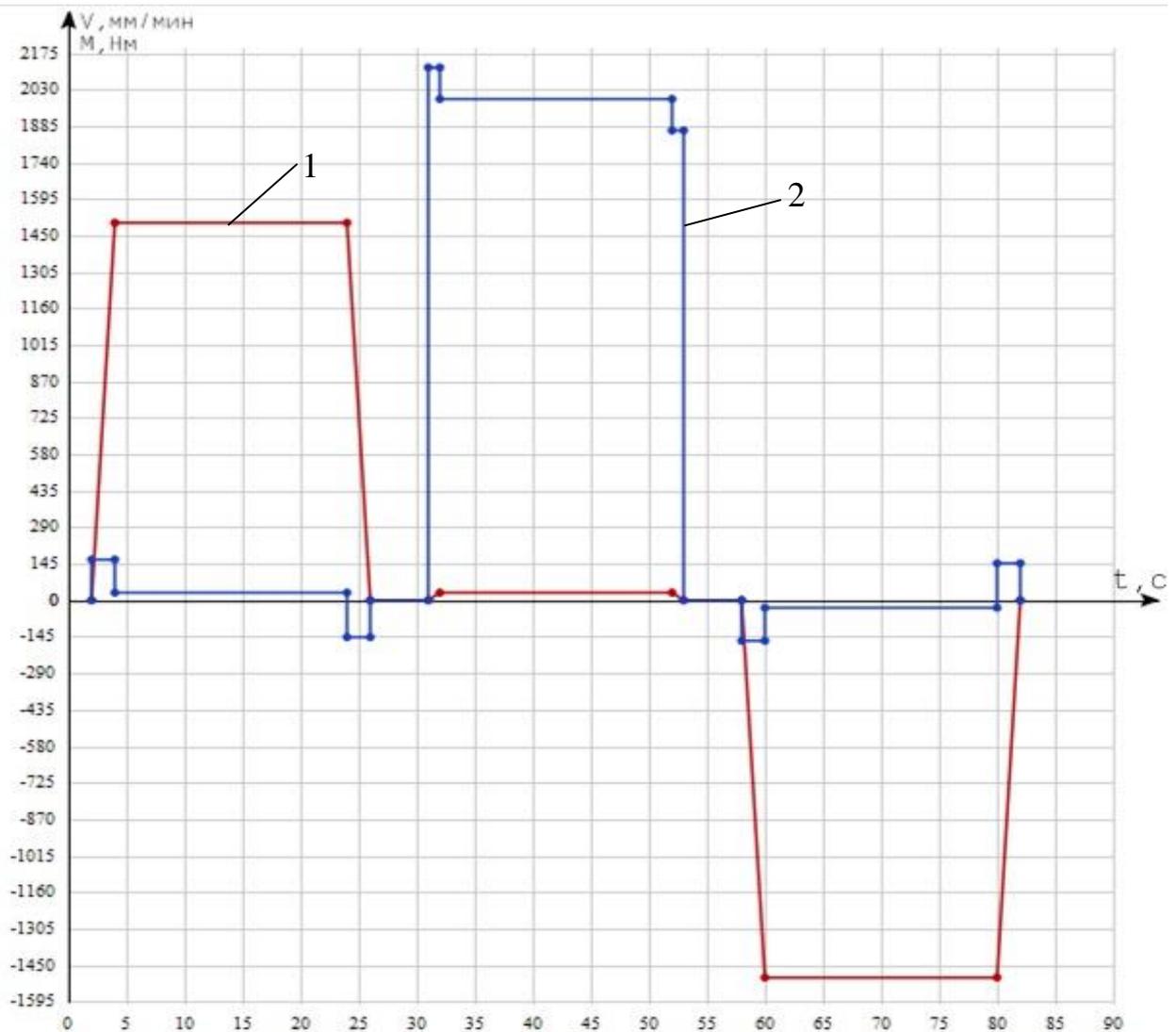


Рисунок 3. Упрощенные тахограмма (1) и нагрузочная диаграмма (2).

Рассчитаем время переходных процессов по формуле:

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{cp} - M_c} \quad (26)$$

где J – суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции, кгм²; ω_c – установившаяся скорость двигателя; M_{cp} – средний момент двигателя, Нм;

M_c – приведенный статический момент, Нм.

Первый участок – подвод стебля к заготовке:

$$t_1 = 0,416 \cdot \frac{5}{161,43 - 19,659} = 0,025 \text{ с}$$

Третий участок – остановка стебля у заготовки:

$$t_3 = 0,416 \cdot \frac{5}{161,43-7,33} = 0,025 \text{ с}$$

Четвертый участок – начало сверления:

$$t_4 = 0,338 \cdot \frac{0,04}{2117,06-1991,96} = 0,0002 \text{ с}$$

Шестой участок – конец сверления:

$$t_6 = 0,338 \cdot \frac{0,04}{2117,06-1991,96} = 0,0002 \text{ с}$$

Рассчитаем угол поворота вала двигателя за время переходного процесса .

$$\alpha_i = \frac{\omega_c \cdot t_i}{2} \quad (27)$$

Первый участок:

$$\alpha_1 = \frac{5 \cdot 0,025}{2} = 0,0625 \text{ рад}$$

Третий участок:

$$\alpha_3 = \frac{5 \cdot 0,025}{2} = 0,0625 \text{ рад}$$

Четвертый участок:

$$\alpha_4 = \frac{0,04 \cdot 0,0002}{2} = 0,8 \cdot 10^{-5} \text{ рад}$$

Шестой участок:

$$\alpha_6 = \frac{0,04 \cdot 0,0002}{2} = 0,8 \cdot 10^{-5} \text{ рад}$$

Время работы с установившейся скоростью рассчитаем по формуле:

$$t_y = \frac{\alpha - (\alpha_n + \alpha_r)}{\omega_c} \quad (28)$$

где α - угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме, рад; $\alpha_{п}, \alpha_{т}$ - угол поворота вала за время пуска и торможения соответственно, рад.

Рассчитаем угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме :

$$\alpha_1 = \frac{2 \cdot L \cdot j_p}{D} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 20}{0,108} = 100 \text{ рад}$$

$$\alpha_2 = \frac{2 \cdot L \cdot j_p}{D} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 20}{0,108} = 400 \text{ рад}$$

Тогда время работы с установившейся скоростью:

При подводе стебля к заготовке:

$$t_2 = \frac{100 - (0,0625 + 0,0625)}{5} = 19,75 \text{ с}$$

При сверлении:

$$t_5 = \frac{400 - (0,8 \cdot 10^{-5} + 0,8 \cdot 10^{-5})}{0,04} = 10000 \text{ с}$$

Рассчитаем общее время работы:

$$t_{\phi} = t_1 + t_2 + t_3 + t_5 + t_6 + t_7 = 0,025 + 19,75 + 0,025 + 0,0002 + 10000 + 0,0002 + 0,025 + 19,75 + 0,025 = 10039,6 \text{ с}$$

Время в исходных данных больше времени, полученного в расчетах, а следовательно проверка двигателя по производительности проведена верно.

Проверка двигателя по нагреву по величине среднеквадратичного момента:

Метод эквивалентного момента, когда:

$$M_{\text{сркв}} < (0,75 \div 0,8) M_{\text{н}}$$

Среднеквадратичный момент можно найти по формуле, Н·м:

$$M_{\text{срkv}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 \cdot \Delta t_k}{\sum_{k=1}^m \Delta t_k}} \quad (29)$$

где M_k – значения момента на каждом участке нагрузочной диаграммы; Δt_k – время участков.

Согласно формуле (29):

$$M_{\text{срkv}} = 1973,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$1973,1 \text{ Н} \cdot \text{м} < 1987,94 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Следовательно, по условиям нагрева выбор двигателя оказался правильным.

1.6 Выбор основного оборудования

Целью подбора преобразователя частоты (ПЧ) является обеспечение качественного управления действующими мощностями, контроля технологического процесса, а также рационального использования электроэнергии. Преобразователь частоты способен регулировать частоту вращения вала двигателя, изменяя частоту питающего напряжения. Выбор ПЧ основывается на требованиях, предъявляемых к данному приводу, среди которых границы рабочих скоростей и моментов двигателя, характер нагрузки и циклограмма работы. Также следует учитывать конструктивные особенности преобразователя частоты, такие как необходимая степень защиты (IP), его геометрические размеры, возможность выноса пульта управления и т.д. Основными критериями выбора преобразователя частоты служат величины питающего напряжения и потребляемого тока двигателя. ПЧ должен обеспечивать высокий пусковой момент или быстрое ускорение и замедление,

Для управления двигателем был выбран преобразователь частоты фирмы Siemens линейка SINAMICSS120. Модуль управления выбирается согласно количеству регулируемых приводов и качества регулирования, силовая часть – в

согласно мощности двигателей, необходимости рекуперации энергии в сеть или обмена энергией между приводами.

Модуль управления предназначен для управления силовыми модулями, критерием выбора в этом случае является наличие PROFIBUS разъема. PROFIBUS позволяет объединять различные устройства автоматизации в единую систему на полевом уровне. Согласно этим условиям был выбран модуль управления Siemens CU310 DP, внешний вид которого представлен на рисунке 4.



Рисунок 4. Внешний вид модуля управления CU310 DP

Модуль управления CU310 DP управляет силовыми модулями по интерфейсу PM-IF. В этом случае в разъем DRIVE-CLiQ на модуле управления CU310 DP могут подключаться дополнительные DRIVE-CLiQ- компоненты.

В силовом модуле содержится неуправляемый выпрямитель, звено постоянного тока и инвертор для преобразования постоянного тока в переменный необходимой частоты, схема представлена на рисунке 5. Силовые модули выбираются индивидуально для каждого привода, без рекуперации энергии в сеть. При поступлении генераторной энергии, она преобразуется в тормозных

резисторах в тепло. Встроенный блок торможения (тормозной транзистор) рассчитан таким образом, что он имеет запас и он может включать внешний тормозной резистор в длительном режиме.

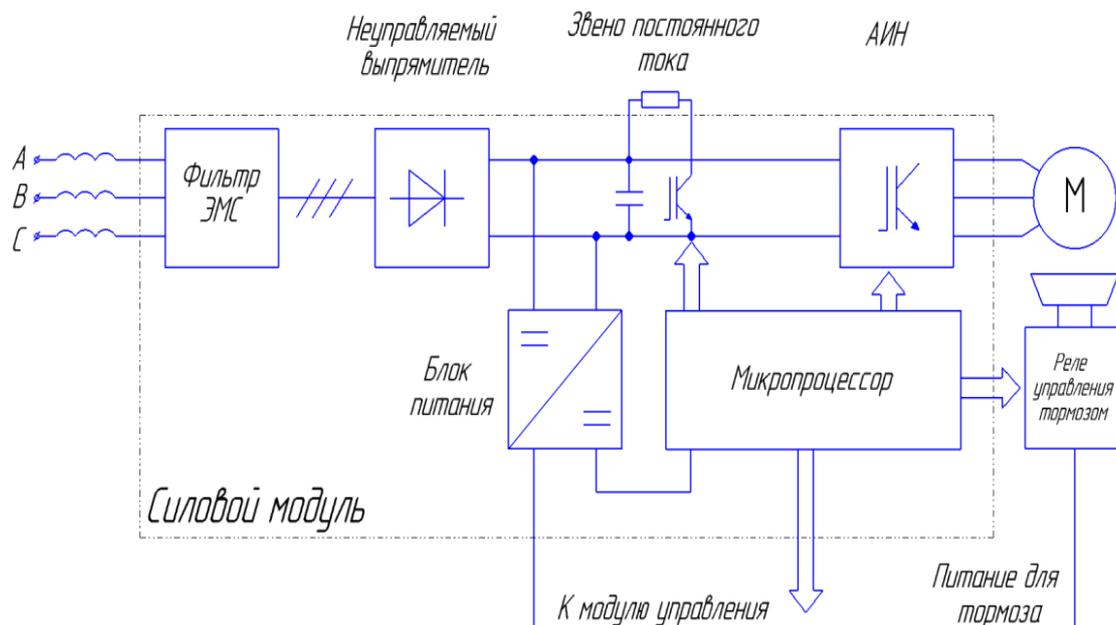


Рисунок 5. Схема преобразователя частоты

Согласно условиям был выбран силовой модуль SINAMICSS1206SL3210-1SE23-8AA0 (рисунок 6). Характеристики данного преобразователя приведены в таблице 4.



Рисунок 6. Внешний вид силового модуля SINAMICS S120

Таблица 4. Характеристики преобразователя частоты SINAMICS S120

Номинальная мощность, кВт	18,5
Номинальный ток, А	38
Диапазон напряжения, В	380-480, +10% -10%
КПД	0,98
Номинальная частота модуляции, кГц	4
Встроенный сетевой фильтр	Есть

Для полного представления силового модуля все характеристики представлены в таблице.

1.7 Защита привода, расчет уставок защитных устройств

Надежная работа привода возможна лишь при условии наличия защиты от внештатных ситуаций и предотвращения аварийных режимов. Защита привода необходима как для защиты самого оборудования от выхода из строя, так и персонала от производственных травм. Вид и параметры защитных устройств определяет характер возникающих аварийных ситуаций.

Также необходимо выбрать сетевой дроссель. Выбор сглаживающего реактора производится для уменьшения пульсаций тока. Дроссель необходимо выбирать по номинальному току силового модуля и по рассчитанной индуктивности дросселя.

$$L_{др} = \frac{U_{л} \cdot 0,02}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot \pi \cdot I_{нч} \cdot f_c} \quad (30)$$

где f_c – частота сети.

$$L_{др} = \frac{400 \cdot 0,02}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 38 \cdot 50} = 0,00039 \text{ Гн}$$

Исходя из поставленных условий выбираем сетевой дроссель Siemens 4EP3700-2US00(рисунок 7) с номинальным током 35,5 А и индуктивностью 0,39 мГн [11].



Рисунок 7. Внешний вид сетевого дросселя 4EP3700-2US00

Контактор предназначен для неоднократного включения и выключения силовой цепи.

Выбор контакторов осуществляется исходя из условий:

- Максимального коммутируемого тока;
- Коммутируемого напряжения;

Согласно данным условиям был выбран контактор Siemens 3RT10351AP00(рисунок 8). Технические характеристики контактора представлены в таблице 5.



Рисунок 8. Внешний вид контактора 3RT10351AP00

Таблица 5. Технические характеристики контактора 3RT10351AP00

Рабочий ток, А	40
Эксплуатационная мощность, кВт	18,5
Рабочее напряжение, В	400

Автоматические выключатели предназначены для коммутации различных цепей и защиты от токов, кз, и чтобы не произошла перегрузка всей цепи.

Уставка на ток мгновенного срабатывания, или тока отсечки, означает, что при данном токе срабатывает электромагнитный расцепитель данного выключателя.

$$I = k_z \cdot I_n \quad (31)$$

$$I = 2,5 \cdot 18 = 45$$

где k_z – коэффициент запаса по току (принимается равным 2,5); I_n – номинальный ток двигателя.

Согласно данным условиям был выбран выключатель Siemens 3RV10424JA10(рисунок 9). Технические характеристики выключателя представлены в таблице 6.

Таблица 6. Технические характеристики выключателя 3RV10424JA10

Регулируемый ток срабатывания, А	45-63
Рабочее напряжение, В	400



Рисунок 9. Внешний вид выключателя 3RV10424JA10

Автоматические выключатели предназначены для коммутации различных цепей и предотвращения коротких замыканий и лишних потребителей энергии. 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.

2 РАЗРАБОТКА САУ

2.1 Разработка архитектуры систем автоматизации

На рисунке 10, представлена общая архитектура системы автоматизации предприятия, такая система имеет 5 уровней, которые связаны между собой информационными каналами. Первые три уровня формируют автоматизированную систему управления технологическим процессом, а последние два – автоматизированную систему управления предприятием.

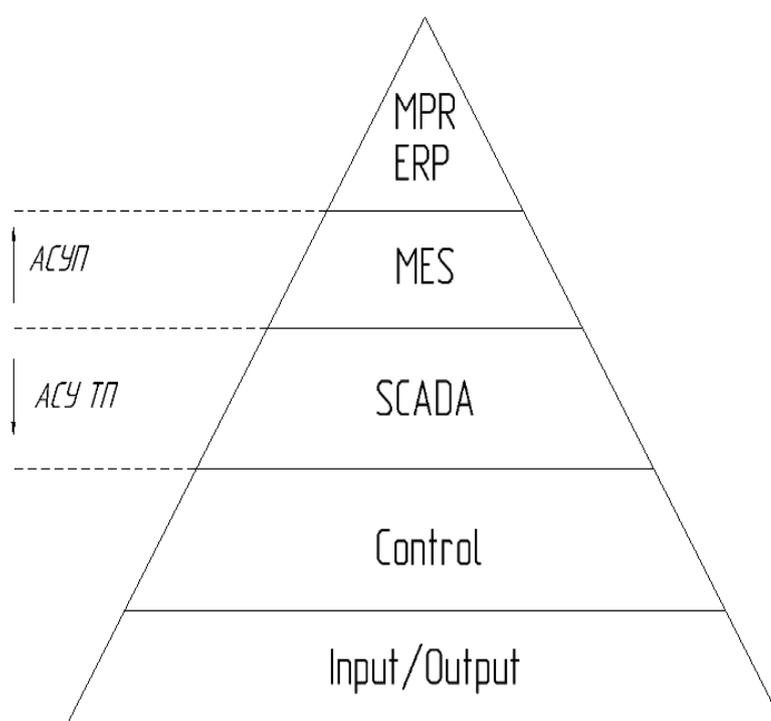


Рисунок 10. Архитектура системы автоматизации

Первый, нижний, уровень – уровень оборудования. Реализуется как единая система, состоящая из исполнительных механизмов, датчиков, регулирующей аппаратуры.

Второй уровень – уровень управления (Control), служит для непосредственного автоматического управления технологическими процессами, реализуется с помощью промышленных контроллеров, регуляторов, которые позволяют отслеживать ход процесса, накапливать информацию о нем.

Третий уровень – уровень операторского (диспетчерского) управления (SCADA), служит для отображения данных о производственном процессе и для управления различными агрегатами, реализуется с помощью компьютеров с человеко-машинным интерфейсом, включается диспетчерский персонал.

Четвертый уровень – уровень управления производственными процессами, дифференцированными по технологическим переделам (MES), состоит из программно - объединенных компьютеров, позволяющих управлять качеством производственных процессов, техобслуживанием оборудования, производственными рисками и анализировать структуру производственных затрат и технико-экономических показателей производственных процессов.

Пятый уровень - уровень управления предприятием (ERP,MRP), включает программно-объединённые компьютеры, позволяющие осуществлять планирование всех видов ресурсов предприятия - ERP или планирование ресурсов производства MRP.

На рисунке 11 представлена архитектура автоматизации глубокосверлильного станка после модернизации.

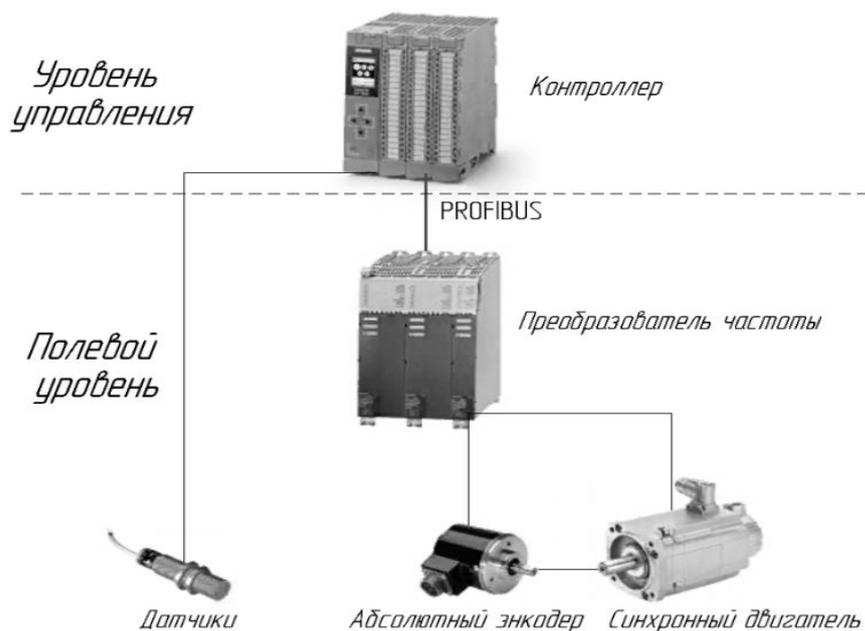


Рисунок 11. Модернизированная архитектура автоматизации привода подачи станка

В ходе реконструкции привода подачи глубокосверлильного станка будут использоваться два уровня автоматизации: полевой и уровень управления.

Полевой уровень включает в себя датчики и преобразователь частоты. Во время модернизации двигатель постоянного тока будет заменен на синхронный двигатель с постоянными магнитами.

Управление частотным преобразователем будет реализовано с помощью программируемого логического контроллера (ПЛК).

2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат

Для модернизации привода подачи был выбран программируемый логический контроллер Simatic S7-1500(рисунок12). Для построения сети автоматизированного управления технологическим

процессом применяются контроллеры с программируемой логикой.

Данный контроллер имеет высокий уровень сложности разной производительности. Был выбран CPU 1516-3 PN/DP.



Рисунок 12. SIMATIC S7-1500

Благодаря модульной конструкции, естественному охлаждению, широким коммуникационным возможностям, гибкости благодаря возможности

расширения многочисленными модулями со множеством встроенных функций и простоты создания распределенных сетей управления, серия S7-400 подходит для решения любых.

Благодаря модульной конструкции, естественному охлаждению, широким коммуникационным возможностям, гибкости благодаря возможности расширения многочисленными модулями со множеством встроенных функций и простоты создания распределенных сетей управления, серия S7-1500 подходит для решения любых различных заданий автоматизированных систем.

Процессоры используются для выполнения кода программы. В зависимости от технологического процесса применяются различные модули CPU, отличающиеся объемом доступной памяти, производительностью, наличием встроенных портов ввода-вывода, видом и количеством коммуникационных интерфейсов и иных специальных функций.

Встроенные технологические функции:

- Мощные функции трассировки переменных в реальном масштабе времени для диагностики и обнаружения спорадических ошибок.
- Расширенный набор функций автоматического регулирования с автоматической оптимизацией параметров настройки и получения требуемого качества процессов регулирования.
- Использование технологических модулей для решения задач скоростного счета и определения координат рабочего органа.

В качестве датчика скорости и положения выступает абсолютный энкодер. Был выбран абсолютный энкодер Siemens 6FX2001-5HS24 (рисунок 13). Такие энкодеры.

На начальную позицию, также они устойчивы к вибрациям. Технические характеристики энкодера представлены в таблице 7.



Рисунок 13. Внешний вид абсолютного энкодера Siemens

Таблица 7. Технические характеристики энкодера

Параметры	Значение
Интерфейс	SSI
Разрешение	25bit(8192 шагов x 4096 оборотов)
Передача	Грэй, «елочный» формат
Параметры	Значение
Точность	$\pm 79''$
Максимально допустимая частота вращения	10000 об/мин

2.3 Выбор и разработка функциональной схемы САП привода проектируемого агрегата

Согласно особенностям технологического процесса и требованиям, предъявляемым к мехатронной системе, регулируемые технологическими координатами будут скорость и положение стелевой бабки.

Для выполнения задачи регулирования целесообразно использовать векторное управление. Такое управление позволяет с высокой точностью регулировать скорость, обеспечивает плавный старт и плавное вращение двигателя, быстрая реакция на изменение нагрузки, снижаются потери на нагрев и намагничивание.

На рисунке 14 представлена функциональная схема системы автоматического регулирования электропривода подачи станка.

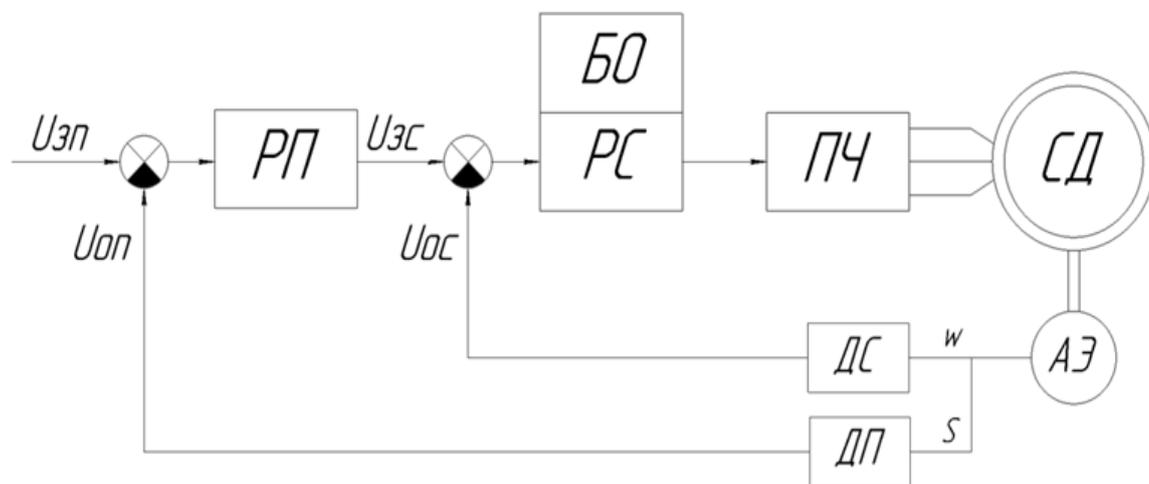


Рисунок 14. Функциональная схема электропривода мехатронной системы подачи

где РС – Регулятор скорости; БО – Блок ограничения; РП – Регулятор положения; ПЧ – Преобразователь частоты; АЭ – Абсолютный энкодер; ДС – Датчик скорости; ДП – Датчик положения; СД- Синхронный двигатель.

2.4 Разработка контура регулирования технологических координат

Технологический процесс реконструируемой мехатронной системы требует регулирования таких технологических координат, как скорость и положение.

Согласно этому будет 2 контура регулирования: внутренний контур скорости и внешний контур положения. В составе контура скорости будет представлен оптимизированный контур момента в виде апериодического звена.

Для реализации такой системы необходимо 2 регулятора:

- ПИ– регулятор скорости, обеспечивающий заданную технологическим процессом скорость;
- Нелинейный регулятор положения.

2.5 Разработка структурной схемы САУ и моделирование типовых режимов работы

Моделирование будет производиться в относительных единицах, принимаем все номинальные величины равными 1.

Оптимизированный контур момента представлен в виде апериодического звена первого порядка, его передаточная функция:

$$W_{\text{окм}} = \frac{1/k_{\text{ом}}}{2T_{\mu}p+1}, \quad (32)$$

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

Коэффициент $k_{\text{ом}}$ определяется следующим образом:

$$k_{\text{ом}} = \frac{U_{\text{зм}}}{M_{\text{н}}}, \quad (33)$$

где $U_{\text{зм}} = 1$ отн.ед. – максимальный сигнал задания; $M_{\text{н}} = 1$ отн.ед. – номинальный момент двигателя.

Согласно формулам (32-33):

$$k_{\text{ом}} = 1$$
$$W_{\text{окм}}(p) = \frac{1}{2 \cdot 0,005p+1}$$

Передаточная функция звена механической части:

$$W_M(p) = \frac{1}{J_\Sigma p}, \quad (34)$$

$$W_M(p) = \frac{1}{0,338p}$$

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости имеет следующий вид:

$$W_{pc}(p) = \frac{k_{pc}}{8T_\mu} + k_{pc}, \quad (35)$$

Коэффициент k_{pc} определяется следующим образом:

$$k_{pc} = \frac{J_\Sigma}{4T_\mu k_{oc} \frac{1}{k_{om}}}, \quad (36)$$

Коэффициент k_{oc} определяется следующим образом:

$$k_{oc} = \frac{U_{zc}}{\omega_M}, \quad (37)$$

где $U_{zc} = 1$ отн.ед. – максимальный сигнал задания; $\omega_M = 1$ отн.ед. – номинальный момент двигателя.

Согласно формулам(35-37):

$$k_{oc} = 1$$

$$k_{pc} = \frac{1 \cdot 0,338}{4 \cdot 0,005 \cdot 1} = 16,9$$

$$W_{pc} = \frac{16,9}{8 \cdot 0,005} + 16,9$$

Для преобразования угловой скорости на выходе в линейную необходимо следующее звено:

$$k_n = \frac{D}{2 \cdot i_{ред}}, \quad (38)$$

$$k_n = \frac{0,6}{2 \cdot 20} = 0,015$$

После контура скорости необходим интегратор для получения перемещения на выходе контура положения.

Для реализации нелинейного регулятора положения необходимо определить границы малых, средних и больших перемещений (рисунок 15).

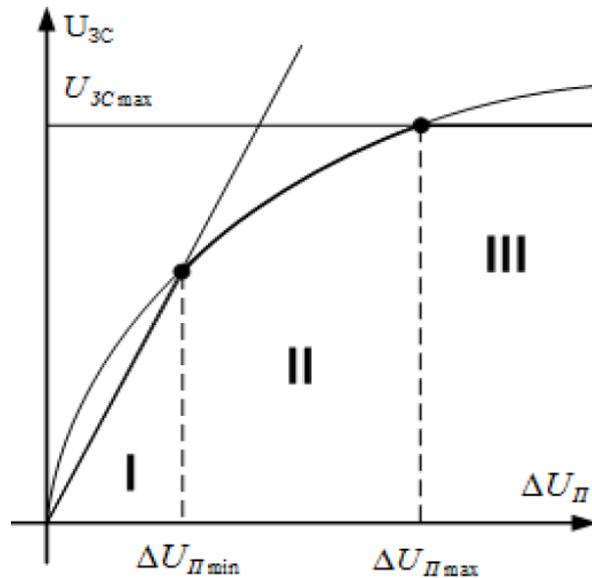


Рисунок 15. Зависимость формируемого сигнала задания, регулятора положения от напряжения, приходящего на вход

$\Delta U_{пmin}$ и $\Delta U_{пmax}$ определяются согласно следующим формулам:

$$\Delta U_{пmin} = 2\varepsilon k_{оп} k_{и} (16T_{\mu}), \quad (39)$$

$$k_{рnc} = 1 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,1}{0,4 \cdot 0,015}} = 3,64 \quad (40)$$

Максимальное ускорение $\varepsilon = 10$ рад/с². Коэффициент обратной связи по положению $k_{оп}$ определяется согласно формуле:

$$k_{оп} = \frac{U_{зп}}{S_{м}}, \quad (41)$$

где $U_{зп} = 1$ отн.ед. – максимальный сигнал задания; $S_{м} = 2,5$ м – максимальное перемещение платформы.

Согласно формулам (39-41):

$$k_{оп} = \frac{1}{2,5} = 0,4$$

$$\Delta U_{пmin} = 2 \cdot 10 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot (16 \cdot 0,005)^2 = 0,00512$$

$$\Delta U_{\text{пmax}} = \frac{1 \cdot 0,4 \cdot 0,015}{2 \cdot 10} = 0,3$$

Коэффициент регулятора для области малых перемещений $k_{\text{рпм}}$ вычисляется по формуле:

$$k_{\text{рпм}} = \frac{k_{\text{oc}}}{16T_{\mu} k_{\text{оп}} k_{\text{и}}} \quad (42)$$

$$k_{\text{рпм}} = \frac{1}{16 \cdot 0,005 \cdot 0,4 \cdot 0,015} = 2,08 \cdot 10^3$$

Коэффициент регулятора для области средних перемещений $k_{\text{рпс}}$ вычисляется по формуле:

$$k_{\text{рпс}} = k_{\text{oc}} \sqrt{\frac{2\varepsilon}{k_{\text{оп}} k_{\text{и}}}} \quad (43)$$

$$k_{\text{рпс}} = 1 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,1}{0,4 \cdot 0,015}} = 3,64$$

В области больших перемещений регулятор положения выдает сигнал, равный максимальному значению $-10 \dots +10\text{В}$. На рисунке 16 представлена реализация регулятора положения.

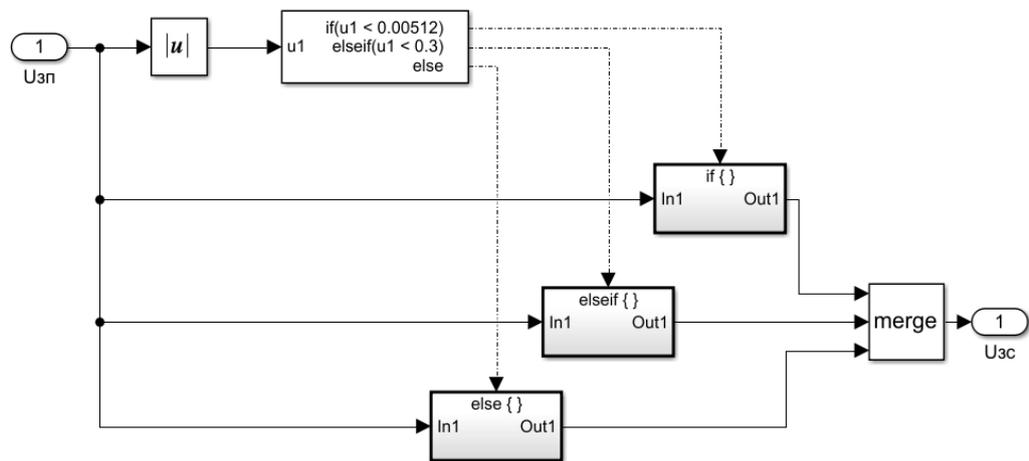


Рисунок 16. Реализация нелинейного регулятора положения

После регулятора положения ставится задатчик интенсивности. Он состоит из функции знака (Sign) и интегратора, замкнутых единичной обратной связью. Передаточная функция интегратора имеет следующий вид:

$$W_{зи}(p) = \frac{1}{T_{зи}p} \quad (44)$$

где $T_{зи}$ – постоянная времени ЗИ.

$T_{зи}$ определяется по следующей формуле:

$$T_{зи} = \frac{U_0}{\epsilon k_{oc}} \quad (45)$$

$$T_{зи} = \frac{1}{0,1} = 10$$

Согласно формуле (39):

$$W_{зи}(p) = \frac{1}{10p}$$

Структурная схема представлена на рисунке 16.

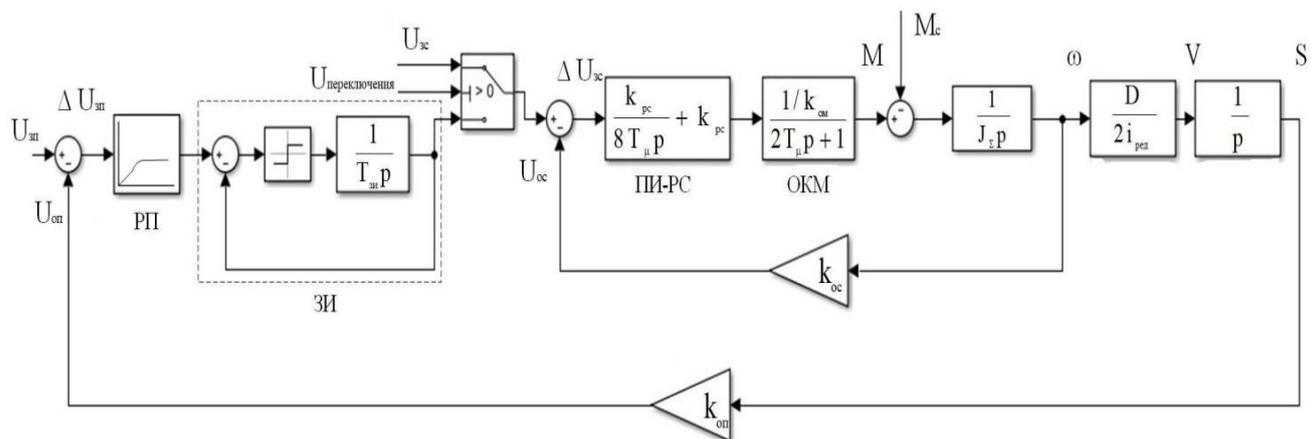


Рисунок 17. Структурная схема САУ

Математическая модель электропривода подачи глубоководного станка реализована в среде Matlab Simulink.

В силу особенностей технологического процесса, типовой режим для данной САУ является режим больших перемещений, поскольку скорость и момент двигателя достигают допустимых установившихся значений.

На рисунке 18 представлена математическая модель электропривода подачи.

На рисунке 19 представлен результат отработки системой сигналов задания

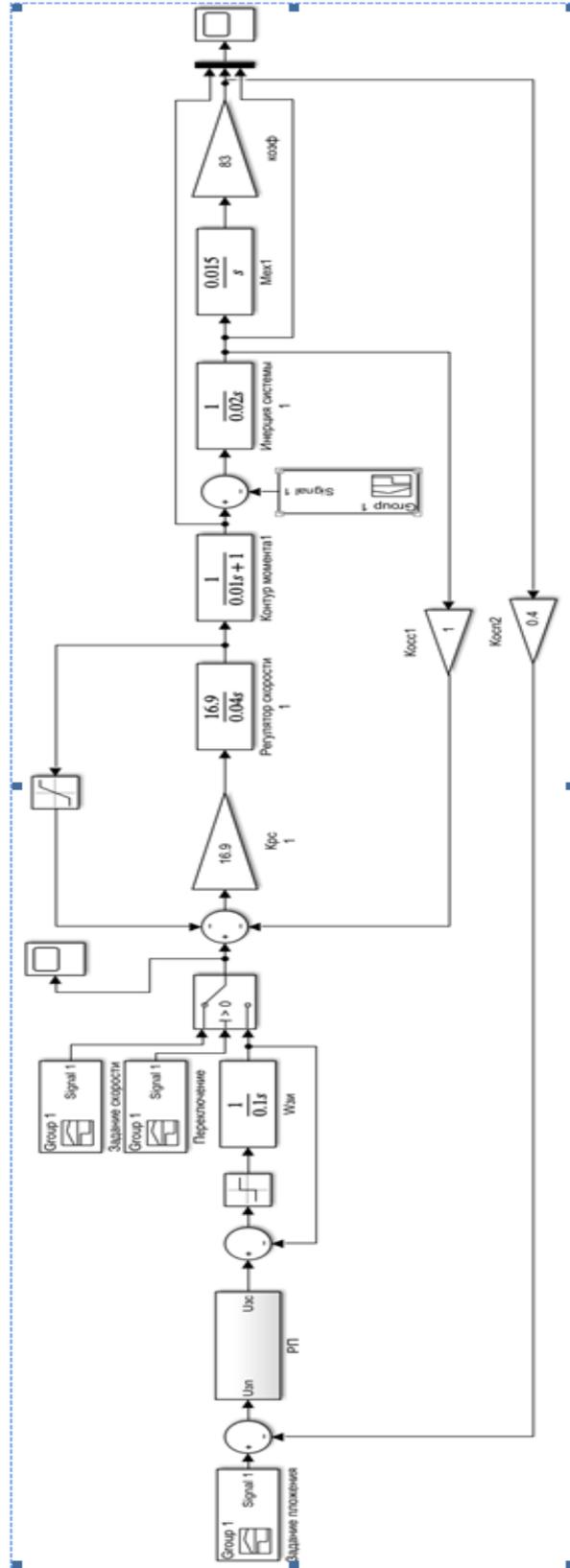


Рисунок 18. Математическая модель электропривода подачи глубокоосверлильного станка

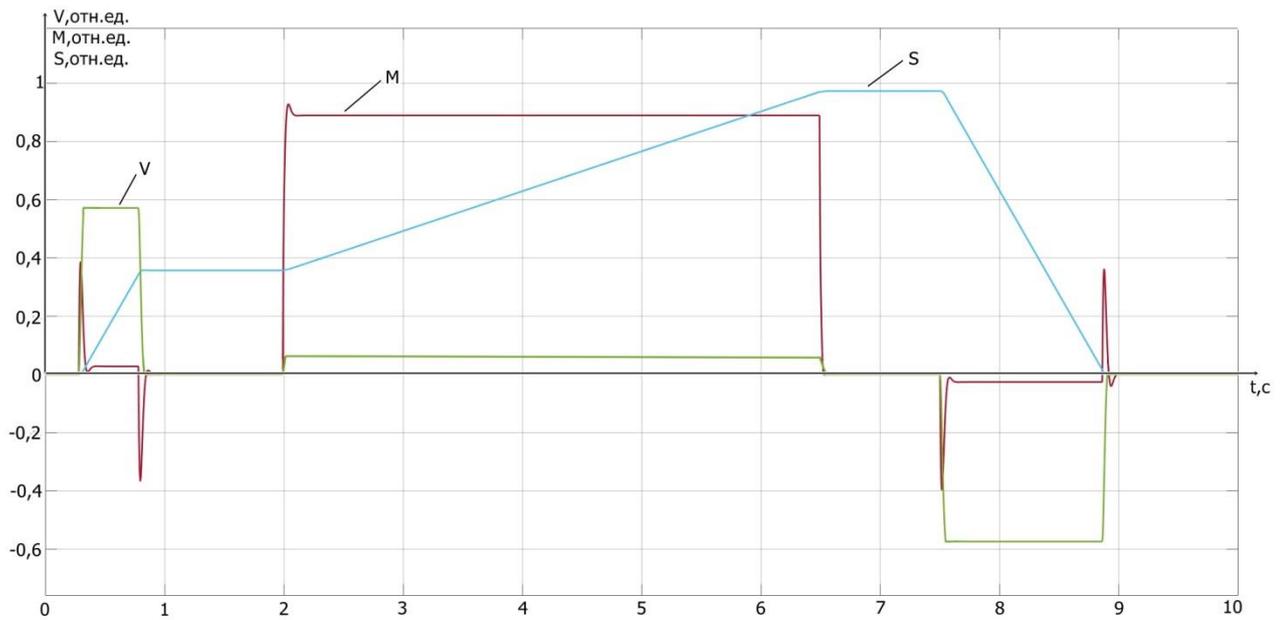


Рисунок 19. Результат моделирования

Проанализировав графики можно сделать вывод, что они аналогичны тахограмме и нагрузочной диаграмме привода, а, следовательно, математическая модель системы рассчитана верно. Полученные результаты моделирования удовлетворяют выдвинутым требованиям.

3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

3.1 Краткая характеристика участка

Первый цех занимается производством бесшовных горячедеформированных труб диаметром 245—550 мм. Бесшовные горячекатаные трубы используются в нефтяной, газовой и других отраслях промышленности.

В производстве горячедеформированных труб используются непрерывные литые заготовки (НЛЗ). Слитки поступают на склад заготовок где производится контроль микро и макроструктуры слитка. Слитки, прошедшие контроль качества, нарезают на заготовки нужной длины. Спецметалл отправляют на специальный глубокосверильный станок. В заготовках спецметалла делают отверстие с целью усиленного нагрева заготовки в методической печи, чтобы на прошивном стане формоизменение металла проходило плавно. Остальные заготовки сортируются в соответствии с маркой стали и размерами.

На данный момент в ТПЦ №1 работает около 1 тыс. сотрудников, в том числе на участке отделки труб, слитков и заготовок специального назначения – 35 человек. В цеху реализовано непрерывное производство в 4 смены(А,В,С,Д).

В данном курсовом проекте будет проведен расчёт реконструкции привода подачи глубокосверильного станка. Планируемая прибыль будет получена за счет увеличения рабочего времени станка, которое в свою очередь будет получено за счет уменьшения текущих простоев оборудования.

3.2 Расчет производственной программы цеха

Производственная программа или годовой объем производства продукции на участке отделки труб, слитков и заготовок специального назначения определяется производительностью в единицу рабочего времени и фондом рабочего времени.

Таблица 8. Техничко-экономические показатели станка

Показатель	Единица измерения	Станок
Масса заготовки	тонн	7
Календарные сутки	сутки	365
Цикл производства	часа	4
Планово-предупредительные ремонты	сутки	26
Номинальное время	сутки	339
Текущие простои	сутки	43
Фактическое время	сутки	296
Коэффициент использования агрегата	-	0,9
Средняя производительность	тонн/сутки	42

Для расчета производственной программы цеха требуется составить баланс времени работы оборудования. Существует календарное, номинальное и фактическое время работы стана.

Глубокосверлильный станок относится к агрегатам непрерывного производства, иными словами работа станка продолжается в выходные и праздничные дни.

Годовой фонд рабочего времени глубокосверлильного станка КЖ1911:

$$T_{\phi} = T_{\text{кл}} - T_{\text{кр}} - T_{\text{тр}} - T_{\text{пр}}, \quad (46)$$

где $T_{\text{кл}}$ - календарное время работы, ч; $T_{\text{кр}}$ – время капитальных ремонтов, ч; $T_{\text{тр}}$ – время текущих ремонтов, ч; $T_{\text{пр}}$ - время текущих простоев, ч; T_{ϕ} – годовой фонд, ч.

$$T_{\phi} = 8760 - 480 - 552 = 7728 \text{ ч.}$$

Баланс времени работы глубокосверлильного станка представлен в таблице 9.

Таблица 9. Баланс рабочего времени станка

Планово-предупредительные ремонты (ППР)		Номинальное время $T_{ном}=339$ суток = 8136ч	
Капитальные ремонты ($T_{кр}$)	Текущие ремонты ($T_{тр}$)	Текущие простои	
ППР = 20 суток=480ч		Внеплановые ремонты и простои	Аварии
		Фактическое время работы $T_{ф}$	
		$T_{пр}= 23$ суток = 552ч	$T_{ф}=7728$ ч

Планируемое увеличение рабочего времени станка будет осуществляться за счет уменьшения времени текущих простоев на 30%. Следовательно, номинальное и фактическое время после реконструкции:

$$T_{ф} = 8760 - 480 - 552 = 7728 \text{ ч.}$$

Расчет производительности станка в сутки:

$$P = \frac{24 \cdot g \cdot K_{Г} \cdot K_{И}}{t}, \quad (47)$$

где t –цикл, ч; g –масса заготовки, т; $K_{Г}$ –коэффициент выхода годного; $K_{И}$ – коэффициент использования станка.

До реконструкции:

$$P = \frac{24 \cdot 7 \cdot 0,8 \cdot 0,9}{3} = 40 \text{ т.}$$

Годовой объем производства продукции:

$$W_{г} = P \cdot T_{ф} \quad (48)$$

До реконструкции:

$$W_{г1} = 42 \cdot \frac{7728}{24} = 13524 \text{ т/год}$$

После реконструкции:

$$W_{r2} = 42 \cdot \frac{7894}{24} = 13815 \text{ т/год}$$

Таблица 10. Расчет производственной программы цеха

Показатель	Величина	
	До модернизации	После модернизации
Текущие простои, ч	552	332,4
Фактическое время, ч	7728	7894
Производительность, т/год	13524	13815

3.3 Расчет сметы единовременных (капитальных) затрат

Общая величина капитальных вложений включает в себя приобретение, транспортировку и монтаж оборудования, а также строительные работы и затраты на приобретение производственных площадей.

Капитальные затраты:

$$K = Ц_{об} + T_p + Z_{смр} + Z_{нр}, \quad (49)$$

где K – единовременные (капитальные) затраты, руб.; $Ц_{об}$ – стоимость оборудования, руб.; T_p – транспортные расходы, руб.; $Z_{смр}$ – затраты на строительно-монтажные работы, руб.; $Z_{нр}$ – непредвиденные расходы.

Затраты на монтаж оборудования определяются в размере 10-15% от стоимости оборудования в зависимости от сложности выполняемых работ.

Транспортные расходы берутся в размере 6-10% от стоимости оборудования.

Прочее неучтенное оборудование представляет собой различные кабели, переходники и т.д., составляет 10-20% от стоимости учтенного оборудования.

Расчет стоимости оборудования представлен в таблицах 11- 13.

Таблица 11. Расчет стоимости приобретаемого оборудования

Наименование	Количество единиц	Цена за единицу, руб.	Общая стоимость, руб.
Новое оборудование			
Двигатель Siemens 1FT7	1	415558	415558
Модуль управления Siemens	1	46958	46958
Силовой модуль SINAMICSS120	1	101099	101099
Сетевой дроссель Siemens	1	24574	24574
Контактор Siemens	1	3144	3144
Наименование	Количество единиц	Цена за единицу, руб.	Общая стоимость, руб.
Выключатель Siemens	1	8849	8849
Контроллер SimaticS7-1500	1	282651	282651
Абсолютный энкодер Siemens	1	94003	94003
Итого стоимость учтенного оборудования	–	–	1026836
Стоимость неучтенного оборудования	–	–	185367
Итого стоимость оборудования	–	–	1162203
Демонтируемое оборудование			
Тиристорный преобразователь БТУ - 3601	1	21200	21200
Наименование	Количество единиц	Цена за единицу, руб.	Общая стоимость, руб.
Сельсин – датчик БД 501- НА	1	4999	4999

Продолжение таблицы 11.

Демонтируемое оборудование			
Тахогенератор ТД-102	1	2499	2499
Стоимость неучтенного оборудования	–	–	2870
Итого стоимость оборудования	–	–	31568

Затраты на запасные части берутся в размере 3% от стоимости оборудования.

Таблица 12. Расчет затрат на запчасти

Наименование	Затраты на запчасти, руб.
Двигатель	11067
Модуль управления	1409
Силовой модуль	3333
Сетевой дроссель	737
Контактор	94
Выключатель	265
Контроллер	9080
Абсолютный энкодер	2820
Итого, руб	28805

Таблица 13. Расчет прочих затрат

Наименование	Статьи расходов, руб.
Затраты на строительно-монтажные работы	164830
Транспортные расходы	116300

Капитальные затраты на оборудование:

$$K = 1162203 + 184830 + 126300 + 30805 = 1504138 \text{ руб}$$

Затраты на демонтаж оборудования в данном случае составляют часть от затрат на его монтаж. Демонтируемое оборудование в дальнейшем не будет использоваться на предприятии, то оно направляется в лом. В этом случае часть затрат на демонтаж составит 30% монтажных работ:

$$D = Z_{\text{смп}} \cdot 0,3 \quad (50)$$

$$D = 184830 \cdot 0,3 = 55449 \text{ руб.}$$

3.4 Расчет затрат на содержание и эксплуатацию оборудования

В стоимость затрат на ремонт и обслуживание входит множество элементов, а именно: – стоимость потребляемой энергии; – стоимость необходимых материалов; – стоимость запасных частей; – стоимость используемого инструмента и инвентаря; – заработная плата дежурного и ремонтного персонала. Из всех этих элементов прямой расчет возможен лишь для заработной платы дежурного и ремонтного персонала. Затраты на ремонт и обслуживания рассчитываются как произведение ежегодной суммы амортизации A и коэффициента k , отражающего долю затрат на содержание оборудования. Требуется определить состав и размер эксплуатационных расходов, связанных с работой электрооборудования.

Затраты на эксплуатацию системы электропривода:

$$C = \mathcal{E} + A + C_{\text{тр}} \quad (51)$$

где \mathcal{E} – потери электроэнергии; A – амортизационные отчисления; $C_{\text{тр}}$ – затраты на текущий ремонт и обслуживание электрооборудования.

Расчет потерь электроэнергии определяются умножением стоимости 1кВт/ч на количество потерянной энергии за год, если данный участок получает электроэнергию от собственной подстанции.

Стоимость потерь электроэнергии:

$$\mathcal{E} = P \cdot T_{\text{ф}} \cdot C_{\text{э}}; \quad (52)$$

где P – мощность установки, кВт; T_{ϕ} – фактическое время работы электрооборудования за год, ч; C_{ϕ} – цена за 1 кВт·ч электроэнергии.

Затраты на электроэнергию до реконструкции:

$$\mathcal{E} = 11 \cdot 7104 \cdot 3,3 = 257875,2 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию после реконструкции:

$$\mathcal{E} = 10,5 \cdot 7414 \cdot 3,3 = 256895,1 \text{ руб.}$$

Расчет годовой суммы амортизационных отчислений производится на основе капитальных затрат на оборудование и нормы амортизации для него.

Норма амортизации по оборудованию:

$$H_a = \frac{100}{T_a} \quad (53)$$

$$H_a = \frac{100}{15} = 6,67\%$$

где H_a – норма амортизации оборудования, %; T_a – нормативный срок службы оборудования, равный 15-ти лет для нового оборудования, лет.

Сумма амортизации нового оборудования будет определяться как:

$$A = \frac{K \cdot H_a}{100\%} \quad (54)$$

$$A = \frac{1574138 \cdot 6,67\%}{100\%} = 104995 \text{ руб.}$$

Величина затрат на ремонты и обслуживание состоит из:

- Стоимость энергии всех видов;
- Материалов;
- Запасных частей;
- Инструмента и инвентаря;
- Заработной платы ремонтного и дежурного персонала.

В рамках дипломного проекта из множества этих элементов рассчитывается только заработная плата. Доля затрат на содержание основных средств принимается равной $k=0,2$.

Величина затрат на ремонт нового оборудования:

$$C_{\text{тр}} = k \cdot A \quad (55)$$

$$C_{\text{тр}} = 0,2 \cdot 104995 = 20999 \text{ руб.}$$

Сумма годовых затрат на эксплуатацию системы электропривода до реконструкции:

$$C = \Xi + A + C_{\text{тр}} \quad (56)$$

$$C = 33781,7 + 275540 = 309321,7 \text{ руб.}$$

Сумма годовых затрат на эксплуатацию системы электропривода после реконструкции:

$$C = 22863,7 + 104995 + 20999 = 148857,7 \text{ руб.}$$

Из предоставленных данных ремонт оборудования до реконструкции обходился в 304691,3 рублей в год.

Результаты расчетов сведены в таблицу 14.

Таблица 14. Расчет РСЭО, руб.

Показатели	Значения		Отклонение
	До реконструкции	После реконструкции	
Затраты на электроэнергию	257875,2	256895,1	-980,1
Затраты на амортизацию	0	104995	104995
Затраты на ремонт	304691,3	20999	-254541
ИТОГО	562566,5	382889,1	-179677,4

Исходя из результатов, можно сделать вывод, что экономия на РСЭО составит 179677,4 руб.

3.5 Расчет на материалы и оплату труда со страховыми отчислениями

В современном мире любое предприятие имеет возможность получать прибыль не только при осуществлении производственной деятельности, но также и посредством инвестиционной. Однако основным отличием инвестиционной прибыли от финансовой прибыли является период, на протяжении которого ее можно получить. Общий фонд заработной платы (ЗП) складывается из основной и дополнительной заработной платы производственных рабочих, а также ЗП руководителей и специалистов. К основной ЗП относится оплата труда по тарифным ставкам и окладам согласно тарифной сетке в зависимости от разряда производственных рабочих. Оплата труда руководителей и специалистов осуществляется в пределах должностных окладов, установленных на предприятии, в зависимости от сложности работы, уровня его квалификации и стажа. К дополнительной ЗП относят доплаты компенсирующего, стимулирующего, мотивационного характеров и выплаты с целью регионального регулирования. Глубокосверлильный станок запускается и настраивается оператором. Таким образом, рабочий день такого производственного рабочего равен 12 часам и имеет 2 смены (так как ведется непрерывное производство). Тогда за год количество часов определено значение 8640 (12 часов по 2 смены 365 дней).

Количество рабочих обслуживающих и производящих ремонт станка не изменяется в результате реконструкции. Оборудование постоянно обслуживается дежурным электромонтером, слесарем и гидравликом 6 разряда. График работы – непрерывный, двухсменный. Часовая тарифная ставка 123,50 рублей в час.

Годовая заработная плата производственного рабочего 6 разряда:

$$ЗП_{\text{п}} = C_i \cdot t, \quad (57)$$

где C_i – тарифная ставка, рублей в час; t – количество отработанного времени, для 2019 года равно 1970 часов.

$$ЗП_{\text{п}} = 123,50 \cdot 1970 = 243295 \text{ руб.}$$

Тогда годовая заработная плата производственных рабочих, обслуживающих и ремонтирующих станок:

$$ЗП_{\pi} = 123,50 \cdot 1970 \cdot 4 = 973180 \text{ руб.}$$

Доплаты за работу в ночное время составляют 20% от оклада, доплата за работу в праздничные дни примем 4% от оклада, доплата за работу вредными условиями труда 6%.

Сумма всех доплат:

$$973180 \cdot (0,2+0,04+0,06) = 291954 \text{ руб.}$$

Выплатами стимулирующего характера, называют такие выплаты, как : выплаты за интенсивность и высокие показатели работы, выплаты за качество выполненной работы, выплаты за стаж непрерывной работы, выслуга лет, премиальные выплаты. Указанные виды примем условно в размере 10 % оклада:

$$973180 \cdot 0,1 = 97318 \text{ руб.}$$

При расчетах примем следующие проценты от оклада для премиальных отчислений: основные рабочие – 40 %, вспомогательные рабочие, руководители и специалисты – 25 %. Тогда премиальная оплата труда определена:

$$973180 \cdot 0,25 = 243295 \text{ руб.}$$

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

$$973180 \cdot 0,1 = 97318 \text{ руб.}$$

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

$$ЗП_{\pi\phi} = (973180+291954+97318+243295+97318)+15\% = 1958525 \text{ руб.}$$

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%):

$$O_{\text{сн}} = 1958525 \cdot 0,3 = 587557 \text{ руб.}$$

Таким образом, затраты на оплату труда со страховыми отчислениями:

$$З = 1958525 + 587557 = 2546082 \text{ руб.}$$

После реконструкции затраты на оплату труда со страховыми отчислениями остаются прежними.

3.6 Расчет прибыли и показателей рентабельности

В наше время любое крупное и даже любое предприятие может получать доход не только при осуществлении производственной деятельности, но и также посредством инвестиционной программы. Однако основным отличием инвестиционной прибыли от финансовой прибыли является период, на протяжении которого ее можно получить. Любое производство ориентировано на получение прибыли, которая является важнейшим показателем эффективности работы предприятия. Итогом модернизации является увеличение фактического времени работы установки. Прирост прибыли происходит за счет реализации продукции, произведенной за время уменьшения простоев агрегата. За время порой длительного ожидания окупаемости инвестиций, в стране могут произойти различные, подчас существенные, изменения не только в потребительском спросе, но в уровне цен, макроэкономической ситуации. При этом может произойти обесценения вложенного капитала. Все вышеперечисленное требует особого подхода к оценке эффективности долгосрочных инвестиций на начальном этапе разработки проектов.

Согласно предоставленным данным себестоимость одной тонны продукции до реконструкции составляет 65800 руб. Средняя цена за тонну на бесшовные горячедеформированные трубы составляет 72000 руб.

Чистую прибыль можно определить по формуле:

$$\Pi = (C_p - C) \cdot N, \quad (58)$$

где C_p - цена реализации 1 тонны продукции, руб; C – себестоимость 1 тонны продукции, руб; N – налог на прибыль, равный 20%.

Чистая прибыль до реконструкции:

$$\Pi_1 = (72000 - 68500) \cdot 13524 \cdot 0,8 = 37867200 \text{ руб.}$$

После реконструкции изменяется себестоимость продукции в связи с экономией на РСЭО. Новую себестоимость можно определить по формуле:

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot W_1 - \Delta \text{РСЭО}}{W_1}, \quad (59)$$

где $\Delta \text{РСЭО} = 179677,4$ (разница РСЭО после реконструкции).

Себестоимость продукции после реконструкции:

$$C_2 = \frac{68500 \cdot 13815 - 179677,4}{13815} = 68487 \text{ руб.}$$

Чистая прибыль после модернизации:

$$\Pi_2 = (72000 - 68487) \cdot 13815 \cdot 0,8 = 38825676 \text{ руб.}$$

Рентабельность продукции будем определять как отношение прибыли от реализации 1 тонны продукции к себестоимости

$$R = \frac{72000 - 68487}{68487} \cdot 100\% = 5,12\%$$

3.7 Расчет срока окупаемости проекта

Срок окупаемости инвестиций (Ток) – это период, начиная с которого первоначальные вложения и дополнительные расходы средств, связанные с инвестиционным проектом, покрываются суммарными результатами его

осуществления. Сроком окупаемости называется отрезок времени, после которого доход от проекта сравнивается с суммой затраченных на него средств . Поскольку инвестиции осуществляются лишь один раз в самом начале, и прибыль от проведенного проекта будет поступать равными частями, применим для расчета простой метод окупаемости. Срок окупаемости будем рассчитывать время, за которое возместятся капитальные растраты тем, что рассчитаем чистые поступления.

Срок окупаемости можно рассчитать по следующей формуле:

$$T_{ок} = \frac{K}{\Delta\Pi + \Delta PCЭО} \quad (60)$$

где K – величина капиталовложений, р; P – годовая прибыль от внедрения мероприятий (результат), р

Срок окупаемости проекта:

$$T_{ок} = \frac{1504138}{(38825676 - 37867200) + 179677,4} = 1,4г.$$

Таким образом, проект окупается за 1 год и 4 месяцев.

3.8 Сводная таблица технико-экономических расчетов

Технико-экономические расчеты модернизации системы управления глубокосверлильного станка представлены в таблице 15.

Таблица 15. Технико-экономические показатели

Показатели	Величина		Отклонение
	До реконст.	После реконст.	
Внеплановый ремонт $T_{вр}$, ч	552	332,4	-219,6

Продолжение таблицы 15.

Показатели	Величина		Отклонение
	До реконст.	После реконст.	
Фактическое время Тф, ч	7728	7894	166
Производительность Р, т/ч	40	42	2
Производственная программа W, т/год	13524	13815	291
Затраты на электроэнергию Э, руб/год	257875,2	256895,1	-980,1
Амортизационные отчисления А, руб/год	0	104995	104995
Затраты на ремонт, руб/год	304691,3	20999	-283692,3
Себестоимость продукции С ,руб/т	68500	68487	-13
Чистая прибыль П, млн.руб/год	37867200	38825676	958476

В итоге были рассчитаны технико-экономические показатели модернизации системы управления глубокосверлильного станка и привода стеблевой бабки. Определена производственная программа разработки мехатронной системы подвижной каретки, рассчитаны смета капитальных вложений, затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, а также произведена оценка эффективности капитальных вложений.

Решение проблем связанных с устаревшим оборудованием позволяет сократить время внеплановых ремонтов, увеличив фактическое время работы станка с 7728 ч до 7894ч. В результате производственная программа станка на год увеличилась на 291 т.

Так же разница затрат на содержание и эксплуатацию оборудования до и после реконструкции составила 179677,4 руб. В результате себестоимость продукции составила 68487 руб.

Капитальные вложения составили 1504138 руб., срок окупаемости проекта 1 год 4 месяцев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выпускной квалификационной работы был рассмотрен вопрос модернизации системы управления глубокосверлильного станка.

В рамках данной работы были рассчитаны технико-экономические показатели мехатронной системы, определена производственная программа, рассчитаны смета капитальных затрат, затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, чистый дисконтированный доход, срок окупаемости и показатель индекса доходности. При расчетах было установлено, что при модернизации будет уменьшено время внеплановых ремонтов, что привело к увеличению фактического времени работы агрегата с 7728 часов до 7894 часов в год.

Исходя из особенностей технологического процесса станка был выдвинут ряд требований к системам привода и автоматизации. В ходе расчетов был выбран двигатель фирмы Siemens 1FT7 с мощностью 10,5 кВт, который прошел проверку по нагреву и перегрузочной способности. Для управления двигателем был выбран частотный преобразователь фирмы Siemens линейка SINAMICSS120. Так же были рассчитаны защитные устройства.

Была построена архитектура системы автоматизации (2 уровня), выбран контроллер Siemens S7-1500 и абсолютный энкодер Siemens 6FX2001-5HS24.

В среде Matlab Simulink была построена математическая модель системы. В результате моделирования был получен необходимый технологический процесс, в котором выполняются все выдвинутые требования.

Капитальные вложения в реконструкцию составляют 1504138 руб. Данная сумма включает стоимость основного и вспомогательного оборудования, расходы на транспортировку оборудования, его установку и непредвиденные расходы. Срок окупаемости проекта составил 1 год 4 месяцев.

С помощью технико-экономических расчетов была подтверждена экономическая эффективность предполагаемой реконструкции.

Все задачи, поставленные ВКР, выполнены, а цель достигнута.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Металлорежущие станки: методические указания /сост. А.А. Шульга И.И. Полупан. – Краматорск: Изд. ДГМА, 2012. – 123с.
2. <https://chelpipe.ru>
3. Челябинский трубопрокатный завод. - <https://www.lastech.ru/chelyabinskij-truboprokatnyj-zavod.html>
4. Станок глубоководный специальный КЖ 1911: руководство по эксплуатации / разработ. Шульженко И.Я. – Краматорск: Изд. КЗТС, 1983. – 136с.
5. Требования к приводам подачи. – <http://dozihmash.ru/stanki/stankinew16.php>
6. Синхронный двигатель с постоянными магнитами. – <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/pmsm/>
7. Тарзиманов Г.А. Проектирование металлорежущих станков. / Г.А. Тарзиманов – 2-е изд., испр. и доп. – М: Машиностроение, 1972. – 312 с.
8. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/Product/1FT7108-5AC71-1DA0>
9. Ключев В.И. Теория электропривода: учеб. для вузов / В.И. Ключев. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
10. <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/Products/10045435tree=CatalogTree>
11. <http://simatic-market.ru/Siemens-CA01/4EP3700-2US00/>
12. <https://www.siemens-pro.ru/3rt1035/3RT10351AP00.html>
13. <http://simatic-market.ru/Siemens-CA01/3RV1042-4JA10/>
14. Технические средства автоматизации и управления: учебное пособие/ А.А. Старостин А.В. Лаптева – Екатеринбург: Изд. Урал. ун-та, 2015.–168с.
15. <https://www.siemens-pro.ru/components/s7-1500.htm>
16. <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Product/6FX2001-5HS24>

17. Определение экономической эффективности технических решений в дипломных проектах: методические указания/ сост. Т.В. Попп – Екатеринбург: УрГУПС, 2014. – 30с.

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