

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**
Институт «Политехнический», факультет «Энергетический»
Кафедра «Автоматизированный электропривод»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

_____/А.Н. Шишков/

“ _____ ” _____ 2017 г.

Модернизация алгоритма работы электропривода промышленной установки

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОМУ
КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ (РАБОТЕ)**

ЮУрГУ-13.03.02.2017.890 ВКП (ВКР)

Руководитель проекта:
Профессор, д.т.н.

_____/В. Л. Кодкин/

“ _____ ” _____ 2017 г.

Автор проекта
студент группы _____ ПЗ-576 _____

_____/В. А. Окулов/

“ _____ ” _____ 2017 г.

Нормоконтролер:
Доцент, к.т.н.

_____/Т.А. Функ/

“ _____ ” _____ 2017 г.

Челябинск 2017 г.

АННОТАЦИЯ

Окулов В.А. Модернизация алгоритма работы электропривода промышленной установки. – Челябинск: ЮУрГУ, ПЗ; 2017, 45 с., 22 ил., 5 табл., библиографический список – 12 наим.

Согласно заданию, в данной выпускной квалификационной работе рассматривается модернизация алгоритма работы электропривода промышленной установки. В качестве промышленной установки принимается токарно-револьверный станок с вертикальной осью револьверной головки 1325Ф30.

Рассмотрены устройство и технические характеристики станка 1325Ф30, выявлены его основные недостатки и предложены варианты его модернизации.

В данной работе произведен выбор системы управления ЧПУ, проведена проверка двигателя по мощности и рассчитаны режимы резания станка. Так же был выбран тиристорный преобразователь и описан алгоритм его настройки.

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.12890.01ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
<i>Разраб.</i>		Окулов В.А.			<i>Модернизация алгоритма работы электропривода промышленной установки</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Кодкин В.Л.					4	45
<i>Реценз</i>						ЮУрГУ Кафедра «АЭП»		
<i>Н. Контр.</i>		Функ Т.А.						
<i>Утверд.</i>		Шишков А.Н.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АКТУАЛЬНОСТЬ РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ.....	8
1.1 Актуальность выпускной квалификационной работы.....	8
1.2 Описание модернизируемого станка с ЧПУ.....	8
2 ВЫБОР СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	11
2.1 Сравнение ЧПУ НЦ-31 и NC-210.....	11
2.2 Структурная схема связи ЧПУ и ТП.....	16
3 ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.....	18
3.1 Расчет режимов резания.....	18
3.2 Предварительная проверка двигателя по мощности.....	22
3.3 Построение нагрузочной диаграммы электропривода.....	27
4 ВЫБОР ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ (ТП).....	33
4.1 Сравнение приводов КЕМТОК и SDC-1V.....	33
4.2 Описание привода SDC-1V.....	36
4.3 Настройка привода VDC-1V.....	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	44
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	45

ВВЕДЕНИЕ

Федеральное государственное унитарное предприятие «Производственное объединение «Октябрь» – крупный российский производитель сложной приборной продукции. Имеет шестидесятилетний опыт выпуска бортовых систем радионавигации и радиолокации для всех видов воздушного, наземного и морского транспорта, систем управления и средств безопасности для железнодорожного подвижного состава, системы мониторинга оборудования нефтедобычи и комплексов электроэнергетики.

Основное оборудование: Токарно-револьверные станки с ЧПУ, токарные обрабатывающие центры, многофункциональные обрабатывающие центры, фрезерные обрабатывающие центры, порталные обрабатывающие центры, конвейерные ленты, покрасочное оборудование.

Токарно-револьверный станок с вертикальной осью револьверной головки 1325Ф30 предназначен для выполнения чистовых и получистовых разнообразных токарных работ в мелкосерийном и индивидуальном производствах. Данный станок эксплуатируется и установлен в ФГУП «ПО«Октябрь» с 1986 года.

В процессе многолетнего использования станок 1325Ф30 удовлетворял потребностям заказчика. Но постоянно растущие требования к изделиям вынудило предприятие отказаться от данного станка в пользу более новых и современных.

Благодаря модернизации возможно существенно улучшить точность и производительность старых станков, а также снизить затраты на ремонт и обслуживание старого и громоздкого оборудования.

Целью выпускной квалификационной работы является повышение производительности токарно-револьверного станка с вертикальной осью револьверной головки 1325Ф30.

					<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.12890.01ПЗ</i>

В рамках поставленных задач необходимо выполнить следующие цели:

- Выбрать систему управления станком;
- Рассчитать ударные нагрузки и режимы резания станка;
- Проверить двигатель по мощности;
- Выбрать и настроить привод;

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.12890.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

1 АКТУАЛЬНОСТЬ РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ

1.1 Актуальность выпускной квалификационной работы

В настоящее время на многих промышленных предприятиях стоят станки с ЧПУ комплектация которых соответствует 90-ым, 80-ым и даже 70-ым годам. Данные станки уже не могут обеспечивать заданную точность. Так же они имеют очень большие габариты, высокое энергопотребление и на их ремонт затрачивается много средств. С каждым годом такие станки становятся все менее ремонтпригодными. В условиях ограниченности средств предприятий обновление всего парка станков становится практически невозможным. Модернизация может существенно сократить затраты предприятия на ремонт и обслуживание старых станков.

Обычно модернизация станка ассоциируется с заменой системы управления ЧПУ. Пользователю хочется получить современную систему, которая отвечает всем современным требованиям, которая будет во много раз производительнее и надежнее старой.

На практике такое решение не всегда оказывается удачным. Ведь при этом не увеличивается надежность старых: приводов, датчиков, электроавтоматики и двигателей. Так же возникают новые проблемы, такие как, обучение: операторов, наладчиков, технологов и электронщиков новой системе управления. Поэтому, для успешной модернизации станка достаточно заменить физически изношенные устройства станка и произвести ремонт менее изношенных устройств станка.

1.2 Описание модернизируемого станка с ЧПУ

Станок 1325Ф30 – токарно-револьверный прутково-патронный с вертикальной головкой с ЧПУ.

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.12890.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Предназначен для токарной обработки деталей из прутка диаметром от 18 до 25 мм в условиях среднесерийного и мелкосерийного производства.



Рисунок 1.1 – Общий вид станка с ЧПУ 1325Ф30

На станке можно производить следующие виды токарной обработки: обточку, расточку, подрезку, проточку канавок, сверление, зенкерование, развертывание, нарезание резьб метчиками и плашками, а также резцами, обточку и расточку конических поверхностей, а также криволинейных поверхностей, образованных радиусами.

Станок имеет жесткую конструкцию станины и корпуса шпиндельной бабки, а также шпиндельных опор и базовых деталей других узлов. Шпиндель смонтирован на высокоточных подшипниках.

Привод главного движения состоит из двухскоростного асинхронного электродвигателя и коробки скоростей с электромагнитными муфтами.

Скорости шпинделя переключаются автоматически за счет включения электромагнитных муфт и переключения скоростей двигателя.

Станок оснащается крестовым суппортом, на котором монтируются приводы продольной подачи суппорта и круговой подачи револьверной головки.

На суппорте установлена двенадцати позиционная револьверная головка с горизонтальной осью вращения. Револьверная головка является автономной сборочной единицей и крепится на верхнюю каретку крестового суппорта. Конструкция револьверной головки обеспечивает высокую жесткость и точность поворота (фиксация головки на плоские зубчатые колеса), а также высокое быстродействие. Двенадцати позиционная головка обеспечивает широкие технологические возможности станка и повышает его производительность.

Механизм подачи и зажима прутка работает от индивидуального электродвигателя. Во время работы механизма подачи и зажима прутка вращение шпинделя автоматически прерывается. Регулировка величины подачи прутка осуществляется перемещением камня кулисы. Подача прутка производится плавно с постоянной величиной разгона и торможения.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.12890.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

2 ВЫБОР СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

2.1 Сравнение ЧПУ НЦ-31 и NC-210

На станке 1325Ф30 в изначальной комплектации стоит ЧПУ Электроника НЦ-31, которая осуществляет управление всеми основными органами управления станка (рисунок 2.1).

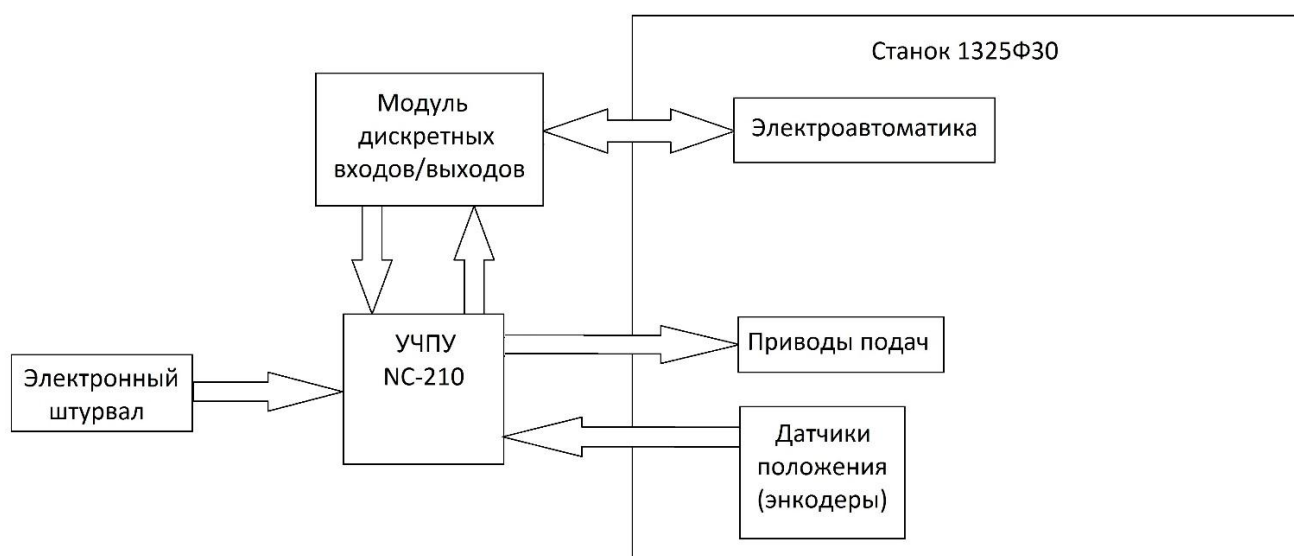


Рисунок 2.1 – Структурная схема станка с ЧПУ

Электроника НЦ-31 система управления типа ЧПУ (рисунок 2.2). Данная система предназначена для управления станками со следящими приводами по двум координатным осям, приводом главного движения и фото импульсными датчиками (энкодерами). Система поддерживает мультипроцессорные конфигурации (до четырех процессов), в стандартной конфигурации корзина позволяет использовать два процессора, но как правило применяется однопроцессорная конфигурация. Основной областью применения устройства является управление токарными станками.

Система ЧПУ «Электроника НЦ-31» является одной из наиболее распространенных систем ЧПУ для станков токарной группы, несмотря на свой более чем 40-летний возраст.

Отсутствие в настоящий момент комплектующих и запасных частей к НЦ-31 в комплексе с довольно большим износом, и как следствие большим количеством сбоев и отказов, сделало эту популярную систему довольно неудобной в эксплуатации.

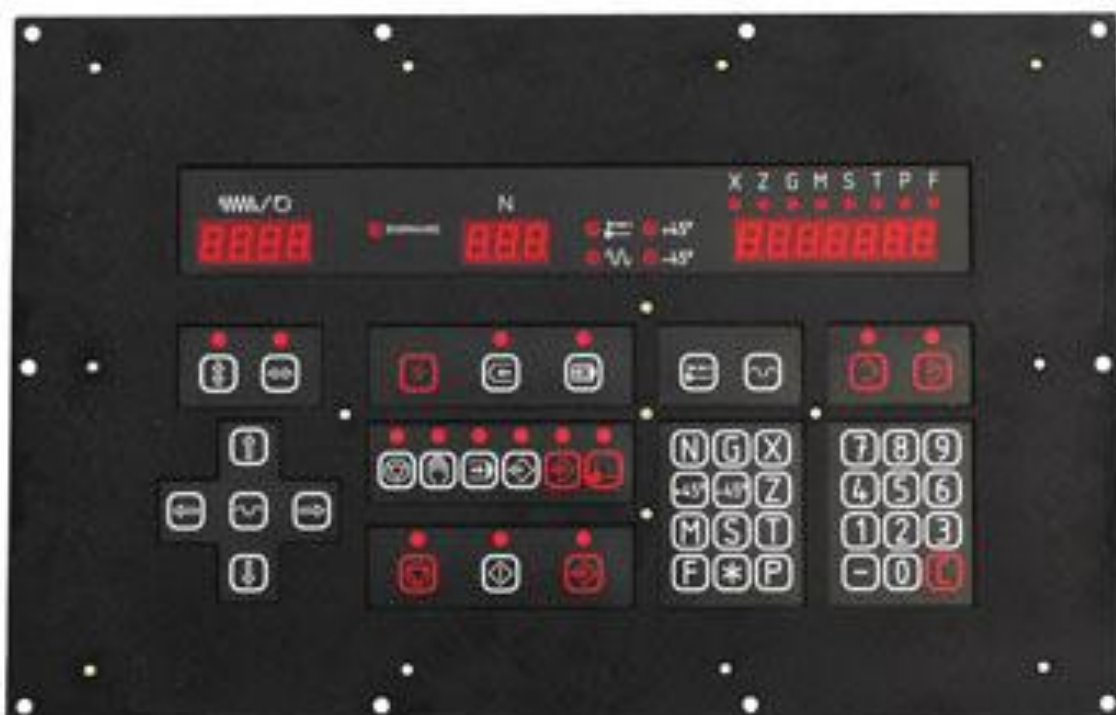


Рисунок 2.2 – Внешний вид Электроника НЦ-31

NC-210 (рисунок 2.3) компактное модельное устройство, которое объединило в единое целое блок управления, пульт оператора, станочный пульты и программное обеспечение с высокой степенью функциональности. Эти качества устройство ЧПУ в сочетании с низкой ценой позволяют эффективно использовать их для управления токарными, фрезерными, лазерными, газопламенными и другими типами станков.



Рисунок 2.3 – Внешний вид NC-210

Так же ЧПУ NC-210 имеет встроенный ПЛК и отладчик который поддерживает два языка общепромышленного программирования LD и ST, что значительно упрощает написание и отладку программы электроавтоматики. Немаловажной опцией является и наличие встроенного САПР для написания управляющей программы обработки детали (рисунок 2.4). Данная опция позволяет легко и быстро написать программу управления даже неподготовленному человеку. Оператору нужно выбрать нужный цикл и задать основные параметры нарезания заготовки. Таким образом растет производительность станка.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2017.12890.01ПЗ

Лист

13



Рисунок 2.4 – Визуальное программирование на NC-210

Сводная таблица характеристик ЧПУ Электроника НЦ-31 и NC-210 представлена в таблице 1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики Электроника Нц-31 и NC-210

Наименование параметров	Ед.Изм.	НЦ-31	NC-210
Число управляемых координат		3 (2 оси шпиндель)	4 (3 оси и шпиндель)
Число одновременно управляемых координат		2	4

Продолжение таблицы 2.1

Наименование параметров	Ед.Изм	НЦ-31	НС-210
Линейная круговая интерполяция, резьбонарезание		Да	Да
Точность позиционирования (дискрет задания)	дискрета	1	1
Количество запоминаемых кадров	кадров	250 · 5	Ограничивается внутренней памятью + возможность подключения внешних носителей, таких как: флеш-карт и гибких дисков.
Максимальное число инструментов	шт	99	999
Количество входов электроавтоматики		15	24
Количество выходов электроавтоматики		16	16

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЮУрГУ-13.03.02.2017.12890.01ПЗ

Лист

15

Продолжение 2.1

Наименование параметров	Ед.Изм	НЦ-31	NC-210
Дополнительные опции		-	-Встроенный PLC контроллер; -Встроенный PLC отладчик; -Внешние каналы: FDD, RS-232/485, LAN, USB; -Цветной дисплей;
Напряжение питания	В (Гц)	220 (50)	220 (50)
Потребляемая мощность	Вт	400	250

Вывод: Система управления ЧПУ NC-210 превосходит НЦ-31 по таким параметрам как: число управляемых координат, число одновременно управляемых координат, число запоминаемых кадров, максимальное число инструментов, количество входов электроавтоматики. Так же NC-210 имеет меньшие габариты и малое энергопотребление.

2.2 Структурная схема связи ЧПУ и ТП.

Механизм поперечной подачи станка с ЧПУ как правило представляет собой следящую систему управления положением, построенной по принципам подчиненного регулирования с питанием двигателя постоянного тока от тиристорного преобразователя (рисунок 2.5).

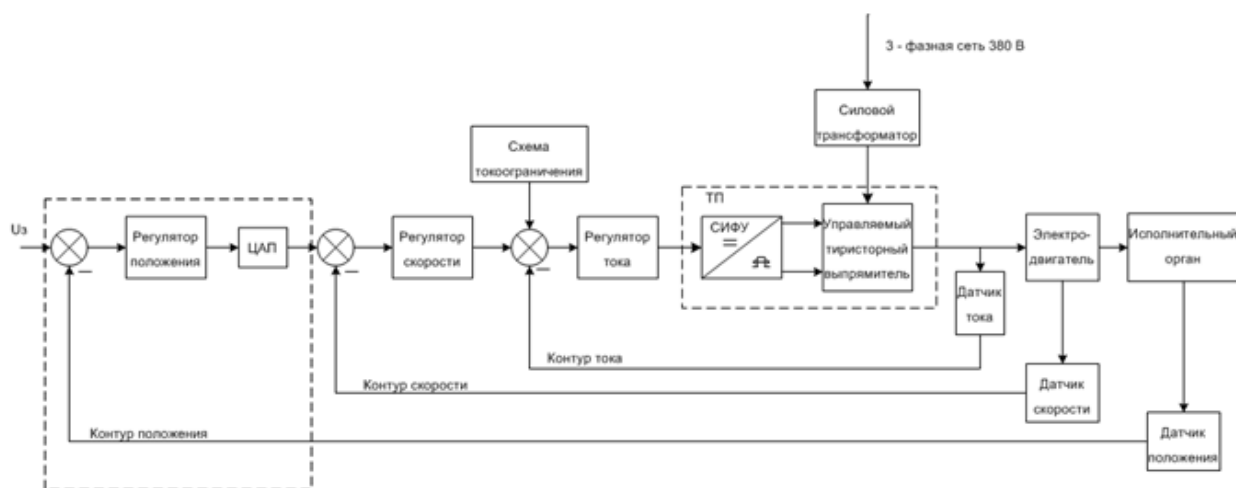


Рисунок 2.5 – Структурная схема связи ЧПУ и ТП

Сущность подчиненного регулирования координат электропривода состоит в том, что для каждой координаты электропривода при регулировании используется свой отдельный регулятор и соответственно своя обратная отрицательная связь. При этом контуры регулирующие координаты образуют концентрическую систему, в котором внутренний контур управляется сигналом от внешнего контура, так как является подчиненным по отношению к нему. Данное построение схемы позволяет выполнить оптимальную настройку с необходимым качеством каждого контура, а также подчинить работу внутренних контуров регулированию основной выходной координаты системы.

3. ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

3.1 Расчет режимов резания

В токарных станках основными приводами являются: главный привод и привода подач (продольная и поперечная). В процессе снятия стружки резцом возникает усилие, приложенное под некоторым углом к режущей кромке инструмента, которое можно представить в виде трех составляющих приведенных на рисунке 2.1.

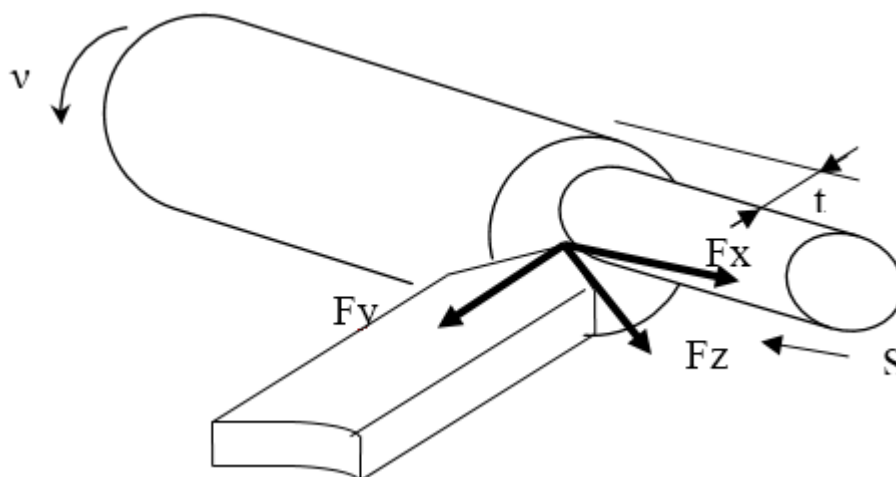


Рисунок 2.1 – Усилия резания: где S – подача,
 t – глубина резания.

В электроприводе поперечной подачи усилие (момент) резания постоянно на всём диапазоне регулирования и это обусловлено большой составляющей сил трения. Оптимальное протекание процесса резания требует от системы управления возможности регулирования скорости.

Скорость резания, м/мин:

$$V_Z = \frac{C_v}{T^{mv} \cdot S^{uv}} \cdot k_v, \quad (1)$$

где C_v – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала, типа резца и вида обработки, $C_v = 47$;

T – стойкость резца, $T = 60$ мин;

mv , uv , – показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого материала: $mv = 0,2$, $uv = 0,8$;

k_v – является произведением коэффициентов, учитывающих влияние материала заготовки $K_{Mv} = 1$, состояния поверхности $K_{Пv} = 1$, материал инструмента $K_{Иv} = 0,65$:

$$k_v = K_{Mv} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv} = 1 \cdot 1 \cdot 0,65 = 0,65.$$

Подставив данные в формулу (1) :

$$v_Z = \frac{47}{60^{0,2} \cdot 0,36^{0,8}} \cdot 0,65 = \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

Частота вращения шпинделя:

$$n_S = \frac{1000 \cdot v_Z}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 72}{\pi \cdot 60} = 71,6 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

Скорость подачи:

$$v_{\Pi} = s \cdot n_S = 0,36 \cdot 71,6 = 25,8 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}.$$

Статическая сила, которая возникает при быстром подводе суппорта:

$$F_{\text{ст}} = m \cdot g \cdot \mu_{\text{тр.кач}}, \quad (2)$$

где $\mu_{\text{тр.кач}} = 0,05 \dots 0,15$ – коэффициент трения качения.

$$F_{\text{ст}} = 150 \cdot 9,81 \cdot 0,15 = 220,7 \text{ Н}.$$

Тогда статический момент:

$$M_{\text{ст}} = F_{\text{ст}} \cdot \rho; \quad (3)$$

$$M_{\text{ст}} = 220,7 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,18 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для определения суммарного усилия подачи при резании необходимо рассчитать составляющие усилия резания F_Y, F_Z :

$$F_Y = 9,81 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_p, \quad (4)$$

где C_p – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала, типа резца и вида обработки, $C_p = 173$;

x, y, n – показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого материала, $x = 0,73, y = 0,67, n = 0$;

K_p – поправочный коэффициент является произведением коэффициентов учитывающих фактические условия резания. Коэффициент качества обрабатываемого материала на силовые зависимости $K_{mp}=1$, коэффициенты учитывающие влияние геометрических параметров режущей части инструмента на составляющие силы резания при обработке:

$$K_{\varphi p} = 1, K_{\gamma p} = 1, K_{\lambda p} = 1;$$

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1.$$

Подставив данные в формулу (10):

$$F_Y = 9,81 \cdot 173 \cdot 15^{0,73} \cdot 0,36^{0,67} \cdot 72^0 \cdot 1 = 6180 \text{ Н};$$

$$F_Z = 9,81 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_p, \quad (5)$$

где C_p – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала, типа резца и вида обработки, $C_p = 408$;

x, y, n – показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого материала, $x = 0,72, y = 0,8, n = 0$;

K_p – поправочный коэффициент является произведением коэффициентов учитывающих фактические условия резания.

Коэффициент качества обрабатываемого материала на силовые зависимости:

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma}{750} \right) = \left(\frac{750}{750} \right) = 1.$$

Подставив данные в формулу (5):

$$F_z = 9,81 \cdot 408 \cdot 15^{0,72} \cdot 0,36^{0,8} \cdot 72^0 \cdot 1 = 12420 \text{ Н.}$$

Суммарное усилие подачи при резании с учётом веса движущихся частей:

$$F_{\Pi} = k \cdot F_x + (F_z + F_y + m) \cdot f ; \quad (6)$$

$$f = 0,05 \dots 0,15 ;$$

$$F_{\Pi} = (12420 + 6180 + 150 \cdot 9,81) \cdot 0,05 = 1004 \text{ Н.}$$

Момент для поперечной подачи:

$$M_c = F_{\Pi} \cdot \rho ; \quad (7)$$

$$M_c = 1004 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,8 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Скоростная и нагрузочная диаграммы механизма представлены на рисунках 3.2 и 3.3.

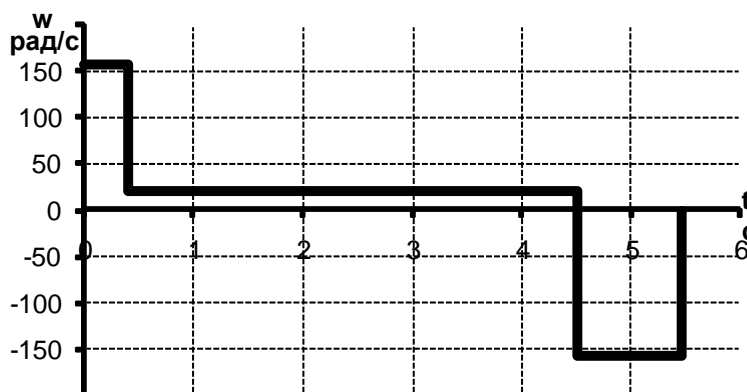


Рисунок 3.2 – Диаграмма задания скорости на привода

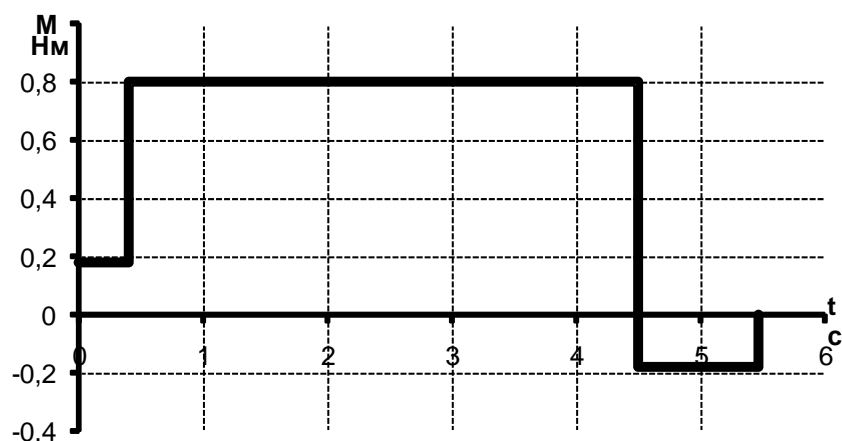


Рисунок 3.3 – Диаграмма сопротивления механизма

При известных значениях усилия и скорости резания можно определить мощность резания, Вт, по формуле:

$$P_z = \frac{F_z \cdot v_z}{60} = 14904 \text{ Вт} .$$

Поскольку мощность подачи составляет (0,1 – 1)% от мощности резания:

$$P_{II} = 0,008 \cdot 14904 = 119 \text{ Вт} .$$

3.2 Предварительная проверка двигателя по мощности

Выбор электродвигателя производится исходя из мощности потребной на подачу резца. В этом случае статическая мощность, Вт, электродвигателя определяется по следующей формуле:

$$P_c = \frac{k \cdot P_z}{\eta_{II}} , \tag{8}$$

где k – коэффициент запаса по мощности, $k = 1,2$;

η_{II} – КПД механической передачи, $\eta_{II} = 0,8$.

$$P_c = \frac{1,2 \cdot 119}{0,8} = 178,5 \text{ Вт} .$$

Максимальной скорости соответствует скорость быстрых перемещений суппорта:

$$v_{Б.МАХ} = 0,125 \frac{м}{с} .$$

Скорость двигателя, которая соответствует скорости быстрых перемещений суппорта :

$$\omega = \frac{v_{Б.МАХ}}{\rho} = \frac{0,125}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 157 \frac{рад}{с} .$$

Этой скорости двигателя соответствует следующая номинальная частота:

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 157}{3,14} = 1500 \frac{об}{мин} .$$

По полученным данным $P_c = 178,5$ Вт и $n = 1500$ об/мин выбирается двигатель согласно условию: $P_{эд} \geq P_c$, указанным критериям удовлетворяет двигатель постоянного тока независимого возбуждения 4МТА. Технические характеристики рассматриваемой машины представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики двигателя 4МТА

Наименование	Обозначение	Величина	Размерность
Напряжение питания номинальное	$U_{ян}$	220	В
Мощность номинальная	P_H	180	Вт
Частота вращения номинальная	n_H	1500	Об/мин
Ток якоря номинальный	$I_{ян}$	1,3	А
Сопrotивление обмотки якоря	$R_я$	17,5	Ом
Механические потери	$P_{МЕХ}$	15	Вт
Масса	m	7,65	Кг
Коэффициент полезного действия	η	0,63	–

Сопротивление якорной цепи при рабочей температуре $R_{яц}$, Ом, рассчитывается по формуле:

$$R_{яц} = R_{я} \cdot \frac{235 + t}{235 + t_0}, \quad (9)$$

где t – рабочая температура обмотки, принимается $t = 75 \text{ C}^\circ$;

t_0 – температура окружающей среды, принимается $t = 20 \text{ C}^\circ$.

$$R_{яц} = 17,5 \cdot \frac{235 + 75}{235 + 20} = 21,28 .$$

Момент номинальный двигателя M_H , Н·м

$$M_H = \frac{30 \cdot P_H}{n_H \cdot \pi}; \quad (10)$$

$$M_H = \frac{30 \cdot 180}{1500 \cdot 3,14} = 1,146 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Потокоцепление номинальное $k\Phi_H$, В·с/рад

$$k\Phi_H = \frac{M_H}{I_{яH}}; \quad (11)$$

$$k\Phi_H = \frac{1,146}{1,3} = 0,882 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}} .$$

ЭДС номинальная двигателя E_H , В

$$E_H = k\Phi_H \cdot \omega_H \cdot \frac{\pi}{30}; \quad (12)$$

$$E_H = 0,882 \cdot 1500 \cdot \frac{\pi}{30} = 138,54 \text{ В}$$

Индуктивность якоря и добавочных полюсов номинальная $L_{яH}$, Гн, рассчитывается по формуле:

$$L_{яH} = 0,527 \cdot \frac{U_H \cdot 30}{p \cdot \omega_H \cdot \pi \cdot I_{яH}}; \quad (13)$$

$$L_{яH} = 0,527 \cdot \frac{220 \cdot 30}{2 \cdot 1500 \cdot \pi \cdot 1,3} = 0,284 \text{ Гн} .$$

Электромагнитная постоянная времени якоря двигателя номинальная
 $T_{ян}, с:$

$$T_{ян} = \frac{L_{ян}}{R_{яц}}; \quad (14)$$

$$T_{ян} = \frac{0,284}{21,28} = 0,0134 \text{ с.}$$

Поток номинальный $\Phi_H, Вб$

$$\Phi_H = k\Phi_H \cdot \frac{2 \cdot a \cdot \pi}{p \cdot N}; \quad (15)$$

$$\Phi_H = 0,882 \cdot \frac{2 \cdot 1 \cdot \pi}{1 \cdot 3640} = 0,00152 \text{ Вб.}$$

Электромеханическая постоянная времени $T_M, с$

$$T_M = \frac{J_{дв} \cdot R_{я}}{(k\Phi)^2}, \quad (16)$$

где $J_{дв}$ – момент инерции двигателя;

$R_{яц}$ – сопротивление якорной цепи при рабочей температуре, $R_{яц}=21,28$
Ом;

$k\Phi_H$ – потокосцепление номинальное, $k\Phi_H = 0,882 \frac{В \cdot с}{рад}$.

Момент инерции двигателя $J_{дв}$ определяется по формуле:

$$J_{дв} = \frac{m_{я} \cdot r^2}{2}, \quad (17)$$

где $m_{я}$ – масса якоря двигателя, принимается равной 1/3 массы двигателя,

$m_{я} = 2,55 \text{ кг};$

r – радиус якоря двигателя, принимается равным половине оси вращения.

Высота оси вращения двигателя 4МТА составляет 0,075 м,

следовательно $r = 0,0375 \text{ м.}$

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.12890.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Тогда в соответствии с формулой (17):

$$J_{дв} = \frac{2,55 \cdot 0,0375^2}{2} = 0,00179 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Электромеханическая постоянная времени T_M в соответствии с формулой (2.4):

$$T_M = \frac{0,00179 \cdot 21,28}{(0,882)^2} = 0,049 \text{ с} .$$

Расчетные параметры рассматриваемой машины представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Расчетные параметры двигателя 4МТА

Наименование	Обозначение	Величина
Сопротивление якорной цепи, Ом	$R_{яц}$	21,28
Момент номинальный двигателя, Н·м	M_H	1,146
Потокосцепление номинальное, В·с/рад	$k\Phi_H$	0,882
ЭДС номинальная двигателя, В	E_H	138,54
Индуктивность якоря и добавочных полюсов номинальная, Гн	$L_{ян}$	0,284
Электромеханическая постоянная времени якоря двигателя номинальная, с	$T_{ян}$	0,0134
Поток номинальный, Вб	Φ_H	0,00152
Электромеханическая постоянная времени, с	T_M	0,049
Момент инерции двигателя, кг·м ²	$J_{дв}$	0,00179
Масса якоря двигателя, кг	$m_{я}$	2,55
Радиус якоря двигателя, м	r	0,0375

3.3 Построение нагрузочной диаграммы электропривода

Нагрузочная диаграмма механизма представляет собой зависимость электромагнитного момента M от времени. Для её построения производится расчет электромагнитного момента двигателя на каждом этапе работы, определяется динамический момент и момент холостого хода. Из основного уравнения движения электропривода:

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{дин}} - M_c = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} = J_{\Sigma} \cdot \varepsilon, \quad (18)$$

где J_{Σ} – суммарный момент инерции:

$$J_{\Sigma} = (1 + \delta) \cdot J = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} = J_{\Sigma} \cdot \varepsilon, \quad (19)$$

где δ – коэффициент, учитывающий момент инерции редуктора, соединительной муфты, $\delta = 0,1$;

$$J_{\Sigma} = (1 + 0,1) \cdot 0,0012 + 9,6 \cdot 10^{-5} = 1,69 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где ε – допустимое угловое ускорение двигателя:

$$\varepsilon = \frac{a}{\rho} = \frac{0,8}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 1000 \text{ рад} \cdot \text{с}^2;$$

$$M_{\text{дв}} = 1,69 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 1,69 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент и время каждого участка работы привода:

1. Пуск привода:

$$t_1 = \frac{v_{\text{Б.МАХ}}}{a} = \frac{0,125}{1000} = 0,16 \text{ с};$$

$$M_1 = M_{\text{хх}} + M_{\text{дв}} = 0,18 + 1,69 = 1,87 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2. Ускоренный подвод детали:

$$t_2 = \frac{l_1}{v_{\text{Б.МАХ}}} - t_1 = \frac{0,05}{0,125} - 0,16 = 0,24 \text{ с};$$

$$M_2 = M_{\text{хх}} = 0,18 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3. Торможение привода до скорости рабочей подачи:

$$t_3 = \frac{v_{Б.МАХ} - v_{П.МАХ}}{a} = \frac{0,125 - 0,017}{1000} = 0,14 \text{ с};$$

$$M_3 = M_2 - M_{дв} = 0,18 - 1,69 = -1,51 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

4. Прорезание заготовки:

$$t_4 = \frac{l_2}{v_{П.МАХ}} = \frac{0,07}{0,017} = 4,1 \text{ с};$$

$$M_4 = M_c = 0,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5. Торможение привода до скорости равной нулю:

$$t_5 = \frac{v_{П.МАХ}}{a} = \frac{0,017}{0,8} = 0,02 \text{ с};$$

$$M_5 = M_c - M_{дв} = 0,8 - 1,69 = -0,89 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

6. Разгон привода до скорости быстрых перемещений:

$$t_6 = \frac{v_{Б.МАХ}}{a} = \frac{0,125}{0,8} = 0,16 \text{ с};$$

$$M_6 = -M_{xx} - M_{дв} = -0,18 - 1,69 = -1,87 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

7. Возврат суппорта в исходное положение со скоростью быстрых перемещений:

$$t_7 = \frac{l_2 + l_1}{v_{Б.МАХ}} = \frac{0,07 + 0,05}{0,125} = 0,96 \text{ с};$$

$$M_7 = -M_{xx} = -0,18 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

8. Торможение привода до скорости равной нулю:

$$t_8 = \frac{v_{Б.МАХ}}{a} = \frac{0,125}{0,8} = 0,16 \text{ с};$$

$$M_8 = -M_{xx} + M_{дв} = -0,18 + 1,69 = 1,51 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таблица 2.3 – Расчетные временные интервалы и моменты

Участок диаграммы	Диапазон времени, с	Момент, Н·м
Пуск привода	$0 < t \leq 0,16$	1,87

Продолжение таблицы 2.3

Участок диаграммы	Диапазон времени	Момент, Н·м
Ускоренный подвод детали	$0,16 < t \leq 0,4$	0,18
Торможение привода до скорости рабочей подачи	$0,4 < t \leq 0,54$	-1,51
Прорезание заготовки	$0,54 < t \leq 4,64$	0,8
Торможение привода до скорости равной нулю	$4,64 < t \leq 4,66$	-0,89
Разгон привода до скорости быстрых перемещений	$4,66 < t \leq 4,82$	-1,87
Возврат суппорта в исходное положение со скоростью быстрых перемещений	$4,82 < t \leq 5,78$	-0,18
Торможение привода до скорости равной нулю	$5,78 < t \leq 5,94$	1,51

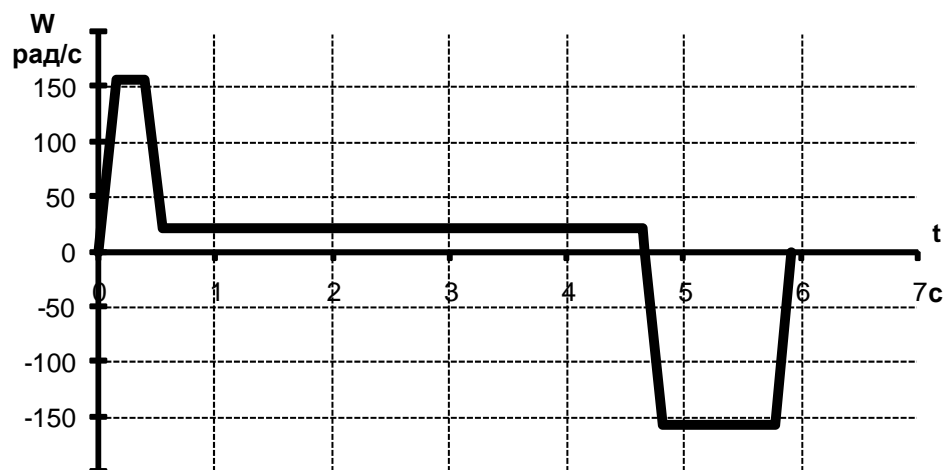


Рисунок 3.4 – Скоростная диаграмма электропривода

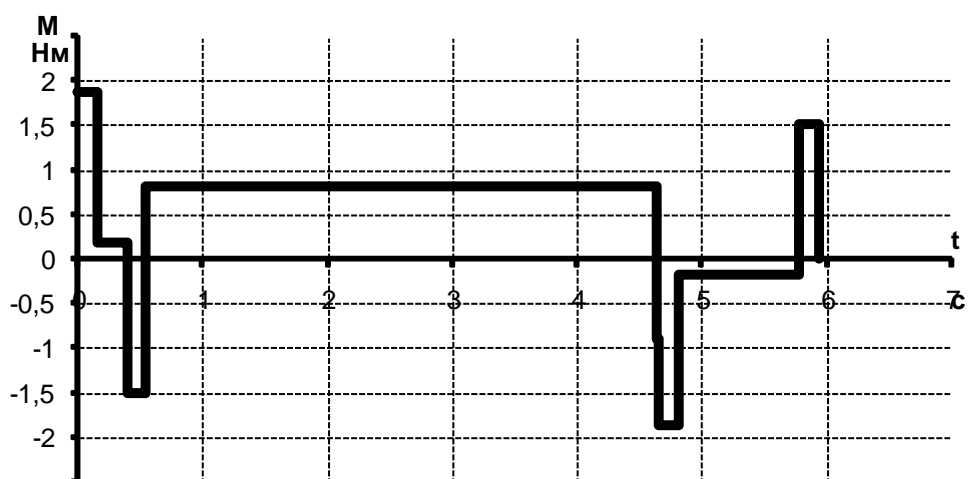


Рисунок 3.5 – Нагрузочная диаграмма электропривода

Упрощенная нагрузочная диаграмма электропривода используется для проверки двигателя по нагреву и перегрузочной способности. Электропривод работает в циклическом режиме с переменной нагрузкой.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Для проверки двигателя по нагреву используется метод эквивалентного момента. Условием правильного выбора двигателя по нагреву будет:

$$M_{\text{сркв}} \leq M_{\text{дв}} . \quad (20)$$

На станке после обработки одной детали производится обработка следующей и т.д. Время потребное на одну деталь не превышает 2 мин (с учетом смены детали). Двигатель работает в циклическом режиме. В циклическом режиме эквивалентный момент определяется только для рабочих участков:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} , \quad (21)$$

где M_i – момент на i -м интервале;

t_i – продолжительность работы на i -м интервале;

n – число рабочих интервалов в цикле.

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{1,87^2 \cdot 0,16 + 0,18^2 \cdot 0,24 + (-1,51)^2 \cdot 0,14 + 0,8^2 \cdot 4,1 +}{0,16 + 0,24 + 0,14 + 4,1 + 0,02 + 0,16 +} + \frac{(-0,89)^2 \cdot 0,02 + (-0,18)^2 \cdot 0,96 + 1,51^2 \cdot 0,16}{+0,96 + 0,16}} = 0,81 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$M_{\text{сркв}} = 0,8 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{\text{дв}} = 1,69 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Условие выбора двигателя по нагреву (20) выполняется правильно.

Перегрузочная способность двигателя определяется условием:

$$M_{\text{МАХ}} \leq M_{\text{МАХ.ДОП}} ; \quad (22)$$

$$M_{\text{МАХ.ДОП}} = 0,9^2 \cdot \lambda_m \cdot M_{\text{ДВ}} . \quad (23)$$

где $M_{\text{мах}}$ – максимальный момент нагрузочной диаграммы;

$M_{\text{мах.доп}}$ – максимальный допустимый момент с учётом возможного снижения напряжения сети на 10%;

λ_m – кратность максимального момента двигателя, $\lambda_m = 2,2$.

$$M_{\text{MAX}} = 1,87 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{\text{MAX,ДОП}} = 0,9^2 \cdot 2,2 \cdot 1,69 = 2,83 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Условие выбора двигателя по перегрузочной способности (23) выполняется правильно.

Вывод: Выбранный двигатель типа 4МГА удовлетворяет условиям нагрева и перегрузки, поэтому электродвигатель выбран правильно.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.12890.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

4. ВЫБОР ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ (ТП)

4.1 Сравнение сервопривода постоянного тока КЕМТОК и SDC-1V

В исходной комплектации станка 1325Ф30 стоят сервопривода КЕМТОК (рисунок 4.1), которые предназначены для привода подач станков с ЧПУ. Данные сервопривода давно сняты с производства, комплектующие для их ремонта не выпускаются, что делает данный привод не ремонтпригодным.



Рисунок 4.1 – Внешний вид привода КЕМТОК

Данный привод полностью заменяет сервопривод от компании ArtTech SDC-1V (рисунок 4.2). Который имеет схожие характеристики. Сводная таблица характеристик данных приводов приведена в таблице 4.1.



Рисунок 4.2 – Внешний вид привода ArtTech SDC-1V

Таблица 4.1 – Сравнение приводов КЕМТОК и SDC-1V

Наименование параметров	Ед.изм.	КЕМТОК	SDC-1V
Напряжение питания, 3-х фазное	В	380	380

Продолжение таблицы 4.1

Наименование параметров	Ед.Изм.	КЕМТОК	SDC-1V
Частота напряжения питания	Гц	50	50
Напряжение на якоре	В	От $-U_{max}$ до $+U_{max}$	От $-U_{max}$ до $+U_{max}$
Максимально токовая защита		Есть	Есть
Защита от пропадания пилообразного напряжения		Есть	Есть
Защита от пропадания стабилизированного напряжения 15 В		Есть	Есть
Защита от исчезновения напряжения в сети		Нет	Есть
Защита от обрыва тахогенератора		Есть	Есть
Защита от превышения максимальной скорости		Есть	Есть
Защита от неправильного чередования фаз		Есть	Есть
Защита от перенапряжений		Есть	Есть
Диапазон регулирования		1:1 000	1:10 000

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЮУрГУ-13.03.02.2017.12890.01ПЗ

Лист

35

Вывод: Привод SDC-1V по основным параметрам аналогичен приводу КЕМТОК, следовательно, они взаимозаменяемы. Кроме того SDC-1V превосходит КЕМТОК по следующим параметрам: больший диапазон регулирования (увеличивается точность позиционирования) и защита от исчезновения напряжения. Так же привод SDC-1V имеет меньшие габариты, основные органы управления, настройки и сигналы об ошибках вынесены на переднюю панель, что значительно облегчает процесс установки, настройки и эксплуатации.

4.2 Описание привода SDC-1V

Преобразователь SDC-1V выполнен по двухконтурной схеме подчиненного регулирования с регуляторами скорости и тока (рисунок 4.3). Управление преобразователем согласованное нелинейной на низких скоростях и раздельное на высоких скоростях (более 300 об/мин). Предусмотрено адаптивное управление коэффициентами усиления контура скорости на низких скоростях.

Большое число электронных защит исключает выходы из строя элементов преобразователя в аварийных ситуациях.

Блок-схема привода приведена на рис. 3.3, где:

РС – регулятор скорости;

РТ – регулятор тока;

РУТ – регулятор уравнивающего тока;

ИНВ – инвертор;

СИФУ – система импульсно-фазового управления;

АР – адаптивный регулятор;

КЗ – корректирующее звено;

ФП – функциональный преобразователь нелинейного токоограничения;

- ПЭ – пороговый элемент;
- НТО – нелинейное токоограничение;
- ОС – защита от превышения максимального тока;
- ОЛ – защита от длительной перегрузки;
- ОС – защита от превышения максимальной частоты вращения;
- ТГ – защита от обрыва цепи тахогенератора;
- СР – защита от обрыва фазы и неправильного чередования фаз;
- БЗ – блок защиты;
- ТР – силовой трансформатор;
- ТП – тиристорный преобразователь;
- Я – двигатель;
- ТГ – тахогенератор;
- Sh – шунт (датчик тока);
- БП – блок питания

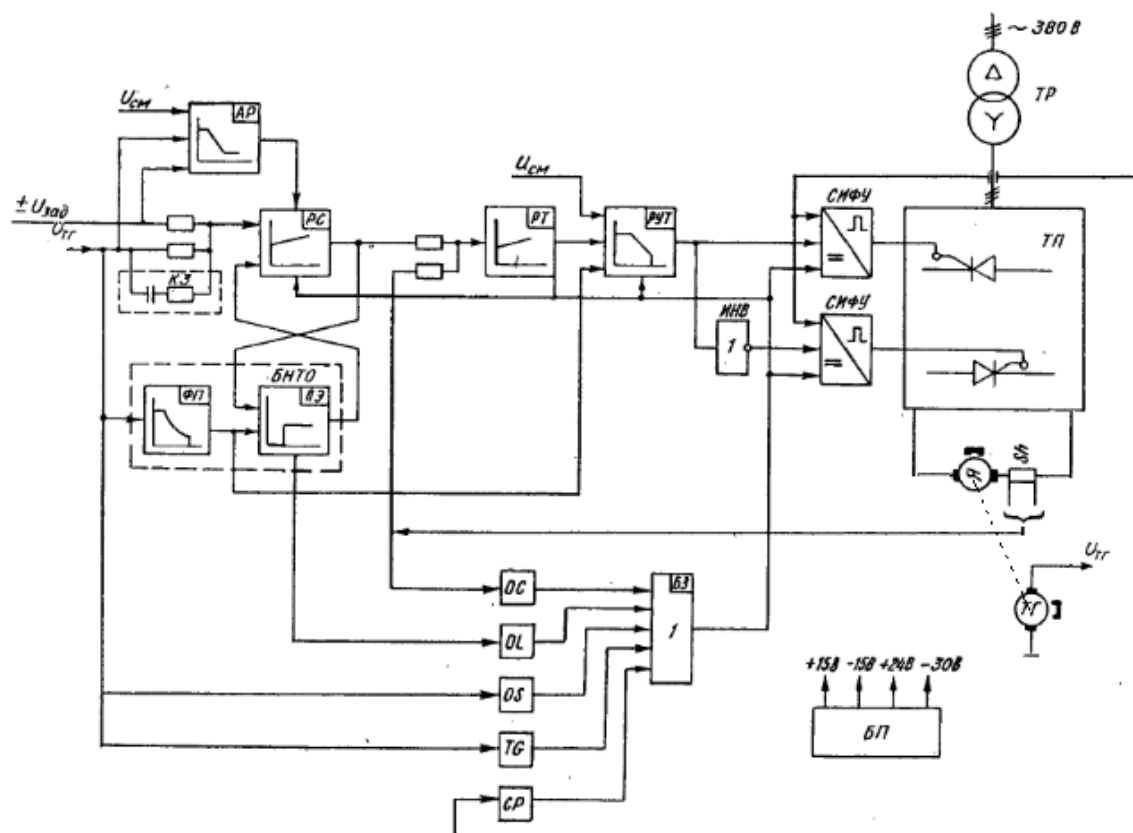


Рисунок 4.3 – Функциональная схема электропривода SDC-1V

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Силовая схема преобразователя SDC-1V (рисунок 4.4) выполнена по схеме двух встречно-параллельно соединенных преобразователей, которая обеспечивает работу двигателя в четырех квадрантах.

Силовой трансформатор осуществляет согласование напряжения электродвигателя с напряжением сети питания. Обмотки трансформатора включены по схеме «звезда-треугольник».

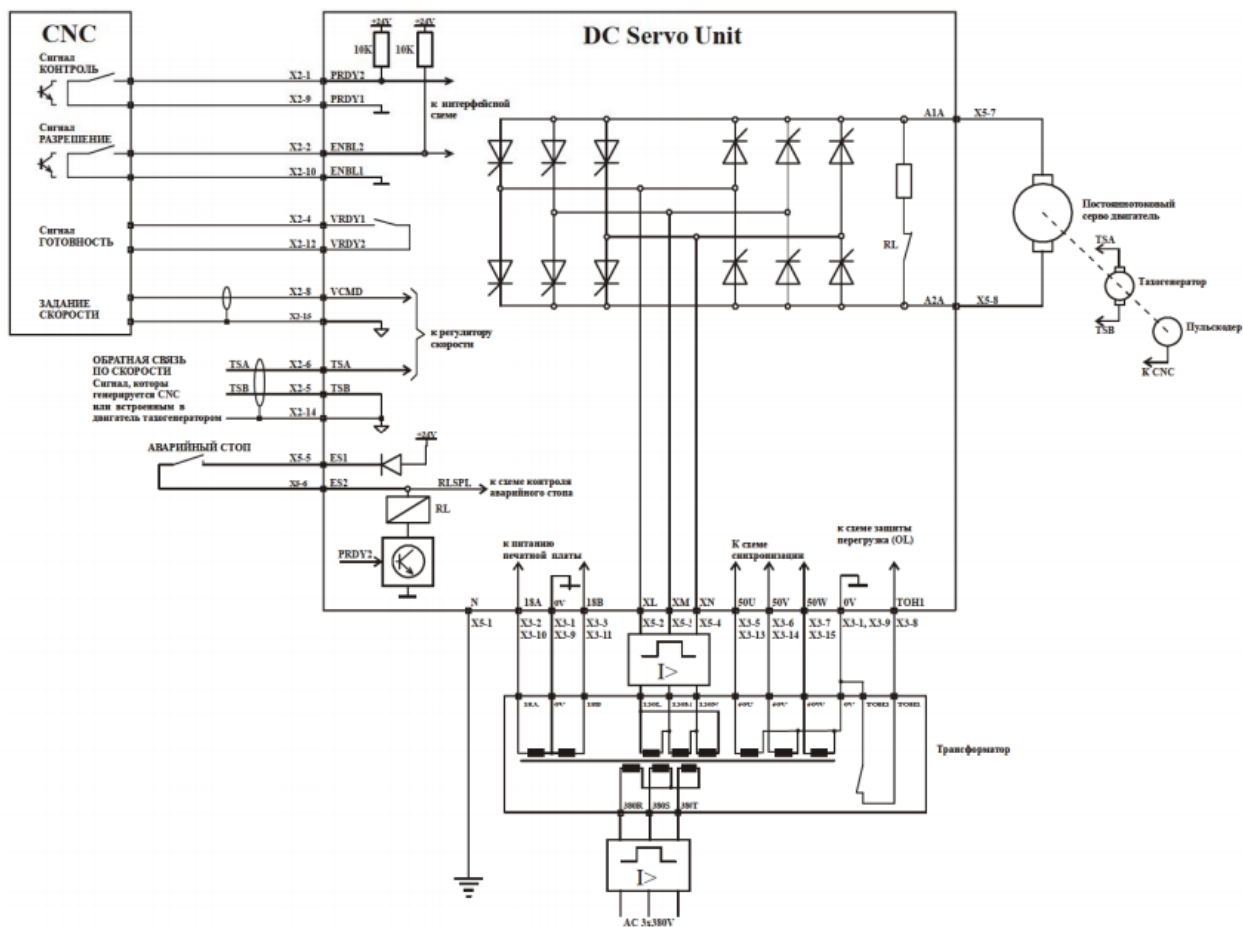


Рисунок 4.4 – Силовая схема привода SDC-1V

4.3 Настройка привода SDC-1V

Для оптимальной работы сервоприводов и удовлетворения требований точности и быстродействия очень важно произвести точную настройку серворегуляторов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Для этого предусмотрено наличие нескольких, легко доступных триммеров и переключателей, нет необходимости в снятии передней крышки серворегулятора. Их расположение показано на рис. 4.5. Там же приведены и указания на их функции.

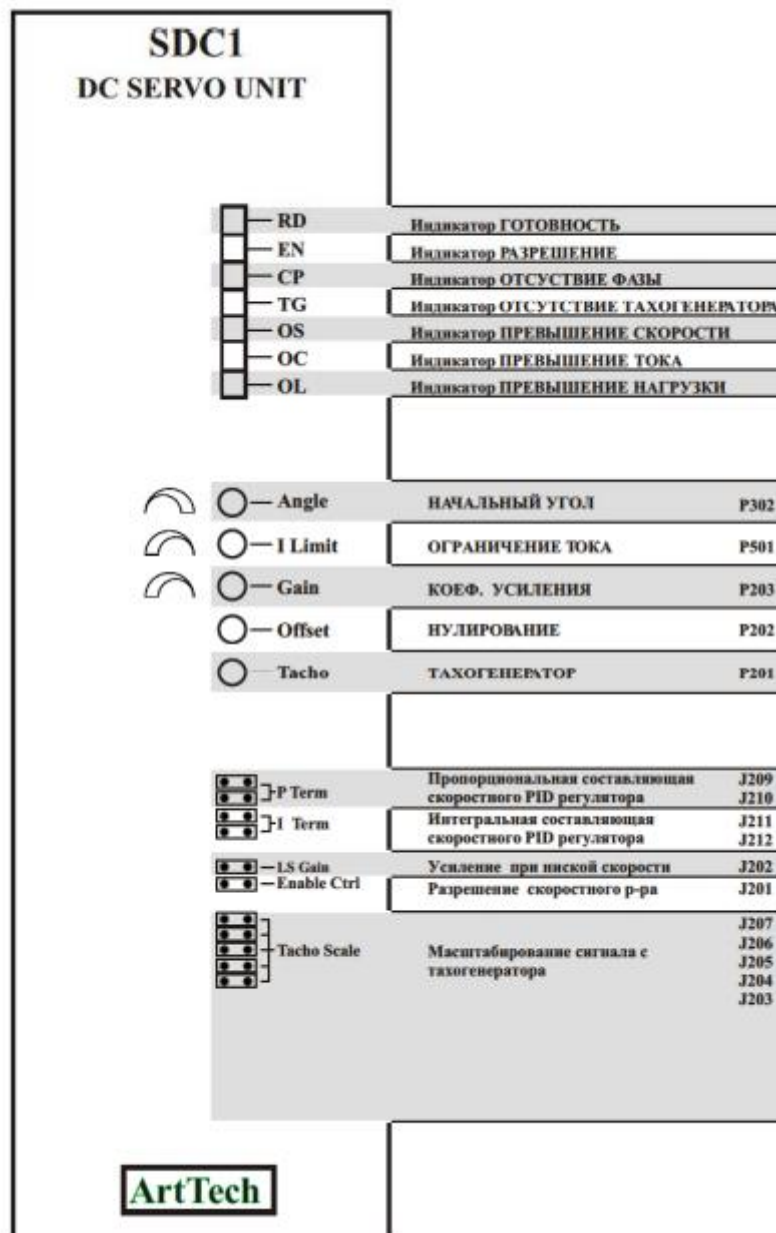


Рисунок 4.5 – Основные органы настройки сервопривода SDC-1V

Первым делом после установки сервопривода необходимо установить переключки масштабирования обратной связи по скорости J203-J207.

Данными переключателями ступенчато изменяется коэффициент усиления напряжения тахогенератора. Замыкание какой-либо из них приводит к увеличению коэффициента. Для более плавного масштабирования сигнала с тахогенератора необходимо плавно регулировать триммер Р201.

Целью данной настройки является достижение движения по осям с различной скоростью без колебания и без выхода за конечной позицией. В процессе регулирования следует следить за величиной динамической погрешности.

В двигателе 4МТА установлен тахогенератор типа МТ-6 константа которого составляет 4 В/1000 об. Соответственно устанавливаем переключатель J203.

Переключателем J202 выставляется коэффициент усиления при небольшой скорости. При ее поднятии достигается более высокий пропорциональный коэффициент усиления при небольших скоростях. Данную переключатель следует оставить т.к. при этом возрастает точность позиционирования.

Посредством переключателей J209 и J210 ступенчато изменяется пропорциональный коэффициент усиления регулятора скорости. Поднятие любой из них, или обеих приводит к повышению коэффициента. Чем он выше, тем точнее обрабатываются перемещения. Однако слишком высокие его значения могут привести к колебанию привода. При возникновении такой ситуации, необходимо увеличить и интегральный коэффициент усиления, закрыв переключатель J211, либо J212 (интегральный коэффициент регулятора скорости), либо обеих.

Отстраиваем П-канал регулятора скорости

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.12890.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

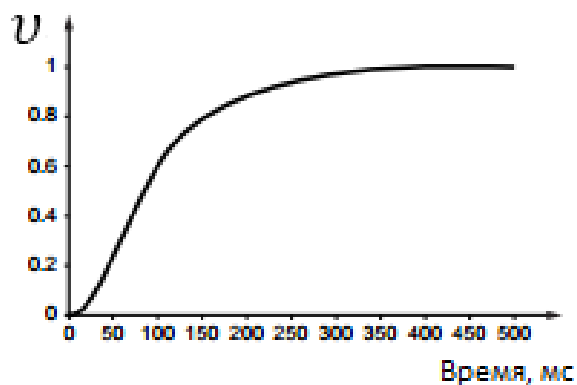


Рисунок. 4.6. П-характеристика при закрытом состоянии J209 и J210

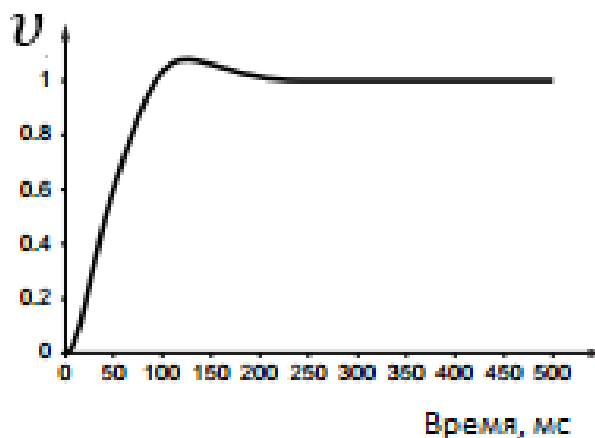


Рисунок 4.7 П-характеристика при открытом состоянии J209

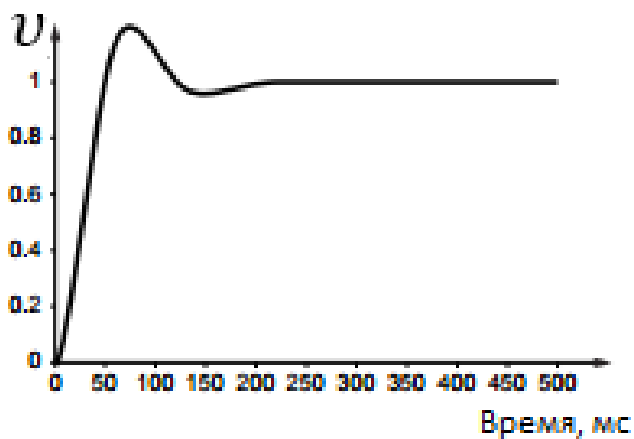


Рисунок 4.8 П-характеристика при открытом состоянии J210

Поднятие переключателей J210 и J209 одновременно приведут к колебанию привода:

Отстраиваем И-канал регулятора скорости

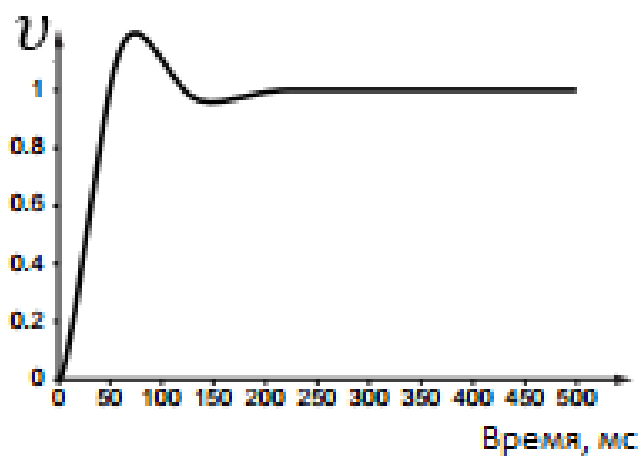


Рисунок 4.9 И-характеристика при закрытом состоянии J211 и J212

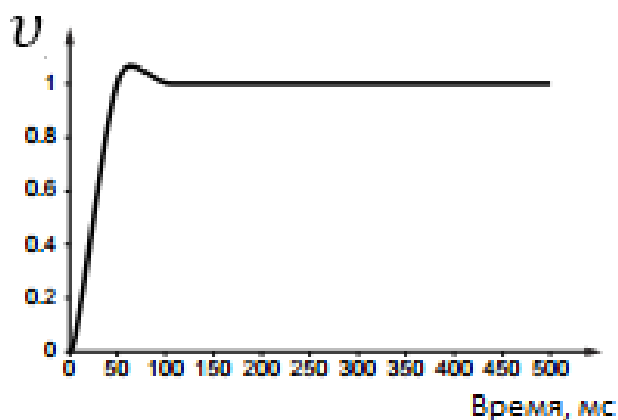


Рисунок 4.10 И-характеристика при открытом состоянии J211

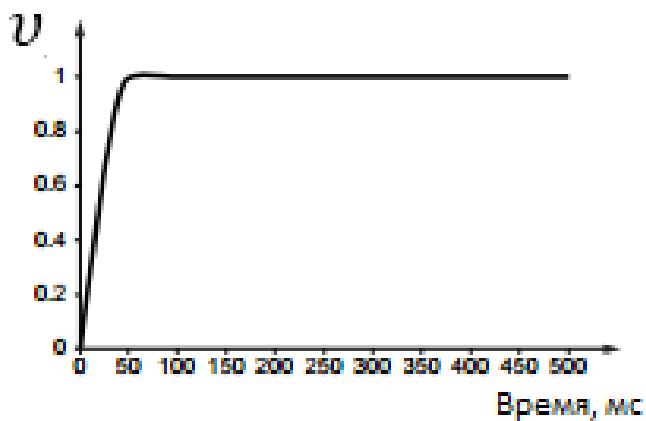


Рисунок 4.11 И-характеристика при открытом состоянии J212

При вращении Р203 против часовой стрелки плавно увеличивается пропорциональный коэффициент PID регулятора по скорости. Чем больше этот коэффициент, тем выше точность, обрабатывания заданных перемещений. Однако, его слишком высокие значения приводят к колебанию сервопривода.

Начальный угол отпираания тиристоров регулируем при помощи вращения Р203. По часовой стрелке плавно увеличивается начальный угол отпираания тиристоров. Чем больше этот угол, тем выше точность отработывания заданных перемещений.

Ограничение тока двигателя регулируем при помощи триммера Р501. При вращении данного триммера против часовой стрелки плавно увеличивается максимальный ток через двигатель. Если ток сильно ограничен, существует возможность при сравнительно большой нагрузке (инерционная масса, трение) недостаточно быстрого отработывания заданных перемещений. В противоположной ситуации, когда разрешен максимальный ток, при заданных сравнительно малых значениях времени ускорения и замедления, получаются механические удары в начале и в конце каждого перемещения.

Проделав все настройки посредством Р202 следует свести статическую погрешность приблизительно к 0 при отсутствии движения по соответствующей оси.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе была рассмотрена модернизация токарно-револьверного станка с вертикальной остью револьверной головки 1325Ф30. В ходе работы была выбрана система управления ЧПУ Valt-system NC-210, рассмотрены ее основные возможности и преимущества перед ЧПУ Электроника НЦ-31. Так же был произведен расчёт режимов резания станка на основании которого были сформулированы требования к двигателю поперечной подачи. Исходя из этого был сделан вывод, что двигатель 4МТА подходит для данного станка после модернизации. Под данный двигатель был выбран тиристорный преобразователь ArtTech SDC-1V.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.12890.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В.А. Елисеева, А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616с.
- 2 Онищенко, Г.Б. Электрический привод. Учебник для вузов. – М.: РАСХН, 2003. – 320с.
- 3 Теория электропривода / В.И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704с.
- 4 Электрический привод / В.В. Москаленко. – М.: Высшая школа, 1991. – 430с.
- 5 Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / И.Х. Евзеров, А.С. Горобец, Б.И. Мошкович и др.; под ред. канд. техн. наук В.М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319с.
- 6 Общий курс электропривода: Учебник для вузов / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер – М.: Энергоиздат, 1981. – 576с.
- 7 Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов / А.А. Королев. – М.: Металлургия, 1985. – 376с.
- 8 Справочник по электрическим машинам. Т 2 / под ред. И.П. Копылова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 688с.
- 9 Башарин, А.В. Примеры расчетов автоматизированного электропривода. – Л.: Энергоиздат, 1972.
- 10 Усынин, Ю.С. Системы управления электроприводов: Учеб. пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 358с.
- 11 Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями / Е.Н. Зимин, В.Л. Кацевич, С.К. Козырев. – М.: Энергоиздат, 1981. – 192с.
- 12 Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / В.И. Круглов, Ю.Г. Барыбин, Н.Л. Самовер. – М.: Энергоиздат, 1982.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.12890.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		45