

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Регулируемый электропривод постоянного тока подъема кислородной фурмы</b>

УДК 62-83-523:621.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Осланов Собиржон Ибодуллаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Н.В.	Кандидат технических наук, доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) \_\_\_\_\_ (Дата) Ю.Н. Дементьев  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**Бакалаврской работы**  
 (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Осланову Собиржону Ибодуллаевичу

Тема работы:

<b>Регулируемый электропривод постоянного тока подъема кислородной фурмы</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Электропривод подъема фурмы</p> <p>Требования к механизму подъема: диапазон регулирования <math>D=1:100</math>, при плавном регулировании скорости в момент пуска и торможения.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; , выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма подъема фурмы; исследование работы подъема фурмы с помощью имитационной модели.</p>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		Схема кинематическая; Схема электрическая принципиальная; Схема электрическая функциональная; Схема электрическая структурная; Графики переходных процессов подъема
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>		
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>	
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Попова Светлана Николаевна	
«Социальная ответственность»	Мезенцева Ирина Леонидовна	
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>		
Заключение		

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	05.04.2018г...
---	----------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гусев Н.В.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Осланов Собиржон Ибодуллаевич		

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Произвести проверочный расчет электропривода подъема фурмы удовлетворяющего следующим заданным условиям и требованиям:

1. Напряжение питающей сети переменного трехфазного тока  $U_c=10\text{кВ}$  с частотой  $f_c=50\text{Гц}$ ;
2. Отклонение напряжения питающей сети от номинального значения  $\pm 10\%$ ;
3. Нагрузка активная;
4. Режим работы – кратковременный;
5. Диапазон регулирования  $D = 1:5$ ;
6. Управление электроприводом - ручное с поста оператора;
7. Работа электропривода должны осуществляться в режиме стабилизации скорости (РЭП);
8. РЭП должен обеспечить поддержание заданной частоты вращения с погрешностью не более  $10\%$  на верхней характеристике;
9. Время пуска электропривода на максимальную скорость не менее  $1\text{с}$ ;
10. Максимальное напряжение управления  $U_y=\pm 10\text{В}$ ;
11. Электродвигатель должен иметь большую перегрузочную способность, обеспечивающая работу привода при кратковременных нагрузках;
12. Система управления электроприводом должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания;
13. Выбранный электродвигатель должен быть предназначен для работы в условиях повышенной температуры, влажности и запыленности и иметь закрытое исполнение;
14. Выбранный преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от  $50$  до  $450\text{С}$  и относительной влажностью не более  $80\%$ .

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 132с, 26 рисунков, 15 таблиц, 21 используемых источников и 1 приложение.

Ключевые слова: Кислородная фурма, система ТП-Д.

Объектом исследования являются электропривод подъема кислородной фурмы.

Цель работы – Расчет параметров электропривода подъема кислородной фурмы.

В процессе исследования проводились: расчет параметров и выбор оборудования, расчет переходных процессов.

В результате исследования выбрано оборудование, получены графики переходных процессов.

Область применения: производство стали.

Содержание	
ВВЕДЕНИЕ	8
1. ПРОЕКТНО–ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ	9
1.1 Технологический процесс цеха участка механизма	9
1.2 Окислительные реакции в конвертере	12
1.3 Конструкция фурмы	14
1.4 Оценка и анализ вариантов исполнения	15
1.5 Описание функциональной схемы	17
1.6 Описание программируемого контроллера Simatic S7-317-2DP	23
1.7 Краткое описание языка программирования контроллеров Simatic и управляющей программы электроприводом.	25
1.8 AS-интерфейс	28
1.9 Кинематическая схема.	31
2. РАСЧЕТНО–ПРОЕКТНАЯ ЧАСТЬ	33
2.1 Требование к электроприводу	33
2.2 Выбор электродвигателя	34
2.3 Проверка выбранного двигателя по статической нагрузке.	38
2.4 Проверка двигателя по динамической нагрузке	38
2.5 Механическая система электропривода	41
2.6 Выбор тиристорного преобразователя	42
2.7 Выбор силового согласующего трансформатора	50
2.8 Определение величины индуктивности сглаживающего дросселя	52
2.9 Расчет параметров тиристорного преобразователя	54
2.10 Расчет параметров якорной цепи	55
2.11 Расчет параметров цепи возбуждения двигателя	56
2.12 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик электропривода	58
2.13 Расчет электромеханических характеристик системы УВ – Д	61
2.14 Структурная схема силового канала РЭП	64
2.15 Структурная схема САУ РЭП	65
2.16 Настройка контуров САУ электропривода	67
2.16.1 Оптимизация контура тока	67
2.16.2 Контур ЭДС	69
2.16.3 Структурная схема контура ЭДС по возмущению	73
2.16.4 Настройка контура тока возбуждения электродвигателя	74
2.17 Структурная схема нелинейной САУ РЭП	78
2.18 Расчет переходных процессов	83
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	85
3. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	86
3.1 Анализ выявленных вредных факторов	87
3.2 Анализ выявленных опасных факторов	91
3.3 Экологическая безопасность	92
3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	92
3.5 Правовые и организационные вопросы.	94

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	96
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	97
4.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование	97
4.1.1 Потенциальные потребители результатов проектирования	97
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	98
4.2. Планирование и формирование бюджета проектной работы	101
4.2.1 Планирование научно – исследовательских работ	101
4.4. Пусконаладочные работы	104
4.4.1 Состав бригады для проведения ПНР	107
4.4.2 Стоимость ПНР	110
4.5 Расчет расходов при эксплуатации электропривода	111
4.5.1 Расчет стоимости силовой электроэнергии	111
4.5.2 Расчет амортизационных отчислений	112
4.5.3 Заработная плата обслуживающего персонала	112
4.5.4 Общая сумма эксплуатационных расходов	114
4.6 Определение экономической эффективности исследования	114
4.6.1 Интегральный финансовый показатель	114
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	116
THE CONCLUSION	117
Список использованной литературы	118
Приложение А.	120

## **ВВЕДЕНИЕ**

Черная металлургия является одной из важнейших отраслей промышленности. Высокая механическая прочность и стойкость черных металлов, легкость их обработки сравнительно с другими материалами, простота получения и большие природные запасы железной руды, обусловили, самое широкое применение стали и чугуна как основных материалов в машиностроении, станкостроении, судостроении, электропромышленности, а также в сельском хозяйстве, транспорте, строительстве и в быту. Из чугуна и стали, изготавливают станки производственные и сельскохозяйственные машины, метизы (болты, гайки, гвозди, тросы) и другие изделия.

Выпуском стали и чугуна занимаются металлургические комбинаты. В настоящее время ни один из комбинатов не может обойтись без современных электроприводов неразрывно связанных с повышением эффективности технологических процессов. В связи с этим возрастают требования к электроприводам технологического оборудованию (бесперебойность работы, точность остановки и др.). Реализация этих требований осуществляется на основе применения новейших технических средств: тиристорных преобразователей систем подчиненного регулирования, бесконтактных логических элементов и высокоэффективных средств управления.



# 1. ПРОЕКТНО–ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Технологический процесс цеха участка механизма

Принцип получения стали в конвертере, состоит в продувке жидкого чугуна кислородом с использованием ограниченного количества стального лома.

Сущность конвертерного процесса заключается в следующем. В конвертер, представляющий собой футерованный огнеупорным кирпичом грушеобразный сосуд, заливают порцию чугуна 160 т. Сверху в конвертер опускают фурму, через которую подают чистый кислород. При продувке кислородом происходит окисление углерода и других примесей, содержащихся в чугуне. При окислении происходит выделение тепла, которое обеспечивает повышение температуры расплава и позволяет расплавлять стальной лом, вводимый в конвертер. После выпуска металла в ковш производится окончательная доводка состава металла до заданного.

Загрузка конвертера начинается с завалки стального лома. Его загружают в наклоненный конвертер через горловину, при помощи крана из скраповых совков. Далее заливают жидкий чугун конвертер устанавливают в вертикальное положение вводят фурму и включают подачу кислорода с чистотой не менее 99.5%. Одновременно с началом продувки загружают первую порцию шлакообразующих и железной руды (40–60 % от общего количества). Остальную часть этих материалов подают в конвертер в процессе продувки одной или несколькими порциями, чаще всего через 5 – 7 минут после начала продувки.

На процесс рафинирования значительное влияние оказывают положение фурмы (расстояние от конца фурмы до поверхности ванны) и давление подаваемого кислорода. Обычно высота фурмы поддерживается в пределах 1–3 м, давление кислорода 0,9–1,4 МПа в зависимости от выплавляемой марки стали. Оптимальное положение фурмы устанавливается экспериментально. При этом необходима высокая скорость обезуглероживания и шлакообразования и ведение продувки без выбросов. Правильно организованный режим ведения продувки обеспечивает хорошую циркуляцию металла и его перемешивание со шлаком. Последнее в свою очередь способствует повышению скорости окисления, содержащихся в чугуне кремния

углерода, марганца и фосфора. На процесс шлакообразования и окисления примесей влияет глубина проникновения кислородной струи в металл, которая зависит от давления и расхода кислорода, подаваемого через фурму. Изменяя глубину проникновения кислорода можно управлять распределением кислорода между шлаком и металлом. Так увеличение глубины проникновения (повышение давления кислорода и снижение расстояния между торцом фурмы и металлом) способствует увеличению количества кислорода, усваемого металлом. Это приводит к ускорению процесса окисления примесей. Вместе с тем уменьшается поступление кислорода в шлак, что отрицательно влияет на растворение извести и затрудняет шлакообразование. Снижение глубины проникновения способствует увеличению поверхности контакта кислорода со шлаком, улучшению условий шлакообразования, но снижает скорость окисления углерода и других элементов.

Обычно в начале продувки фурму размещают высоко над ванной, а распределение кислорода между металлом и шлаком регулируют давлением подаваемого кислорода. В середине плавки фурму опускают, возможно, ближе к поверхности ванны.

Важным моментом в технологии конвертерного процесса является шлакообразование. Шлакообразование в значительной мере определяет ход удаления фосфора серы и других примесей, влияет, на качество выплавляемой стали и стойкость футеровки. Основная цель этой стадии плавки заключается в быстром формировании шлака с необходимыми свойствами (основностью, жидкоподвижностью и т.д.). Сложность выполнения этой задачи связана с высокой скоростью процесса (длительность продувки 14 – 24 минуты). Формирование шлака необходимой основности и с заданными свойствами зависит от скорости растворения извести в шлаке.

Состав первичного шлака в значительной мере влияет на скорость растворения извести. Растворение извести ускоряется при увеличении содержания оксидов железа (иногда марганца) в шлаке. Присутствие оксидов железа способствует, улучшению условий смачивания извести шлаком, при этом усиливается проникновение шлака в поры и трещины кусочков извести и образование

легкоплавких ферритов и растворов кальция. Для получения шлака повышенной окисленности в конвертер присаживают железную руду и применяют описанный выше способ продувки при повышенном положении фурмы.

Раннему формированию основного шлака способствует наличие первичной реакционной зоны (поверхность соприкосновения струи кислорода с металлом) с температурой до 2500°C. В этой зоне известь подвергается одновременному воздействию высокой температуры и шлака с повышенным содержанием оксидов железа.

Количество вводимой на плавку извести определяется расчетом и зависит от состава чугуна и содержания  $\text{SiO}_2$  в руде, боксите, извести и др. Общий расход извести составляет 5 – 8 % от массы плавки, расход боксита 0,5 – 2,0 % плавикового шпата 0,15 – 1,0 %.

Основность конечного шлака  $\text{CaO/SiO}_2$  должна быть не менее 2,5%. Состав конечного шлака зависит от состава чугуна и содержания углерода в готовой стали и других факторов и находится в пределах: 6 – 12 % FeO; 14–22 %  $\text{SiO}_2$ ; 43 – 50 % CaO; 7 – 14 % MnO; 4 – 8 % MgO; 2,5 – 4,0 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Момент окончания продувки определяют по количеству поданного кислорода и данным ЭВМ. По окончании продувки фурму поднимают в исходное положение. Отбирают пробы металла и шлака, в которых определяют содержание C, Mn, P, S. При необходимости проводят либо кратковременную додувку, либо добавляют кокс или графит для корректировки содержания углерода.

Выпуск стали, производят путем наклона конвертера через летку. Вместе с металлом сливают часть шлака для покрытия зеркала металла в сталеразливочном ковше. Остальную часть шлака сливают в чашу, установленную на самоходном шлаковозе, глубоким наклоном конвертера через его горловину.

Затем происходит, доводка металла на установке внепечной обработки стали, после чего ковш с металлом подается в разливочный пролет, где с помощью литейного крана сталь разливается в изложницы. Далее состав с изложницами поступает в

отделение раздевания слитков, затем раздетые слитки поступают в отделение нагревательных колодцев обжимного цеха.

## 1.2 Окислительные реакции в конвертере

Окисление примесей в конвертере может происходить непосредственно газообразным кислородом или кислородом, растворенным в металле и шлаке. В периоды продувки с большой скоростью подачи кислорода процесс окисления лимитируется переносом примесей из объема ванны к поверхности раздела. Происходит полное окисление поверхностных слоев металла. Поскольку примеси не успевают поступать к зоне реакции, то окисление металла происходит с образованием преимущественно оксидов железа, так как содержание железа в металлической ванне близко к 100 %. Окисление металла осуществляется через шлаковую фазу. Сначала окисляется железо  $2\text{Fe} + \text{O}_2 = 2(\text{FeO})$ .

Образующийся FeO в результате циркуляции переносится в шлак. Процесс обогащения металла кислородом можно записать так:  $(\text{FeO}) = \text{Fe} + [\text{O}]$ . Растворенный в металле кислород расходуется на окисление примесей чугуна. Содержащийся в шлаке FeO расходуется на раскисление примесей на границе металл – шлак. На участках продувки, где скорости движения газа – окислителя (конечная часть струй, пузыри) незначительны, может происходить прямое окисление углерода и других примесей.

Окисление углерода в конвертерном процессе имеет важное значение, так как влияет на температурный режим плавки процесс шлакообразования и рафинирования металла от фосфора, серы, газов и неметаллических включений. Характерной особенностью конвертерного производства является неравномерность окисления углерода, как по объему ванны, так и в течение продувки. С наибольшей интенсивностью окисляется углерод над поверхностью внедряющегося газового факела. В начале продувки скорость окисления невелика (0,1 – 0,15%/мин). Это объясняется сравнительно низкой температурой ванны и интенсивным окислением кремния и марганца. Далее при снижении в металле кремния и марганца и повышении температуры зона кипения увеличивается и распространяется, на весь

объем ванны скорость окисления углерода возрастает. Максимальная скорость окисления углерода достигается в середине плавки, когда температура металла составляет 1400 – 1450°C. К концу продувки скорость окисления углерода вновь снижается, вследствие уменьшения углерода в металле. Более равномерное окисление углерода и газовыделение достигаются применением многосопловых фурм.

С первых минут продувки одновременно с окислением углерода начинается процесс дефосфации. Наиболее интенсивное удаление фосфора происходит в первой половине продувки при сравнительно низкой температуре металла высоком содержании FeO, когда основность шлака и его количество быстро возрастают. Конвертерный процесс позволяет получить сталь с содержанием фосфора менее 0,02 %. Условия удаления серы менее благоприятны, так как шлак содержит значительное количество FeO, а высокая основность достигается лишь во второй половине продувки. Степень десульфации при конвертерном процессе находится в пределах 30 – 50 %. Содержание серы в готовой стали, составляет 0,02 – 0,04 %.

По достижении заданного содержания углерода дутье отключают, фурму поднимают, конвертер наклоняют и металл через летку (для уменьшения перемешивания металла со шлаком) выливают в ковш. Раскисление и легирование металла производят в ковше.

#### Сортамент стали выплавляемой в ККЦ–1

Кипящая химически закупоренная сталь: Ст1кп, Ст2кп, Ст3кп, Ст4кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп, Ст0, метизная, Св08, Св08А;

Полуспокойная сталь: Ст3пс, Ст3Гпс, Ст5пс, Ст5Гпс, 08пс, 10пс;

Спокойная углеродистая сталь: Ст1сп, Ст2сп, Ст3сп, Ст5сп;

Конструкционная сталь повышенной и высокой обрабатываемости: А12, А20, А30, А35, А40Г, А75;

Низколегированная сталь: 09Г2, 09Г2Д, 09Г2С, 09Г2СД, 10Г2С1, 10Г2С1Д, 10 ГТ 14Г2 25Г2С 35 ГС;

Легированная сталь: 20Г, 20Х, 30Х, 40Х, 45Х, 20Г2Р.

### 1.3 Конструкция фурмы

Устройство для подачи кислорода сверху состоит из двух фурм (одна рабочая, одна – резервная) механизмов для подъема и перемещения рабочей фурмы, размещенных на специальных площадках над конвертером.

Водоохлаждаемая фурма изготовлена из трех цельнотянутых труб, концентрически входящих одна в другую. Снизу фурма заканчивается медным наконечником – головкой. Головка фурмы сменная. Ее крепят к стальным трубам при помощи резьбы и сварки. Кислород подается по центральной трубе, две внешних служат для подвода и отвода воды. Температура отходящей от фурмы воды не должна превышать 40°C.

Фурму устанавливают вертикально строго по оси конвертера. Подъем и опускание производят при помощи механизма, заблокированного смеханизмом вращения конвертера и механизмом передвижения платформы фурмы. Конвертер нельзя наклонить, пока из него не удалена фурма. Конструкция фурмы оказывает большое влияние на работу конвертера и определяет его производительность стойкость футеровки, выход годного металла и т.д.

На конвертере грузоподъемностью 160 т установлена 5 – сопловая фурма, что позволяет обеспечить "мягкое" дутье, которое увеличивает площадь реакционной зоны, уменьшает количество выбросов металла из конвертера и позволяет работать с расходом кислорода до 450 м<sup>3</sup>/мин.

## 1.4 Оценка и анализ вариантов исполнения

Выбор рода тока и типа электропривода производится, исходя из целого ряда требований, предъявляемых к режиму работы исполнительного механизма.

По режиму работы электропривод подъема и опускания фурмы относится к механизмам, работающим в повторно – кратковременном режиме. Для приводов с повторно – кратковременным режимом работы используются специальные двигатели постоянного тока (ДПТ), имеющие следующие преимущества:

- более высокая перегрузочная способность по моменту, достигающая 2÷4-х кратной величины (у асинхронных двигателей она не превышает 2÷2,5-кратной величины номинального момента);
- мягкая механическая характеристика, которая даёт меньшее время разгона механизма;
- при малых статических моментах ДПТ развивает большую скорость, чем асинхронный двигатель;
- имея мягкую механическую характеристику, ДПТ легче переносит толчки нагрузки;
- электрическое торможение ДПТ осуществляется проще и даёт лучшие результаты, чем торможение асинхронных двигателей; аппаратура управления на постоянном токе проще и надежнее, чем аппаратура управления на переменном токе.

Таким образом, ДПТ приводящий механизм подъёма и опускания фурмы в повторно – кратковременном режиме работы, обеспечивает наилучшие энергетические показатели:

- 1) необходимую частоту включений;
- 2) быстрый разгон;
- 3) эффективное торможение и точную остановку двигателя.

В качестве системы управления напряжением и, следовательно, скоростью электропривода могут быть применены следующие системы:

- 1) генератор–двигатель (Г – Д);
- 2) транзисторный преобразователь – двигатель (Тр – Д)
- 3) тиристорный преобразователь – двигатель (ТП – Д).

Кратко рассмотрим их достоинства и недостатки, а также выберем наиболее приемлемый преобразователь.

Система генератор – двигатель (Г – Д), позволяющая плавно регулировать скорость двигателя и практически не вносящая искажений в питающую сеть, имеет большую установленную мощность электрических машин, а, следовательно, более низкий коэффициент полезного действия (К.П.Д.). Кроме того, эта система требует большого количества коммутационной аппаратуры и имеет повышенную мощность.

Система транзисторный преобразователь – двигатель, несмотря на простоту управления транзисторами и высокий К.П.Д. (до 98 %). Но эта система ограничена мощностью элементной базы (транзисторов).

Система тиристорный преобразователь – двигатель (ТП – Д), несмотря на внесение искажений в питающую сеть, имеет высокий К.П.Д. преобразователя (96 – 99%), меньшую мощность установленного электрооборудования, практически бесшумна и, что немаловажно, имеет более современную элементную базу.

Проанализировав возможные варианты и сопоставив их с требованиями, приходим к выводу: На данный момент в качестве системы регулирования скорости двигателя постоянного тока электропривода подъёма и опускания кислородной фурмы из всех выше перечисленных вариантов исполнения является система тиристорный преобразователь – двигатель.

В данном случае целесообразно использование комплектного тиристорного электропривода постоянного тока. Проанализировав возможные варианты серий комплектных электроприводов, выбираем комплектный тиристорный электропривод серии КТЭ.

Электропривод КТЭ отвечает всем требованиям, предъявляемым к электроприводу подъёма и опускания фурмы, статическим и динамическим критериям качества.



## 1.5 Описание функциональной схемы

На рисунке 1 представлена функциональная схема тиристорного электропривода постоянного тока механизма подъема кислородной фурмы.

Электродвигатель М получает питание от реверсивного тиристорного преобразователя UZ, который питается от трехфазной сети переменного тока, через трансформатор Т. Защита от коротких замыканий осуществляется с помощью автоматического выключателя QF.

Силовой тиристорный блок преобразователя выполнен с отдельным управлением вентилями, каждая из которых выполнена по трехфазной мостовой схеме выпрямления. Вентильные группы соединены между собой по встречно – параллельной схеме.

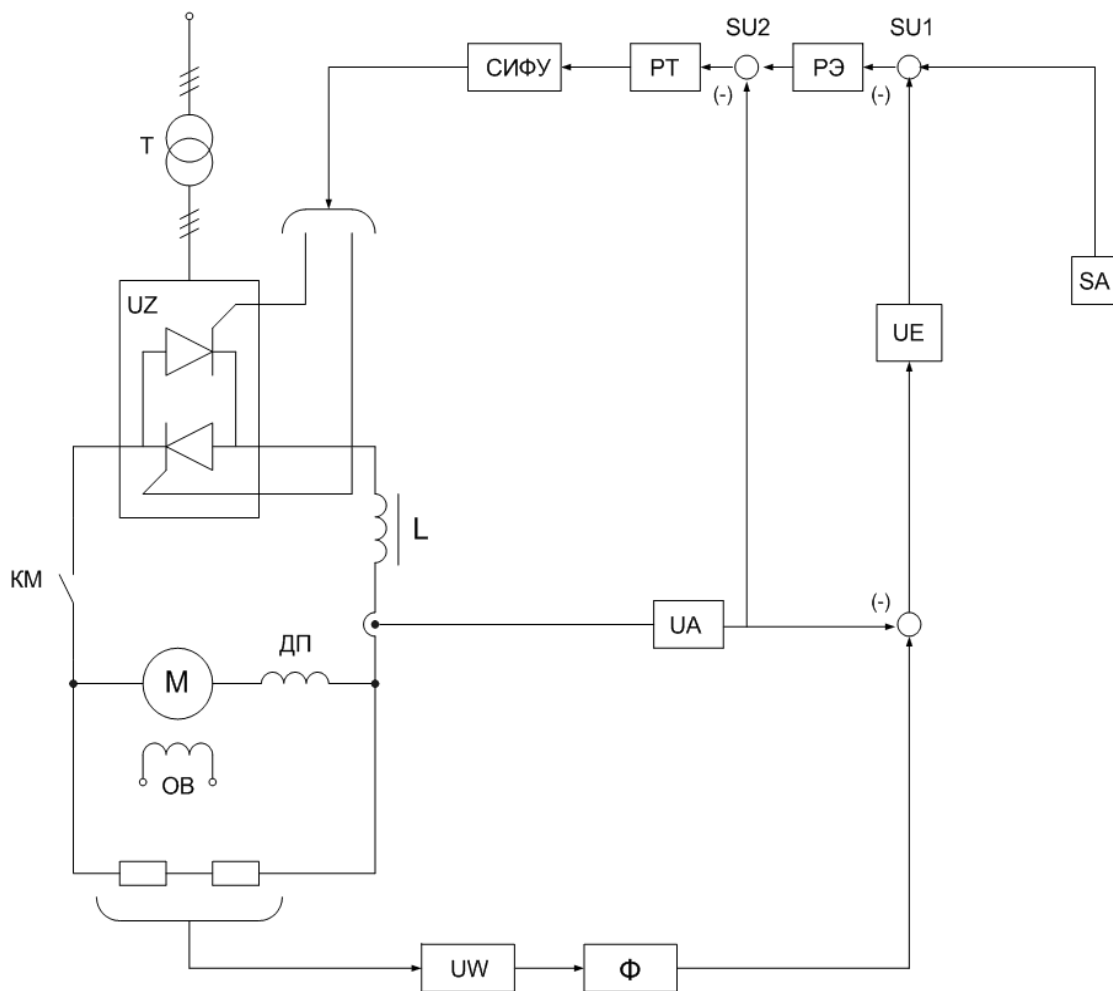


Рисунок 1 – Функциональная схема

На рисунке 1 указаны следующие обозначения.

- |                           |                                   |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Т – трансформатор,        | ЗИ – задатчик интенсивности,      |
| М – двигатель,            | UZ – тиристорный преобразователь, |
| L – сглаживающий реактор, | UА – датчик тока,                 |
| РТ – регулятор тока,      | UU – датчик напряжения,           |
| РЭ – регулятор скорости,  | Ф – фильтр,                       |
| UE – датчик ЭДС,          | SA – задатчик скорости,           |
| КМ – контактор.           |                                   |

Система импульсно – фазового управления (СИФУ) формирует управляющие импульсы для вентиля тиристорного силового блока и изменяет их фазу в зависимости от величины управляющего сигнала на ее входе с целью регулирования напряжения преобразователя и скорости электродвигателя. Величина входного импульса СИФУ является функцией величины управляющего сигнала и сигналов обратных связей по току и ЭДС поступающих в схему управления электроприводом. Управление электроприводом осуществляется с помощью командоконтроллера SA. Командоконтроллер выдает ступенчатый сигнал заранее на скорость привода. Но быстрое изменение скорости привода может вызвать чрезмерный бросок динамического тока при разгоне и торможении. С этой целью на вход регулятора ЭДС РЭ производится, преобразование ступенчатого сигнала задания в линейно – изменяющийся задатчиком интенсивности ЗИ. С помощью датчика ЭДС реализована отрицательная обратная связь по ЭДС двигателя, а с помощью датчика тока реализована отрицательная обратная связь по току двигателя. Сигнал с датчика ЭДС поступает на вход регулятора ЭДС. Выходной сигнал с регулятора ЭДС поступает на вход регулятора тока. Регулятор тока получает на входе сигнал задания с регулятора скорости и сигнал обратной связи по току. На выходе регулятора тока формируется напряжение управления СИФУ, которое определяет угол управления вентилями работающей группы преобразователя.

Для управления механизмами подъема и опускания фурм используется программируемый контроллер PLC\_N2 типа “SimaticS7-300”. По сети ProfibusDP контроллер PLC\_N2 связан с тиристорным преобразователем, абсолютными датчиками положения и кнопочной панелью PP17, установленной на главном пульте управления (ГПУ). По сети AS-i контроллер связан с модулями AS-интерфейса, обрабатывающими сигналы и управляющими релейной схемой.

На рисунке 4 представлена архитектура сети ProfibusDP электроприводов подъема фурм и поворота конвертера. Здесь изображено 4 энкодера фурм (по 2 энкодера на каждую фурму, один из которых является рабочим энкодером, второй резервным); 2 энкодера поворота конвертера; 2 преобразователя фурм; 6 преобразователей поворота конвертера; 2 кнопочных панели PP17-1, одна из

которых управляет вспомогательными механизмами фурмы, другая вспомогательными механизмами конвертера.

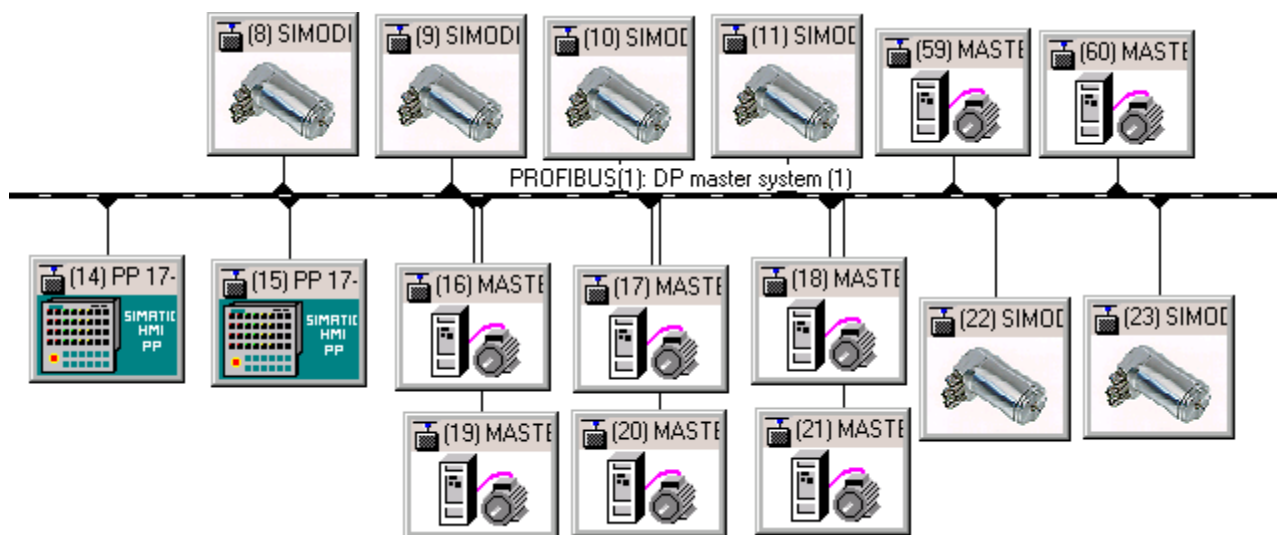


Рисунок 2 - Архитектура сети ProfibusDP электроприводов подъема фурм и поворота конвертера.

Сигналы обмена контроллера PLC\_N2 с периферийными устройствами сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Сигналы обмена контроллера PLC\_N2

Адрес	Сигнал	
	Входные сигналы PLC_N2	Выходные сигналы PLC_N2
ТП1,ТП2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сигналы Iя, Iв, ЭДС</li> <li>• Слова состояния</li> <li>• Сигнал “<math>n &lt; n_{min}</math>”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Бит 3 слова управления 1 (блокировка импульсов)</li> <li>• Задание на скорость</li> </ul>

Пульты ГПУ, МПУ	Сигналы от органов управления пультов ГПУ, МПУ	Сигналы управления сигнализацией пульта ГПУ, МПУ
Абсолютный датчик положения, путевого выключатель	Сигнал о положении фурм	
AS-i	Сигналы о состоянии релейной схемы	Сигналы управления релейной схемой.

По сети ProfibusFMS контроллер PLC\_N2 связывается с контроллером верхнего уровня PLC\_V2 (типа S7-300).

Сигналы обмена сети ProfibusFMS сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Сигналы обмена сети ProfibusFMS

Адрес	Входные сигналы PLC_N2	Выходные сигналы PLC_N2
PLCV2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Задание на положение (режим Автоматический)</li> <li>• “Кислородный клапан закрыт”</li> <li>• “Аварийный подъем фурмы”</li> <li>• Сигнал задания калибровки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Неисправность тиристорного преобразователя</li> <li>• Выбор и готовность фурмы</li> <li>• Текущий режим движения</li> <li>• Текущее состояние фурмы</li> <li>• Положение платформы</li> <li>• Положение фурмы</li> <li>• Скорость и направление движения фурмы</li> </ul>

Аппаратные сигналы обмена контроллера PLC\_N2 с контроллером верхнего уровня PLC\_V2 сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Сигналы обмена контроллера PLC\_N2 с контроллером верхнего уровня PLC\_V2

Адрес	Сигнал	
	Входные сигналы PLC_N2	Выходные сигналы PLC_N2
PLC_V2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• «Аварийный подъём фурмы»</li> <li>• «Фурма без кислорода»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• «Аварийный подъём фурмы»</li> </ul>

Предусмотрены следующие режимы управления приводом вертикального перемещения фурм:

1. Автоматический
2. Ручной
3. Наладка
4. Аварийный подъём фурмы

Режим автоматический – привод вертикального перемещения фурм управляется сигналом “Заданное положение фурмы” от системы верхнего уровня автоматизации. Переход в этот режим осуществляется вручную от кнопки “Автоматический” на ГПУ.

Режим ручной – привод вертикального перемещения фурм управляется оператором по сигналу от джойстика ГПУ. Переход в этот режим осуществляется вручную от кнопки “Ручной” на ГПУ. Задействованы все блокировки. Применяется при необходимости внесение корректировок в автоматический режим ведения плавки или при невозможности выполнения автоматического режима.

Режим наладка – привод вертикального перемещения фурм управляется оператором по сигналу от джойстика ГПУ с ограниченным набором функций. Переход в этот режим осуществляется вручную от кнопки “Наладка” на ГПУ.

В режиме “Наладка” исключены следующие блокировки:

- 1) Автоматический аварийный подъем фурм
- 2) Запрет на подъем выше горловины конвертера с кислородом.

Применяется при пусконаладочных работах, для настройки оборудования, при отказах сети “ProfibusFMS” или абсолютных датчиках положения.

Режим аварийного подъема фурмы – имеет приоритет над всеми режимами управления. Переход в этот режим осуществляется автоматически (по сигналу от систем верхнего уровня управления – контроллера PLC\_V2), либо вручную от кнопки “ Аварийный подъем фурмы ” на ГПУ при этом производится.

Позиционирование фурмы производится по показанию датчиков положения.

Перед началом движения выполняется проверка соответствия значений абсолютных датчиков, при превышении рассогласования величины, определяемой в процессе наладки, выдаётся предупредительное сообщение. Работа электропривода в этом случае возможна только после ручного выбора оператором датчика, чьи показания (по его мнению) соответствуют истинному положению конвертера. В случае некорректной работы обоих абсолютных датчиков возможен ручной выбор оператором режима работы по сигналам путевого выключателя.

## **1.6 Описание программируемого контроллера SimaticS7-317-2DP**

S7-300 построен по модульному типу. Из обширного спектра модулей.

Спектр модулей включает в себя:

- CPU для различных диапазонов производительности
- сигнальные модули для цифрового и аналогового ввода/вывода

- функциональные модули для технологических функций.
- СР для коммуникационных задач.
- блоки питания для подключения S7-300 к напряжению питания 120/230 В.
- модули подключения для соединения носителей модулей в структуре из нескольких носителей модулей.

Все модули S7-300 защищены кожухом по классу защиты IP 20, т. е. они герметизированы и работают без применения вентилятора.

Таблица 4 – Характеристики CPU

Рабочая память:	48 Кбайт
Загрузочная память • встроенная: • расширяемая с помощью платы памяти	80 Кбайт RAM до 512 Кбайт (в CPU программируемы до 256 Кбайт)
Скорость мс/1000 двоичных команд	0,3
Цифровые входы/выходы	1024
Аналоговые входы/выходы	128
Отображение процесса, входы/выходы	128 байт
Адресное пространство DP	2 Кбайта входы/выходы (с L/T-командами до 1023 байт)
Меркеры	2048
Счетчики	64
Таймеры	128
макс. сумма всех реманентных данных	4736 байт
Часы	Аппаратные часы
Счетчик рабочего Времени	1



<p>Интерфейс MPI</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• скорость передачи</li> <li>• макс. количество абонентов</li> </ul>	<p style="text-align: center;">187, 5 КБод</p> <p style="text-align: center;">32 (127 с повторителями)</p>
<p>Интерфейс PROFIBUS-DP</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• скорость передачи</li> <li>• макс. число абонентов</li> </ul>	<p style="text-align: center;">да</p> <p style="text-align: center;">до 12 МБод</p> <p style="text-align: center;">64 Slave- устройств DP</p>

### 1.7 Краткое описание языка программирования контроллеров Simatic и управляющей программы электроприводом.

Для программируемого контроллера SimaticS7-317-2DP разработан специализированный язык программирования STEP 7, который предназначен, в основном, для обработки и выполнения логических операций.

Для программирования блоков STEP 7 предназначены языки программирования, соответствующие международному стандарту DIN EN 6.1131-3: STL ("statementlist" - список мнемоник, Assembler-подобный язык), LAD ("ladderdiagram" - "контактный план", представление в виде логических схем), FBD ("functionblockdiagram" - "функциональный план", язык функциональных блок-схем).

Управляющая программа электроприводами поворота «Simoreg» позволяет осуществлять управление с пультов ГПУ, МПУ, кислородными задвижками, водяными задвижками, маслонасосами и отсечным клапаном в режимах "Местный" и "Дистанционный", платформой с пульта ГПУ.

Управляющая программа SIMATIC S7 является структурированной программой, что означает, что она состоит из блоков, обладающих определенными функциями, соответствующими их положению в сетевой и иерархической структуре системы. Различные классы приоритетов позволяют располагать в определенном порядке прерывания исполняемой программы пользователя. STEP 7 работает с переменными различных типов, начиная с переменных двоичного типа (BOOL), с переменных численных форматов (INT или REAL) и заканчивая сложными типами, такими как массивы или структуры (комбинации переменных различных типов в форме единой переменной).

Для работы в среде STEP 7 используется программное обеспечение SIMATICManager. Перед написанием управляющей программы, необходимо создать проект который имеет следующую иерархическую структуру (рисунок – 3):

Структура	Объект	Описание
Project		Папка для всех объектов проекта
MPI [PTP, PROFIBUS, Ethernet]	<b>Subnet (Подсеть)</b>	Содержит параметры для подсети
SIMATIC 300/400 station		Папка для всех объектов станции
Hardware (Аппаратное обеспечение)	<b>Configuration table (Таблица конфигурации)</b>	Содержит данные конфигурации для станции и параметры для модулей
CPU xxx		Папка для всех объектов CPU
Connections (Соединения)	<b>Connection table (Таблица соединений)</b>	Содержит данные коммуникаций для узлов сети
S7 program		Папка для всех объектов программы пользователя
Symbols (Символы)	<b>Symbol table (Таблица символов)</b>	Содержит символы (символьные имена) для абсолютной адресации GD
Sources		Папка для всех исходных программ
Source files (Исходные файлы)	<b>Source programs (Исходные программы)</b>	Содержат исходные файлы программы пользователя (STL-, SCL-программы...)
Blocks		Папка для скомпилированных объектов программы пользователя
OB n	<b>Организационные блоки</b>	Содержат скомпилированные коды и данные программы пользователя
FB n	<b>Функциональные блоки</b>	
FC n	<b>Функции</b>	
DB n	<b>Блоки данных</b>	
SFC n	<b>Системные функции</b>	Содержат интерфейс вызова системных блоков, встроенных в CPU
SFB n	<b>Системные функц. блоки</b>	
System data (Системные данные)	<b>Системные блоки данных</b>	Содержат скомпилированные данные для таблицы конфигурации
UDT n	<b>Data types (Пользовательские типы данных)</b>	Содержат определения типов данных, определенных пользователем
VAT n	<b>Variable table (Таблица переменных)</b>	Содержит переменные для мониторинга и модификации
S7 program		Папка для программы пользователя, которая назначена не для любого CPU (имеет такую же структуру, как и любая S 7-программа, назначенная CPU)

Рисунок 3 - Иерархическая структура объектов проекта STEP 7

## 1.8 AS-интерфейс

Помимо PROFIBUS существует AS-интерфейс ("Actuator-SensorInterface" ("AS-i")) [интерфейс привод-датчик] – это сетевая система для обмена данными с оборудованием процесса нижнего уровня (уровень управляемого процесса) в системе управления.

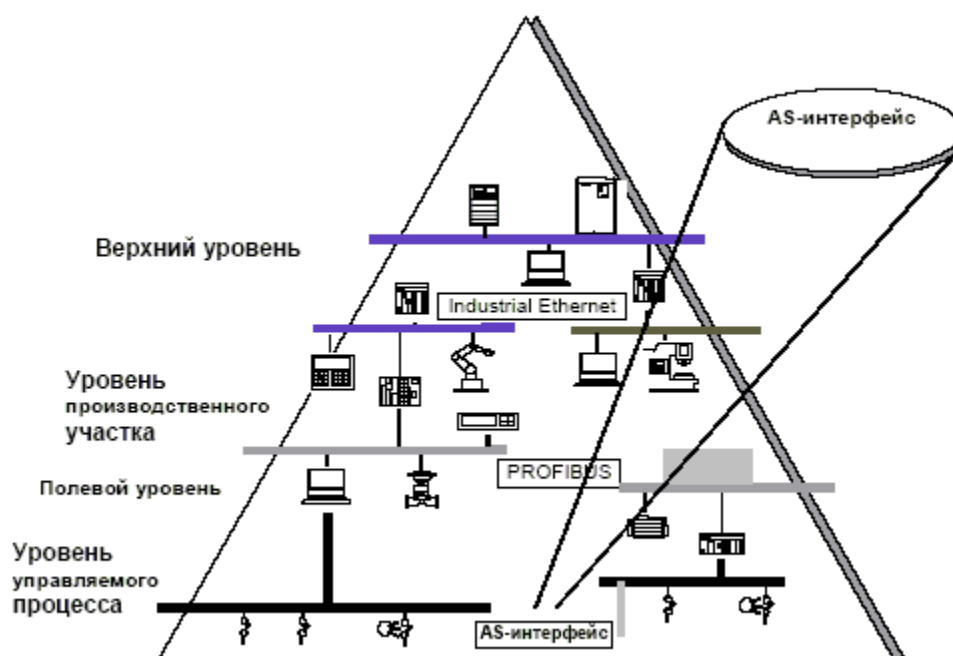


Рисунок 4 – Место AS-интерфейса в системе автоматизации SIMATIC

AS-интерфейс применяется для подключения бинарных датчиков и исполнительных механизмов.

Ведущее устройство AS-i может управлять группой, включающей до 31 единиц ведомых устройств AS-i.

Управление обеспечивается по двухпроводной AS-i-линии, по которой передаются как питающее напряжение, так и информационные сигналы. Ведомыми устройствами AS-i могут быть приводы или датчики с шинной организацией или AS-i модули, к которым подключено до 8 двоичных ("normal" - "нормальных") датчиков или приводов. Сегмент AS-i может иметь длину до 100 м, однако длина

сегмента может быть увеличена вдвое при применении повторителя (при этом ведомые устройства AS-i и источники питания должны присутствовать на обоих концах) или при применении расширителя (при этом ведомые устройства AS-i и источник питания должны быть только на линии, идущей от ведущего устройства AS-i).

На следующем рисунке (рисунок – 5) показана древовидная структура соединений компонентов AS – интерфейса.

Компоненты системы для сети AS–интерфейса:

- Ведущее устройство AS–интерфейса
- Ведомые устройства AS–интерфейса, которые, в зависимости от конструкции, разделяются на следующие устройства:
  - Модули AS–интерфейса
  - Датчики/исполнительные механизмы со встроенным AS–i интерфейсом
- Кабель AS–интерфейса
- Блок питания AS–интерфейса
- Прибор для задания адресов
- Программа SCOPE для AS–интерфейса

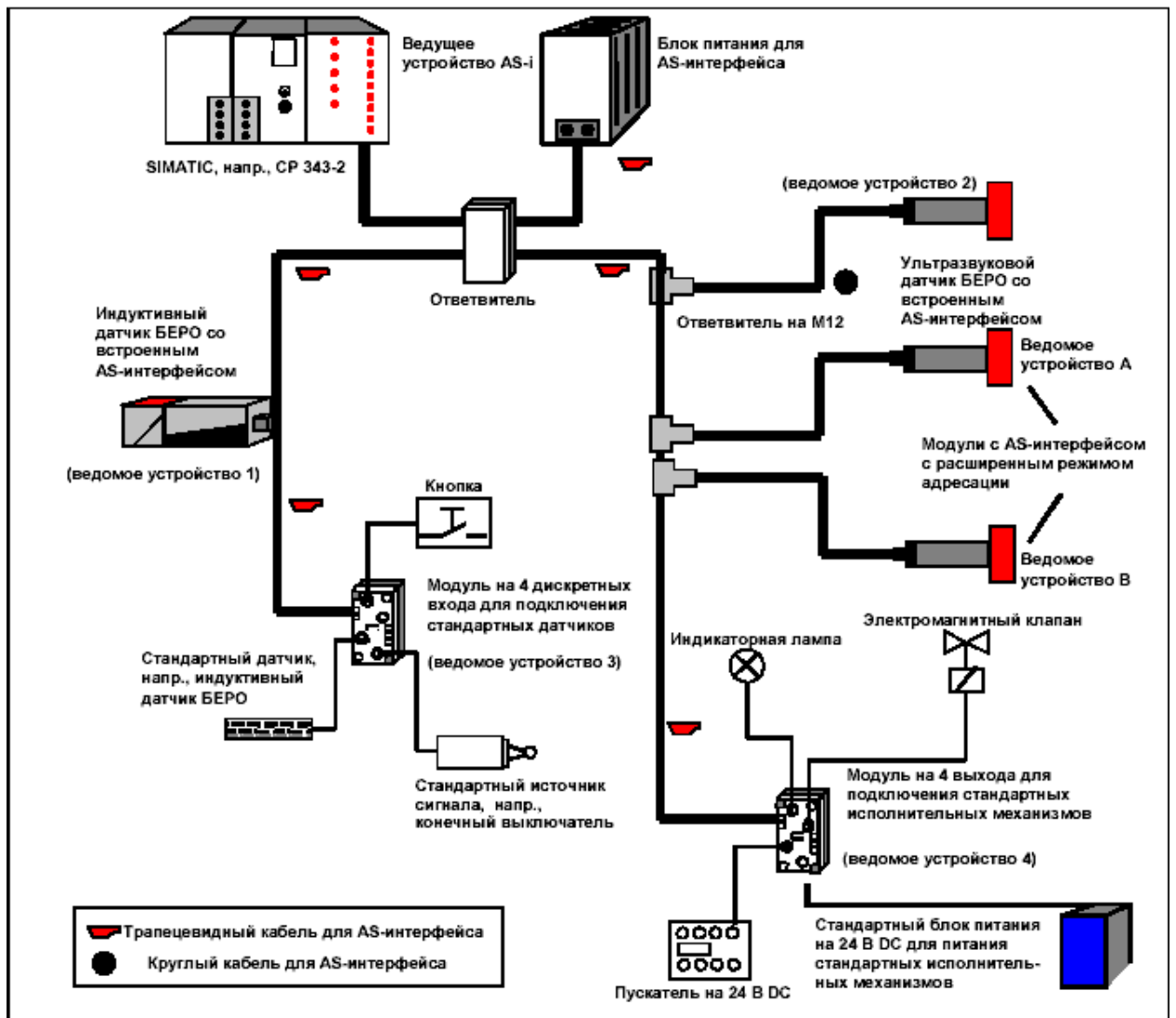


Рисунок 5 – Соединение компонентов AS – интерфейса

## 1.9 Кинематическая схема.

Кинематическая схема механизма подъёма кислородной фурмы приведена на рисунке 6.

где:

- 1 – электромагнитный тормоз;
- 2 – электродвигатель;
- 3 – редуктор;
- 4 – муфта зубчатая;
- 5 – звёздочка приводная;
- 6 – цепь грузовая;
- 7 – каретка для фурмы;
- 8 – фурма кислородная.

Так как кислородная фурма имеет большой вес, то существует противовес Q, который облегчает нагрузку на двигателе.

Подъем и опускание фурмы осуществляется механизмом передвижения, состоящим из электродвигателя постоянного тока параллельного возбуждения Д806, который в свою очередь вращает редуктор 3 и зубчатую муфту 4, приводя в движение фурму 8, тормоза ТКП – 300/200, двухступенчатого цилиндрического редуктора РМ500 – V – 5Ц, двух ведущих звездочек ( $Dз = 44$  мм), противовеса. Противовес предназначен для облегчения подъема фурмы и уменьшения мощности приводного электродвигателя. В электроприводе кислородной фурмы существует механический тормоз 1. Питание электродвигателей рабочей и резервной фурмы предусматривается от реверсивного комплектного тиристорного электропривода SIMOREGDCMaster 6RA7081-6DV62 фирмы Siemens. Схемой предусмотрено подключение SIMOREGDCMaster 6RA7081-6DV62 двигателя резервной фурмы при выходе из строя рабочей. Для определения положения фурмы при ее движении и во время продувки на каждом приводе установлены два энкодера

Для остановки фурмы в крайних положениях, подачи импульса на снижение скорости фурмы при подходе её на подогрев лома, к зеркалу металла и верхнему крайнему положению для автоматической подачи команд и блокировок с другими

механизмами на каждом приводе установлено четыре командоаппарата типа КА426 А-5.

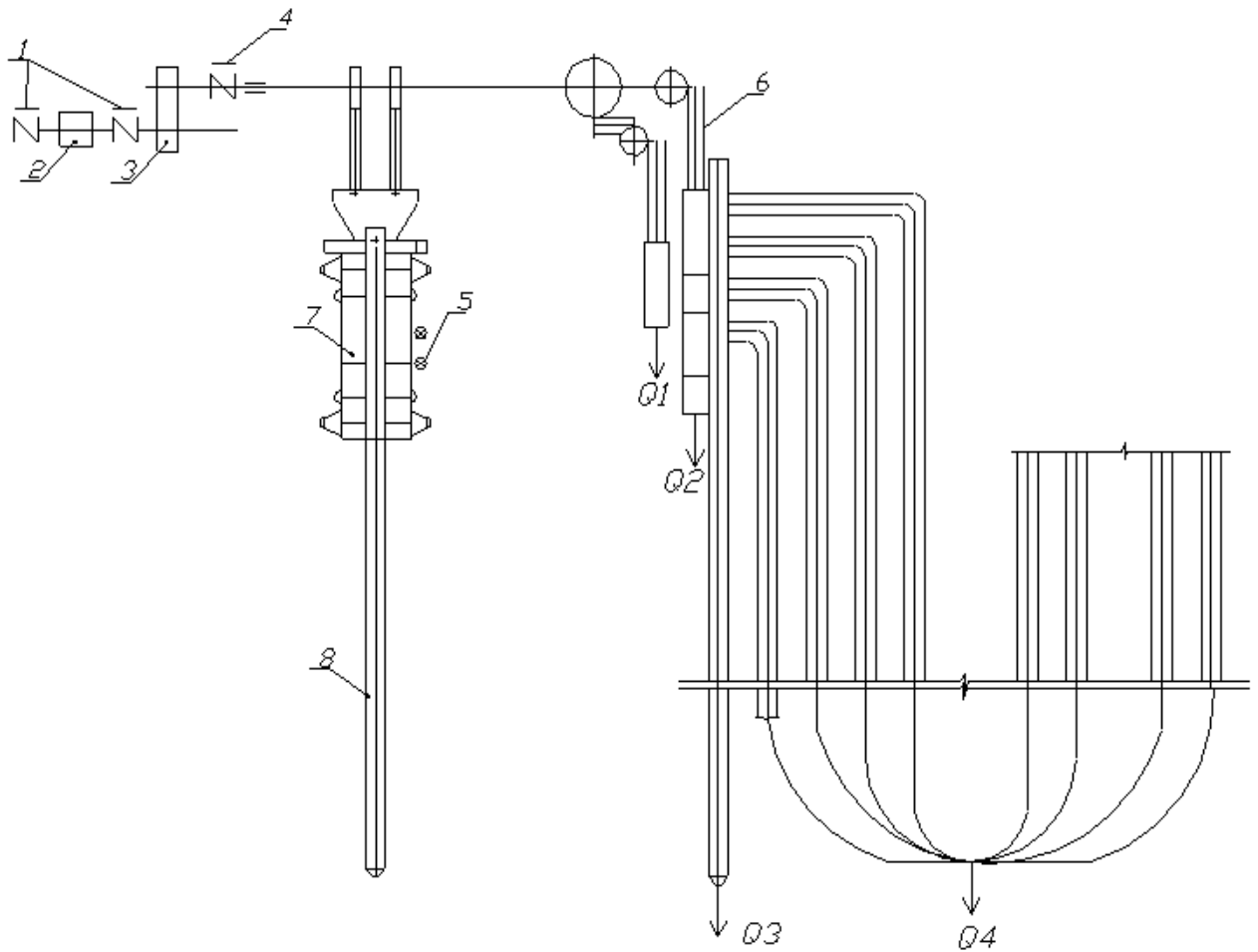


Рисунок 6 – Кинематическая схема механизма подъёма кислородной фурмы



## **2. РАСЧЕТНО–ПРОЕКТНАЯ ЧАСТЬ**

### **2.1 Требование к электроприводу**

В соответствии с технологическим процессом к электроприводу и электрооборудованию фурмы предъявляется следующий ряд требований:

- Строгое соблюдение технологии процесса;
- Безаварийное завершение процесса при отказах работы отдельных приводов;
- Ограничение ускорений, т. к. операция проводится с жидкими металлами;
- Высокие температурные требования;
- Хорошая изоляция, так как существует высокая концентрация токопроводящей пыли.

Электрооборудование фурмы должно обладать максимальной надёжностью, т. к. в случае его отказа возможны аварии, вплоть до взрыва при попадании воды в конвертер. Поэтому каждая фурма должна быть снабжена независимым электроприводом. Очень жёсткие требования предъявляются по регулированию частоты вращения и точности остановки фурмы.

Помимо ограниченного хода и работы на пониженной скорости, в схемах должны быть предусмотрены блокировки, обеспечивающие работу привода поворота конвертера только после подъёма фурмы. Разрешение на опускание фурмы должно быть только при вертикальном положении конвертера.

## 2.2 Выбор электродвигателя

Исходные данные для расчета мощности и выбора электродвигателя приведены в таблице 5

Таблица 5

Наименование параметра	Буквенное обозначение	Единицы измерения	Величина
1. Передаточное число редуктора	$I_{ред}$		16,33
2. КПД редуктора	$\eta_{ред}$		0,88
3. КПД подшипников качения	$\eta_{пк}$		0,99
4. КПД цепной передачи	$\eta_{цп}$		0,97
5. КПД муфты зубчатой	$\eta_{мз}$		0,99
6. Количество цепных блоков	$n_{цб}$	шт.	2
7. Ход муфты	$S_{ф}$	м	13,1
8. Длина фурмы	$l_{ф}$	м	16,21
9. Скорость перемещения максимальная	$V_{макс}$	м/с	0,895
10. Скорость перемещения минимальная	$V_{i \text{ } \dot{e}i}$	м/с	0,2
11. Максимальное ускорение	$a_{макс}$	м/с <sup>2</sup>	1,2
12. Диаметр приводной звездочки	$D_{зп}$	м	0,44
13. Масса приводной звездочки	$m_{зп}$	кг	45
14. Полная масса фурмы	$m_{ф}$	кг	4445
15. Масса противовеса	$m_{пр}$	кг	3060
16. Диаметр тормозного шкива	$D_{тш}$	м	0,3
17. Масса тормозного шкива	$m_{тш}$	кг	14,5
18. Диаметр муфты зубчатой	$D_{мз}$	м	0,3
19. Масса муфты зубчатой	$m_{мз}$	м	30
20. Максимальная угловая скорость приводного двигателя	$\omega_{дв.макс}$	рад/с	66,43
21. Минимальная угловая скорость приводного двигателя	$\omega_{дв.мин.}$	рад/с	14,84
22. Маховый момент муфты тормозной	$GD^2_{МТ}$	кг*м <sup>2</sup>	0,47

Технологическая операция продувки осуществляется в следующей последовательности: перед началом продувки фурма опускается в конвертер со скоростью 0,895 м/с, а за 3 метра до условного зеркала металла скорость снижается до 0,2 м/с и поддерживается на этом значении до полной остановки. После окончания продувки фурма поднимается вверх в исходное положение со скоростью 0,895 м/с.

Произведем расчет мощности и осуществим выбор электродвигателя.

Приведенный момент сопротивления механизма при подъеме фурмы

$$\dot{I}_{\text{пр}} = \frac{F}{\eta} \cdot r = \frac{13586,85}{0,8034} \cdot 0,0135 = 228,23 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

где  $F = (m_{\text{ф}} - m_{\text{пр}}) \cdot g = (4445 - 3060) \cdot 9,81 = 13586,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$  – сила тяжести поднимаемого эквивалентного груза;

$$\eta = \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{нк}}^2 \cdot \eta_{\text{цп}}^2 \cdot \eta_{\text{мв}} = 0,88 \cdot 0,99^2 \cdot 0,97^2 \cdot 0,99 = 0,8034 \text{ – КПД механизма};$$

$$\rho = \frac{D_{\text{зн}}}{2i_{\text{ред}}} = \frac{0,44}{2 \cdot 16,33} = 0,0135 \text{ м – радиус приведения}$$

Расчетная мощность двигателя

$$P_{\text{дв}} = \dot{I}_{\text{пр}} \cdot \omega_{\text{дв}} = 228,3 \cdot 66,43 = 15,53 \text{ Вт}.$$

Расчетная максимальная скорость электродвигателя

$$\omega_{\text{дв.макс.}} = \omega_{\text{б.макс.}} \cdot i_{\text{ред}} = 4,068 \cdot 16,33 = 66,43 \text{ рад/с}$$

где максимальная угловая скорость приведенной звездочки

$$\omega_{\text{б.макс.}} = \frac{V_{\text{макс.}}}{0,5 \cdot D_{\text{зп}}} = \frac{0,895}{0,5 \cdot 0,44} = 4,068 \text{ рад/с}$$

В связи с тем, что в ходе технологического процесса выплавки стали в кислородном конвертере на фурмах образуются настывы массой до трех тонн, двигатель выбираем с запасом по мощности.

По найденным значениям мощности и угловой скорости, выбираем двигатель Д 806. В таблице 6 приведены паспортные параметры электродвигателя Д806.

Таблица 6 – Паспортные параметры электродвигателя Д806

Наименование параметра	Буквенное обозначение	Величина	Единица измерения
Номинальная мощность	$P_H$	22	кВт
Номинальное напряжение	$U_H$	220	В
Номинальный ток	$I_H$	116	А
Номинальная частота вращения	$n_H$	650	об/мин
Максимальная допустимая частота вращения	$n_{\text{макс}}$	2600	об/мин
Сопротивление обмотки двигателя при температуре 15°C	$(R_{\text{оя}}+R_{\text{дп}})$	0,1085	Ом
Максимальный момент двигателя	$M_{\text{макс}}$	872	Нм
Момент инерции якоря двигателя	$J_{\text{дв}}$	1,0	Кгм <sup>2</sup>
Число пар полюсов	$p$	2	
Номинальный момент двигателя	$M_H$	323,4	Нм
Допустимая перегрузка	$\lambda$	3	
Число витков обмотки возбуждения	$W_B$	1400	
Номинальный ток возбуждения	$I_{B,H}$	2,7	А
Сопротивление обмотки возбуждения при 15°C	$R_B$	65	Ом
Номинальный поток возбуждения	$\Phi$	0,025	Вб

Таблица 7 – Расчетные параметры электродвигателя Д806

Наименование параметра	Обоз.	Расчетная формула	Величина	Единица измерения
Номинальная угловая скорость вращения	$\omega_H$	$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30}$	68,03	Рад/с
Номинальный момент двигателя	$M_H$	$M_H = \frac{10^3 P_H}{\omega_H}$	323,4	Нм
Сопротивление двигателя горячее	$R_{дв.гор}$	$R_{дв.гор} = 1,38(R_{я} + R_{дв})$	0,15	Ом
Коэффициент ЭДС (В·с/рад) и электромагнитного момента (Н·м/А)	$C$	$C = \frac{U_H - I_H \cdot R_{дв.гор}}{\omega_H}$	2,97	В·с/рад
Индуктивность двигателя	$L_{дв}$	$L_{дв} = \gamma \frac{U_H}{p \cdot \omega_H \cdot I_H}$ , где $\gamma = 0,3$	4,18	мГн
Электромагнитная постоянная двигателя	$T_{дв}$	$T_{дв} = \frac{L_{дв}}{R_{дв}}$	0,028	с
Максимальный ток	$I_{дв.макс}$	$I_{дв.макс} = \lambda \cdot I_{дв.н}$	348	А
Максимальная ЭДС двигателя	$E_{дв.н}$	$E_{дв.н} = C \cdot \omega_H$	202,7	В
Максимальное напряжение	$U_{дв.макс}$	$U_{дв.макс} = C \cdot \omega_{макс} + I_{макс} \cdot R_{дв.гор}$	250	В
Сопротивление цепи обмотки возбуждения	$R_{в.гор}$	$R_{в.гор} = 1,38 \cdot R_B$	89,7	Ом
Усредненное значение индуктивности основного потока возбуждения	$L_{в.ср}$	$L_{в.ср} = 2 \cdot \rho \cdot W_B \cdot \frac{\Phi_H}{I_{в.н}}$	51,85	Гн
Индуктивность потока рассеивания	$L_S$	$L_S = 2 \cdot \rho \cdot W_B \cdot \frac{0,18 \Phi_H}{I_{в.н}}$	9,33	Гн

### 2.3 Проверка выбранного двигателя по статической нагрузке.

В подразделе 2.1 найден момент нагрузки  $M = 228,3$  Нм – при подъеме груза.

Так как механизм работает в повторно – кратковременном режиме при продолжительности включения (ПВ) не более 20%, то находим номинальный момент двигателя, соответствующий ПВ = 20%

$$M_{ДВ.ПВ=20\%} = M_n \cdot \sqrt{\frac{25}{20}} = 323,4 \cdot 1,11 = 359 \text{ Нм.}$$

Тогда отношение

$$\lambda_{ст} = \frac{M_c}{M_{н\text{дв}ПВ20\%}} = \frac{228,3}{359} = 0,635$$

оказывается меньше единицы, следовательно, двигатель по статической нагрузке проходит.

### 2.4 Проверка двигателя по динамической нагрузке

Определим приведенный момент инерции при подъеме фурмы, соответствующий максимальному значению:

$$J_{МАКС} = J_{ДВ} + J_{ТШ} + J_{МТ} + J_{МТ} + J_{ЗП} + m_{\phi} \cdot \rho^2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_{МАКС} = 1,0 + 0,33 + 0,3375 + 0,1175 + 4,356 + 4445 \cdot 0,0135 = 6,951 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

где  $J_{ТШ} = m_{ТШ} \cdot r_{ТШ}^2 = 14,5 \cdot 0,15^2 = 0,33 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  – момент инерции тормозного шкива;

$$r_{ТШ} = \frac{D_{ТШ}}{2} = \frac{0,3}{2} = 0,15 \text{ м} – \text{радиус шкива};$$

$$J_{МЗ} = \frac{m_{МЗ} \cdot r_{МЗ}^2}{2} = \frac{30 \cdot 0,15^2}{2} = 0,3375 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 – \text{момент инерции муфты зубчатой};$$

$$J_{МТ} = \frac{G \cdot D_{МТ}^2}{4} = \frac{0,47}{4} = 0,1175 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 – \text{момент инерции муфты тормозной.}$$

$$J_{ЗП} = \frac{4 \cdot m_{ЗП} \cdot r_{ЗП}^2}{2} = \frac{4 \cdot 45 \cdot 0,22^2}{2} = 4,356 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 – \text{момент инерции приводной}$$

звездочки;

$$r_{зп} = \frac{D_{зп}}{2} = \frac{0,44}{2} = 0,22 \text{ м} - \text{радиус приводной звездочки.}$$

Определим момент инерции механизма при опускании:

$$J_{\text{мин}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{тш}} + J_{\text{мз}} + J_{\text{мг}} + J_{\text{зп}} + m_{\text{пр}} \cdot r^2 = 1,0 + 0,33 + 0,3375 + 0,1175 + 4,356 + 3060 \cdot 0,0135^2 = 6,699 \text{ кгм}^2;$$

Определим статический момент двигателя при подъеме:

$$M_{\text{с.подъём}} = M_{\text{гр.прив}} + M_{\text{с.прив}} = 183,04 + 45,24 = 228,28 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

где  $M_{\text{гр.прив.}} = \frac{M_{\text{гр.зп}}}{i_{\text{ред}}} = \frac{2989}{16,33} = 183,04 \text{ Н} \cdot \text{м} - \text{момент груза, приведенный к валу}$

двигателя;

$M_{\text{гр.зп}} = (m_{\text{ф}} - m_{\text{пр}}) \cdot g \cdot r_{\text{зп}} = (4445 - 3060) \cdot 9,81 \cdot 0,22 = 2989 \text{ Н} \cdot \text{м} - \text{момент груза на приводных звездочках механизма подъема};$

$M_{\text{с.прив}} = \frac{M_{\text{ср.зп}}}{i_{\text{ред}} \cdot \eta} - \frac{M_{\text{ср.зп}}}{i_{\text{ред}}} = \frac{2989}{16,33 \cdot 0,8034} = 45,24 \text{ Н} \cdot \text{м} - \text{приведенный момент сопротивления}$

от сил трения.

Момент статический при спуске:

$$M_{\text{с.сп}} = M_{\text{гр.прив}} - M_{\text{с.прив}} = 183,04 - 45,24 = 137,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

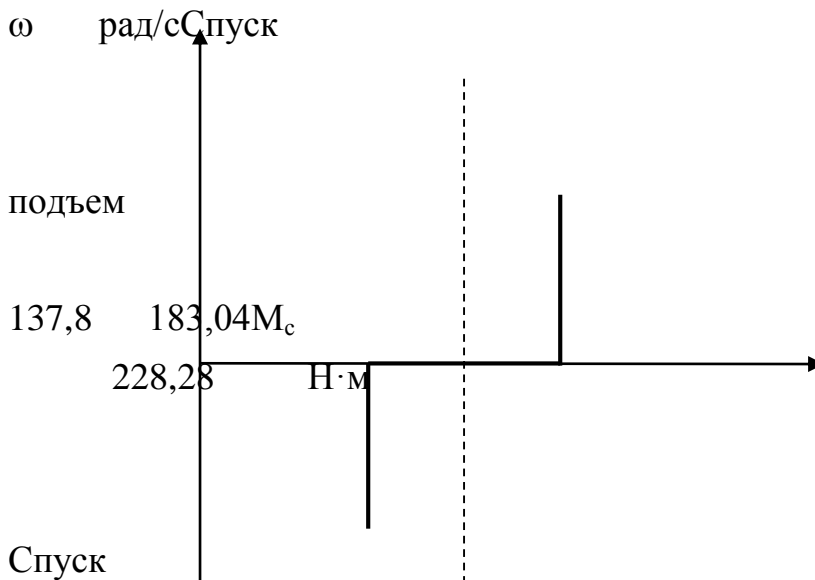


Рисунок 7– Характеристика момента нагрузки на валу двигателя.

Определим момент, развиваемый двигателем в различных пуско – тормозных режимах:

– разгон в операции «подъем»

$$M_{p.подъем} = J \cdot \frac{d\omega}{dt} + M_{ср.подъем} = J \cdot \frac{a}{p} + M_{ср.подъем} = 6,951 \cdot \frac{1,2}{0,0135} + 228,28 = 846,22 \text{ Нм};$$

– торможение в операции «подъем»

$$M_{т.подъем} = -J_{макс} \cdot \frac{d\omega}{dt} + M_{ср.подъем} = -J_{макс} \cdot \frac{a}{p} + M_{ср.подъем} = -6,951 \cdot \frac{1,2}{0,0135} + 228,28 = 389,59 \text{ Нм};$$

– разгон в операции «опускание»

$$M_{p.спуск} = J_{мин} \cdot \frac{d\omega}{dt} - M_{ср.спуск} = J_{мин} \cdot \frac{a}{p} - M_{ср.спуск} = 6,699 \cdot \frac{1,2}{0,0135} - 137,8 = 457,66 \text{ Нм}$$

– торможение в операции «опускание»

$$M_{т.спуск} = J \cdot \frac{d\omega}{dt} + M_{ср.спуск} = J \cdot \frac{a}{p} + M_{ср.спуск} = 6,699 \cdot \frac{1,2}{0,0135} + 137,8 = 733,34 \text{ Нм}.$$



Величина момента двигателя в переходных режимах не превышает каталожной величины момента максимального, поэтому двигатель Д806 может быть принят к установке на механизме подъема кислородной фурмы.

## 2.5 Механическая система электропривода

Представим механизм подъема фурмы в виде одномассовой системы для случаев подъема и опускания фурмы.

Параметры при подъеме:

$$J_{э.подъем} = 6,951 \text{ кгм}^2; J_{э.спуск} = 6,699 \text{ кгм}^2;$$

$$M_{с.подъем} = 228,28 \text{ Нм.}$$

Параметры при спуске:

$$M_{с.спуск} = 137,8 \text{ Нм.}$$

На рисунке 8 представлена расчетная и структурная схема механической системы для случаев подъема и опускания фурмы.

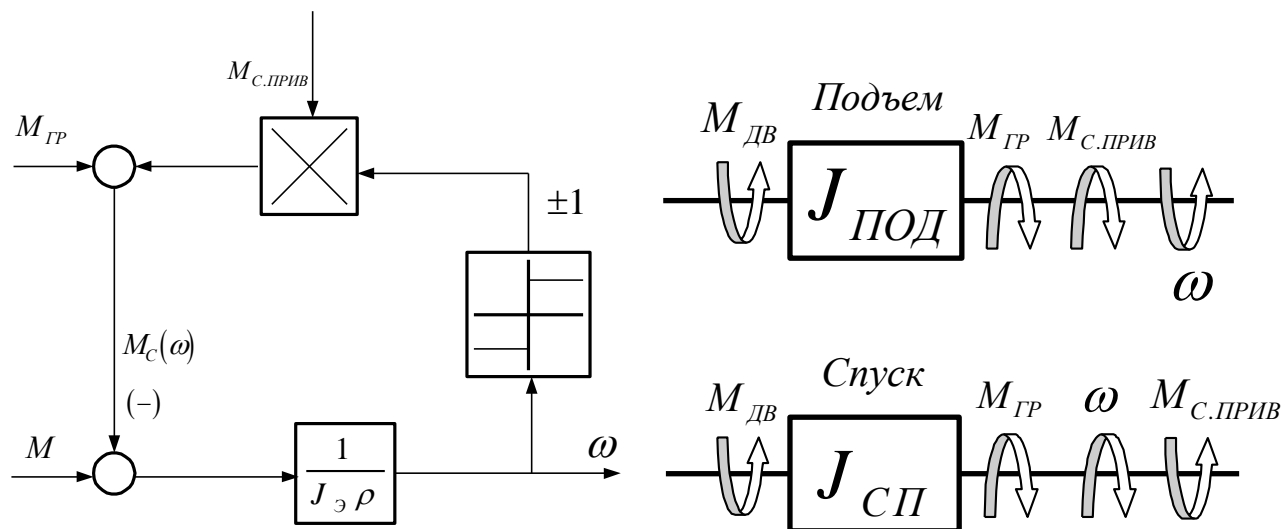


Рисунок 8 – Расчетная и структурная схемы механические системы электропривода.

## 2.6 Выбор тиристорного преобразователя

Для выбранного электродвигателя из условия  $I_{д.н.} \geq I_{дв.н.}$  и  $U_{д.н.} \geq U_{дв.н.}$  выбираем преобразователь типа SIMOREGDCMaster 6RA7081-6DV62 фирмы Siemens. Параметры преобразователя приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры преобразователя SIMOREGDCMaster

Параметр	Величина
Заказной номер	6RA7081-6DV62
Номинальное напряжение питания якоря, В	400(+15%/-20%)
Номинальное напряжение питания источника питания электроники, В	380-460(+15%/-20%)
Номинальное напряжение питания вентилятора, В	400(+15%/-15%), 0,24А, 75 ватт
Интенсивность воздушного потока, м <sup>3</sup> /ч	570
Параметр	Величина
Номинальное напряжение возбуждения, В	400(+15%/-20%)
Номинальная частота, Гц	Преобразователь самонастраивается на частоту напряжения питания в диапазоне от 45 до 65 Гц
Номинальный постоянный ток, А	400

Продолжение таблицы 8

Параметр	Величина
Перегрузочная способность	Максимум 150% от номинального постоянного тока
Номинальная выходная мощность, кВт	168
Потеря мощности при номинальном постоянном токе, Вт	1328
Номинальное постоянное напряжение возбуждения, В	Макс. 325/373
Номинальный постоянный ток возбуждения, А	25
Рабочая температура окружающей среды, °С	0-40 при I <sub>n</sub> принудительное охлаждение
Температура хранения и транспортировки, °С	-25...+70
Высота установки над уровнем моря, м	1000 м при номинальном постоянном токе
Стабильность управления	<p><math>\Delta n=0.006\%</math> от номинальной скорости двигателя (при использовании импульсного датчика и цифрового задания)</p> <p><math>\Delta n=0.1\%</math> от номинальной скорости двигателя (при использовании тахогенератора или аналогового задания)</p>
Вес, кг	30

## 2.6.1 Предохранители

Предохранители для цепи якоря и возбуждения выбираются исходя из номинальных токов.

Для цепи якоря:

Таблица 9 – Предохранители для цепи якоря

Преобразователь Номер заказа	Номин. Ток/напряжение А/В	Предохранитель
		Номин. Ток/напряжение А/В
6RA7081-6DV62	400/400	630/1000

Для цепи возбуждения:

Таблица 10 – Предохранители для цепи возбуждения

Номинальный постоянный ток преобразователя А	Максимальный допустимый ток возбуждения А	Номинальный ток предохранителя А
400	25	25

## 2.6.2 Силовое подключение преобразователя

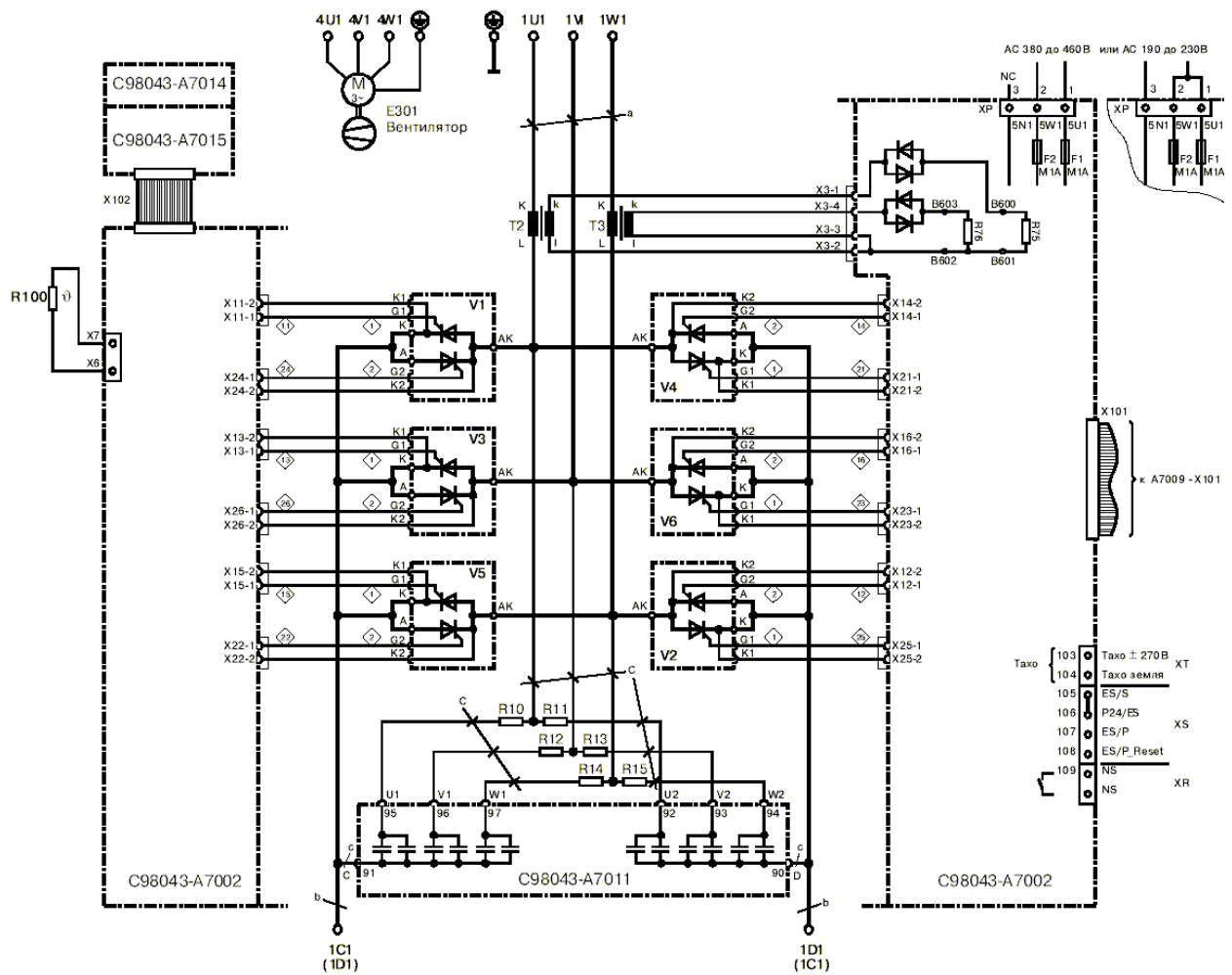


Рисунок 9 - Силовое подключение преобразователя

Рисунок 9 взят из технической литературы на преобразователь и отображение его элементов может не соответствовать ГОСТУ.

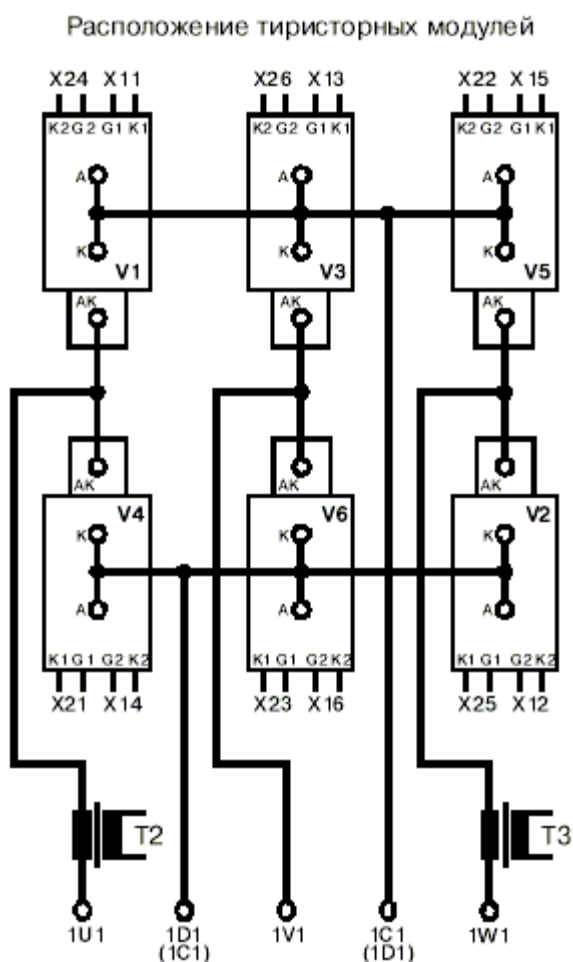


Рис 10 - Расположение тиристорных модулей

Преобразователи серии 6RA70 SIMOREGDCMASTER являются полностью цифровыми компактными модулями с трехфазным питанием, предназначенными для питания якоря и обмотки возбуждения двигателей постоянного тока с регулируемой скоростью и с номинальным током якоря в диапазоне от 15А до 2000А. Компактные преобразователи могут включаться параллельно для обеспечения тока до 10000А. Максимальное значение тока для питания цепи возбуждения равно 40А (уровни токов зависят от номинального тока якоря). Преобразователи серии 6RA70 SIMOREGDCMASTER характеризуются своей компактной, малогабаритной конструкцией. Их компактное исполнение гарантирует легкое техническое обслуживание и ремонт, поскольку

обеспечивается быстрый доступ к каждому компоненту. Модуль электроники состоит из основной платы и из дополнительных плат.

Все блоки SIMOREGDCMASTER снабжены простой панелью управления (PMU), закрепленной на дверце преобразователя. Панель состоит из пятиразрядного, индикатора, трех светодиодов индикации состояния и трех клавиш параметрирования. На панели управления так же находится соединитель типа X300 с USS, соответствующим стандарту RS232 или RS485. Панель обеспечивает все необходимое для регулирования и настройки, а так же отображения измеренных значений, необходимых для запуска преобразователя.

Дополнительную панель управления преобразователем OP1S можно расположить либо на дверце преобразователя, либо вне ее, например, на двери шкафа. Для этого она может быть подключена с помощью пятиметрового кабеля. При наличии источника питания, допустимо использование кабеля длиной до 200 м. OP1S подключается к SIMOREG с помощью соединителя X300. Панель OP1S, отображающую измеренные физические параметры, можно использовать в качестве экономичной альтернативы для управления средствами измерения шкафа. Панель OP1S имеет ЖКИ индикатор с количеством символов 4x16, предназначенный для отображения имен параметров в виде простого текста. В качестве языка отображения можно выбрать немецкий, английский, французский, испанский и итальянский, панелью OP1S, можно сохранить наборы параметров для их загрузки в другие устройства.

Параметрирование преобразователя можно так же осуществлять через стандартный РС при использовании соответствующего программного обеспечения. ЭВМ подключается к базовому блоку с помощью последовательного интерфейса. Этот интерфейс используется во время запуска, для сохранения параметров при выключении, а так же для диагностики во время работы. Более того, обновленное программное обеспечение преобразователя можно загрузить через этот интерфейс для хранения во Flash.

Все функции регулирования с замкнутой и разомкнутой ОС, а также функции связи выполняются с помощью двух мощных микропроцессоров. Функции

управления двигателем применены в программе как программные модули, которым можно задавать параметры. Стандартно, основной преобразователь оснащается простой панелью управления оператора (PMU). В качестве опции может быть подключена дружеская панель с простым текстовым дисплеем (OP1S).

Простая панель управления оператора монтируется на дверце преобразователя и состоит из 5-разрядного, 7-сегментного индикатора с тремя светодиодными индикаторами состояния и тремя клавишами параметрирования снизу. Все регулировки, установки и измерения, которые необходимо выполнить для запуска, можно произвести на простой панели управления, которая представлена на рисунке 11.

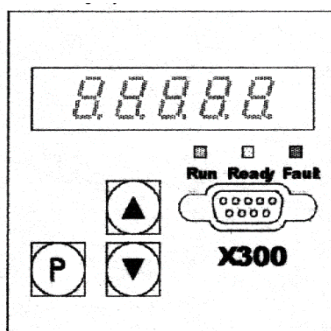


Рисунок 11 – Простая операторская панель управления (PMU).

### 2.6.3 Описание работы электропривода, особенности

Квитирование сигнала об аварии производится нажатием на кнопку “Наладка”. В дальнейшем возможна работа либо с энкодером (все режимы управления), либо без энкодера (режимы “Ручной” и ”Наладка”, при этом будут выполняться все блокировки по положению для выбранного режима – по сигналам от концевого выключателя).

Режим “Автоматический” возможен только при исправности концевого выключателя и энкодера положения.



Режим “Ручной” возможен при работоспособности хотя бы одного устройства позиционирования (концевой выключатель либо энкодер).

Режим “Наладка” возможен без энкодера положения и путевого выключателя.

“Аварийный подъем” по сигналу оператора возможен в любом случае, но при отказе энкодера положения и концевого выключателя останов у горловины конвертера должен осуществлять оператор стоповой кнопкой.

Предусмотрены следующие блокировки движения: нулевая блокировка; аппаратные блокировки; программные блокировки; блокировки выходные (программные).

1. Нулевая блокировка. В случае отключения электрооборудования фурмы происходит отключение механизма и наложение тормозов. При подаче напряжения дальнейшее движение фурмы заблокировано до тех пор, пока джойстик не пройдет через нулевое положение и не будет выбран режим управления (в случае нажатия кнопки “Аварийный подъем” на ГПУ будет выполняться аварийный подъем вне зависимости от положения джойстика).

2. Аппаратные блокировки.

- Ключ-бирка на ГПУ – отключает линейный контактор, накладываются тормоза
- Стоповая кнопка на ГПУ - отключает линейный контактор, накладываются тормоза
- Аварийный выключатель на местном посту управления - отключает линейный контактор, накладываются тормоза

3. Программные блокировки.

- Авария контроллера PLC\_N2 и сети ProfibusDP - отключение линейного контактора, наложение тормозов
- Авария ТП - отключение линейного контактора, наложение тормозов
- Авария периферии (кнопочная панель PP17, абсолютные датчики, релейная схема, AS - интерфейс, сеть ProfibusFMS) – электрическое торможение

механизма, сброс режима управления, отключение линейного контактора, наложение тормозов, выдача сообщения

- Движение фурмы вниз заблокировано, если конвертер находится не в вертикальном положении

- Движение фурмы вниз заблокировано, если платформа не находится в позиции продувки соответствующей фурмы

- Движение фурмы вниз и вверх заблокировано при достижении значений границ рабочего останова по показаниям абсолютного датчика (отм. 0.2 и отм. 15.7 м)

- Движение фурмы вверх выше горловины конвертера (отм. 5.8 м) заблокировано при открытом регулирующем клапане на кислороде

#### 4. Блокировки выходные (программные).

- Заблокировано перемещение платформы, если фурмы не в верхнем положении или опускаются

- Заблокирован поворот конвертера, если фурма ниже отм. 10 м или опускается.

## 2.7 Выбор силового согласующего трансформатора

Выбор специального преобразовательного силового согласующего трансформатора для питания тиристорного преобразователя производится по параметрам преобразователя, приведенным в таблице 4:  $I_{дн}=200\text{А}$ ,  $U_{дн}=230\text{В}$ .

Выбираем трехфазный трансформатор ТСП 63/07–УХЛ4, его паспортные данные приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Паспортные данные трансформатора ТСП 63/07–УХЛ4

Наименование параметра	Единица измерения	Величина	Обозначение
Полная мощность	Ква	58	$S_H$
Мощность короткого замыкания	Вт	1900	$P_{кз}$
Напряжение короткого замыкания	%	5,5	$U_{кз}$
Напряжение сетевой обмотки	В	380	$U_{1л}$
Напряжение вторичной обмотки	В	205	$U_{2л}$
Ток вторичной обмотки	А	164	$I_{2л}$

### Расчетные параметры трансформатора ТСП 63/07–УХЛ4

Расчет ведем для эквивалентного соединения вторичной обмотки трансформатора в звезду.

Тогда

$$I_{2\phi} = I_{2л} = 164A$$

и

$$U_{2\phi} = \frac{U_{2л}}{\sqrt{3}} = \frac{205}{\sqrt{3}} = 118,5B.$$

Результаты расчета параметров сведены в таблицу 6.

Таблица 12 – Расчетные параметры трансформатора ТСП 63/07– УХЛ4

Наименование	Обозначение	Формула	Величина	Единица измерения
Активное сопротивление обмотки на фазу	$R_{трф}$	$R_{трф} = \frac{P_{кз}}{m_2 \cdot I_{2ф}^2}$	0,0235	Ом
Полное сопротивление обмотки на фазу	$Z_{трф}$	$Z_{трф} = \frac{U_{кз} \% \cdot U_{2ф}}{100 \cdot I_{2ф}}$	0,03974	Ом
Реактивное сопротивление обмотки на фазу	$X_{трф}$	$X_{трф} = \sqrt{Z_{трф}^2 - R_{трф}^2}$	0,032	Ом
Индуктивность обмотки на фазу	$L_{трф}$	$L_{трф} = \frac{x_{трф}}{\omega_c}$ , где $\omega_c = 314$ рад/с	0,1019	мГн

## 2.8 Определение величины индуктивности сглаживающего дросселя

При питании от ТП по двигателю помимо постоянной составляющей тока протекают переменные составляющие, величина которых, зависит от угла управления и параметров цепи нагрузки. Это приводит к повышению нагрева двигателя, ухудшению условий коммутации и снижению жесткости механических характеристик в связи с расширением зоны прерывистых токов.

Включение сглаживающего дросселя в якорную цепь позволяет ограничить величину переменных составляющих и, тем самым, улучшить использование двигателя его коммутацию и электромеханических характеристик, однако это одновременно вызывает увеличение габаритов и веса привода, его стоимости и ухудшение динамических свойств.

В РЭП индуктивность сглаживающего дросселя выбирается из условия уменьшения зоны прерывистого тока при раздельном управлении преобразователем до уровня минимального значения тока нагрузки (или тока холостого хода двигателя) и ограничения пульсаций тока двигателя до допустимых значений.

### **Определение величины индуктивности сглаживающего дросселя из условия ограничения зоны прерывистых токов**

Наибольшая ширина зоны прерывистых токов при раздельном управлении имеет место при угле управления  $\alpha=90^\circ$ , тогда минимальное значение индуктивности цепи выпрямленного тока (тока нагрузки) для получения гранично–непрерывного режима определяется выражением:

$$L_{кн1} = \frac{1}{\omega_c} \cdot \kappa_{зр.макс} \cdot \frac{E_{d0}}{I_{dзр}} = \frac{1}{314} \cdot 0,093 \cdot \frac{276,75}{14,5} = 5,6 \text{ мГн};$$

где

Средневыпрямленная ЭДС преобразователя при угле управления  $\alpha=0^\circ$

$$E_{d0} = \kappa_{исл} \cdot U_{2л} = 1,351 \cdot 205 = 276,75 \text{ В}$$

$$\kappa_{зр.макс} = 1 - \frac{\pi}{m_s} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{m_s} = 1 - \frac{3,14}{6} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{6} = 0,093;$$

$$I_{dзр} = 0,125 \cdot I_n = 14,5 \text{ А} - \text{значение начально – непрерывного тока.}$$

Тогда индуктивность сглаживающего дросселя

$$L_{др1} = L_{кн1} - 2L_{тр.ф} - L_{ос} = 5,6 - 2 \cdot 0,1019 - 4,18 = 1,216 \text{ мГн,}$$

### **Определение величины сглаживающего дросселя из условия ограничения пульсаций выпрямленного тока**

Пульсации выпрямленного напряжения приводят к пульсациям выпрямленного тока, которые ухудшают коммутацию двигателя и увеличивают его нагрев. Величина индуктивности цепи выпрямленного из условия, ограничения, пульсации тока на уровне 10%.

$$L_{кн2} = \frac{E_{d(1),макс} \cdot 100}{m_g \cdot \omega_c \cdot p(1)\% \cdot I_{дн}} = \frac{67,12 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 10 \cdot 116} = 3,07 Гн,$$

где  $E_{d(1),макс} = \frac{U_{2фн} \cdot m_g \cdot \sqrt{2}}{\kappa_{и2} \cdot (m_g^2 - 1)} = \frac{118,5 \cdot 6 \cdot \sqrt{2}}{0,428 \cdot (36 - 1)} = 67,12 В$  – действующее значение первой

гармоники пульсирующего напряжения;

$P(1)\% = 10\%$  – допустимое действующее значение гармоники выпрямленного тока в процентах.

Тогда индуктивность сглаживающего дросселя:

$$L_{др2} = L_{кн2} - 2 \cdot L_{тр.ф} - L_{об} = 3,07 - 2 \cdot 0,1019 - 4,18 = -1,3538 < 0$$

По найденным значениям индуктивности  $L_{др}$  и номинальному току двигателя  $I_n = 116 А$ , выбираем дроссель ФРОС 65/0,5–У3.

Параметры дросселя приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры сглаживающего дросселя ФРОС 65/0,5–У3

Наименование	Обозначение	Величина	Единица измерения
Номинальный ток	$I_{др}$	250	А
Индуктивность	$L_{др}$	1,5	мГн
Сопротивление	$R_{др}$	0,0068	Ом

## 2.9 Расчет параметров тиристорного преобразователя

Сопротивление силовой цепи преобразователя

$$R_{ТП} = 2R_{ТРФ} + R_{\kappa} = 2 \cdot 0,0235 + 0,0306 = 0,0776 \text{ Ом};$$

где  $R_{\kappa} = \frac{m_g \cdot x_{трф}}{\pi \cdot \kappa_{сх}} = \frac{6 \cdot 0,032}{3,14 \cdot 2} = 0,0306 \text{ Ом}$  – сопротивление, вносимое в цепь за счет

коммутации вентиляей.

Индуктивность силовой цепи преобразователя

$$L_{ТП} = 2 \cdot L_{ТРФ} = 2 \cdot 0,1019 = 0,2038 \text{ мГн}.$$

Коэффициент усиления тиристорного преобразователя

$$K_{ТП.МАКС} = \frac{E_{d0} \cdot \kappa_{y0} \cdot \pi}{2U_{ОП.МАКС}} = \frac{276,75 \cdot 0,475 \cdot 3,14}{10} = 41,3.$$

где  $\kappa_{y0} = 0,475$  – коэффициент передачи входного устройства СИФУ преобразователя  
 $2U_{ОП.МАКС} = 10В$  - размах линейного опорного напряжения СИФУ.

Преобразователь, как динамическое звено, представим инерционным звеном с передаточной функцией

$$\omega_{ТП}(p) = \frac{\kappa_{ТП}}{T_{ТП} \cdot p + 1},$$

где

$$T_{ТП} = \frac{0,5}{m_B \cdot f_c} = \frac{0,5}{6 \cdot 50} = 0,00167 \text{ – постоянная времени преобразователя, учитывающая}$$

дискретный характер управления.

## 2.10 Расчет параметров якорной цепи

Сопротивление якорной цепи

$$R_{яц} = R_{ц.дв} + R_{ТП} = 0,1718 + 0,0776 = 0,2494 \text{ Ом,}$$

где

$$R_{ц.дв} = R_{ГОР} + 0,1R_{ГОР} + R_{ДР} = 0,15 + 0,1 \cdot 0,15 + 0,0068 = 0,1718 \text{ Ом,}$$

– сопротивление цепи двигателя.

Индуктивность якорной цепи

$$L_{яц} = L_{ц.дв} + L_{ТП} + L_{ДР} = 4,18 + 0,2038 + 1,5 = 5,884 \text{ мГн}$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{0,005884}{0,2494} = 0,024 \text{ с.}$$

Электромагнитная постоянная времени двигателя

$$T_{ДВ} = \frac{L_{ДВ}}{R_{ДВ.ГОР}} = \frac{4,18}{0,15} = 0,028 \text{ с.}$$

Электромеханическая постоянная времени привода

$$T_m = \frac{R_{яц} \cdot J_{Э.МИН}}{c^2} = \frac{0,2494 \cdot 699}{2,97^2} = 0,2 \text{ с.}$$

Отношение:  $\frac{T_m}{T_{яц}} = \frac{0,2}{0,024} = 8,3$ , говорит о том, влияние ЭДС двигателя на

электромагнитные процессы будет мало.

## 2.11 Расчет параметров цепи возбуждения двигателя

Обмотка возбуждения двигателя питание получает от отдельного тиристорного преобразователя, предназначенного для питания обмотки возбуждения и стабилизации тока возбуждения.

Упрощенная схема силовой цепи включения обмотки возбуждения двигателя приведена на рисунке12.

Тиристорный преобразователь возбуждения двигателя питается непосредственно от трехфазной сети 380В через токоограничивающий реактор РТСТ – 20.5 – 2.02У3.

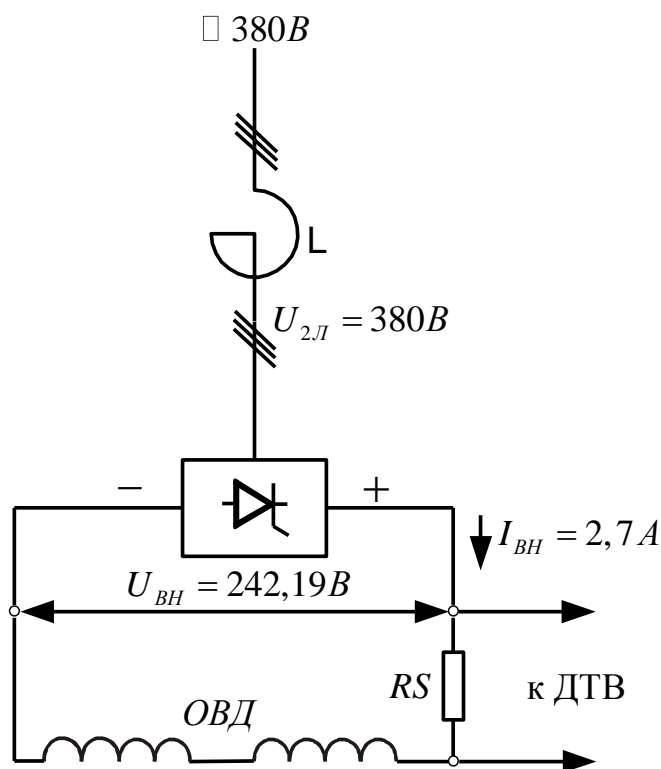


Рисунок12 – схема выпрямления трехфазная мостовая



## Параметры цепи обмотки возбуждения двигателя

При расчете параметрами тиристорного преобразователя пренебрегаем в виду их малости:  $R_{ТПВ} = 0$ ;  $L_{ТПВ} = 0$ .

Сопротивление цепи обмотки возбуждения

$$R_{цв} = R_{в.зоп} = 89,7 \text{ Ом}.$$

Усредненное значение индуктивности основного потока возбуждения

$$L_{B.CP} = 2 \cdot \rho \cdot W_B \cdot \frac{\Phi_H}{I_{B.H}} = 2 \cdot 2 \cdot 1400 \cdot \frac{0,025}{2,7} = 51,85 \text{ Гн},$$

индуктивность потока рассеивания

$$L_s = 2 \cdot \rho \cdot W_B \cdot \frac{0,18\Phi_H}{I_{B.H}} = 2 \cdot 2 \cdot 1400 \cdot \frac{0,025 \cdot 0,18}{2,7} = 9,33 \text{ Гн}.$$

Постоянная времени основного потока

$$T_e = \frac{L_e}{R_{цв}} = \frac{51,85}{89,7} = 0,578 \text{ с}.$$

Постоянная времени потока рассеяния

$$T_s = \frac{L_s}{R_{цв}} = \frac{9,33}{89,7} = 0,103 \text{ с}.$$

Постоянная времени вихревых токов

$$T_k = 0,1 \cdot T_e = 0,1 \cdot 0,578 = 0,0578 \text{ с}.$$

Коэффициент усиления преобразователя цепи возбуждения

$$K_{ТПВ} = K_{y0} \cdot \frac{\pi \cdot E_{d0}}{2 \cdot U_{оп.макс}} = 0,475 \cdot \frac{\pi \cdot 513}{10} = 76,5,$$

$$T_{ТПВ} = \frac{0,5}{m_B \cdot f_C} = \frac{0,5}{6 \cdot 50} = 0,00167 \text{ с}$$

– постоянная времени тиристорного преобразователя возбуждения.

$K_{y0} = 0,475$  – коэффициент передачи ячейки согласования СИФУ;

$2 \cdot U_{оп.макс} = 10 \text{ В}$  – размах линейного опорного напряжения.

Значение минимального угла управления преобразователя возбуждения

$$\alpha_{мин} \leq \arccos \frac{I_e \cdot R_{цв}}{K_c \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{2,7 \cdot 89,7}{0,85 \cdot 513} = 56,2^\circ,$$

где  $K_c = 0,85$  – коэффициент, учитывающий снижение напряжения;

$$E_{d0} = K_{U_{2Л}} \cdot U_{2Л} = 1,35 \cdot 380 = 513 В - \text{ЭДС холостого хода преобразователя (при } \alpha = 0 \text{)}.$$

Принимаем  $\alpha_{\text{МИН}} = 30^\circ$

## 2.12 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик электропривода

Заданная область существования электромеханических характеристик электропривода, ограничена значениями  $\pm \omega_{\text{ЭП.МАКС}}$  и зависимостью  $\pm I_{\text{ЭП.МАКС}}$  и должна полностью располагаться внутри области существования характеристик системы преобразователь – двигатель.

Последняя в свою очередь ограничена предельными характеристиками, соответствующими работе проводящей группы вентиля в режиме предельного инвертирования, а в выпрямительном режиме – при минимальном угле управления [3]. Порядок проверки, согласно методике приведенной в [3] сводится к следующему :

Строим заданную область существования электромеханических характеристик ограниченную значениями

$$\omega_{\text{ЭП.МАКС}} = 66,43 \text{ рад/с}; \quad I_{\text{ЭП.МАКС}} = 348 \text{ А}$$

Определим значение минимального угла управления преобразователя в выпрямительном режиме при номинальном токе двигателя:

$$\alpha_{\text{МИН}} = \arccos \frac{c \cdot \omega_{\text{ЭП.МАКС}} + I_H \cdot R_{ЯЦ}}{\kappa_{Uc} \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{2,97 \cdot 66,43 + 116 \cdot 0,2494}{0,85 \cdot 276,75} = \arccos 0,968 = 15,3^\circ,$$

где  $\kappa_{Uc} = 0,85$  – коэффициент, учитывающий снижение напряжения питающей сети.

Принимаем значение  $\alpha_{\text{МИН}} = 15^\circ$ .

При выбранном значении  $\alpha_{\min}$  рассчитываем и строим электромеханическую характеристику разомкнутой системы электропривода при работе преобразователя в выпрямительном режиме (характеристика 1 на рисунке 6) по выражению

$$\omega_{\text{МАКС}}(I) = \frac{1}{c} \cdot (\kappa_{Uc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha - R_{\text{ЯЦ}} \cdot I_{\text{Я}})$$

Результаты расчета сводим в таблице 8.

Рассчитываем и строим предельную характеристику безопасного инвертирования при работе преобразователя в инвертном режиме (характеристика 2 на рисунке 6) по выражению

$$\omega_{\text{МАКС}}(I) = \frac{1}{c} \cdot (\kappa_{Uc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \delta + (R_{\text{ТП}} - R_{\text{ЯЦ}}) \cdot I_{\text{Я}}),$$

где  $I_{\text{Я}} < 0$ ;

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = 1,8 + 3 = 4,8^\circ$$

$$\delta_1 = \frac{180 \cdot \omega_c \cdot t_B}{\pi} = \frac{180 \cdot 314 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}{3,14} = 1,8^\circ \quad - \quad \text{угол, соответствующий времени}$$

восстановления запирающих свойств тиристора;

$t_B = 100 \cdot 10^{-6} \text{с}$  – время восстановления запирающих свойств тиристора;

$\delta_2 = 3^\circ$  – предельно допустимое значение асимметрии импульсов управления.

Принимаем  $\delta = 5^\circ$

Расчеты сводим в таблицу 8.

Определим значение максимального угла управления в режиме инвертирования

$$\alpha_{\text{макс}} = \arccos \left[ \frac{2 \cdot R_{\text{mn}} \cdot |I_{\text{дон}}|}{\kappa_{uc} \cdot E_{d0}} - \cos \delta \right] = \arccos \left[ \frac{2 \cdot 0,0776 \cdot 348}{0,85 \cdot 276,75} - 0,9962 \right] = \arccos -0,766606 = 139,9^\circ.$$

Принимаем  $\alpha_{\text{макс}} = 140^\circ$

Для найденного значения угла  $\alpha_{\text{макс}}$ , рассчитаем и построим электромеханическую характеристику электропривода при работе в инверторном режиме (характеристика 3 на рисунке 6) по выражению

$$\omega_{\text{макс}}(I) = \frac{1}{c} \cdot (-\kappa_{uc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha - R_{\text{ЯЦ}} \cdot I_{\text{Я}}),$$

где  $I_{\text{Я}} < 0$

Расчеты сводим в таблицу 13.

Таблица 13 – Расчетные данные электромеханических характеристик

Характеристики	I		II		III	
$I_{дв}, A$	0	348	0	-348	0	-348
$\omega_{дв}, \frac{рад}{с}$ , при $\kappa_{UC} = 0,85$	76,17	46,95	78,69	89,73	60,5	89,73
$\omega_{дв}, \frac{рад}{с}$ , при $\kappa_{UC} = 1$	89,6	60,39	92,58	103,6	71,18	100,4

Максимальное значение ЭДС тиристорного преобразователя при угле  $\alpha_{МИН} = 15^{\circ}$

$$E_{ТП.МАКС} = E_{d0} \cdot \cos \alpha_{МИН} = 276,75 \cdot \cos 15^{\circ} = 260,06 В.$$

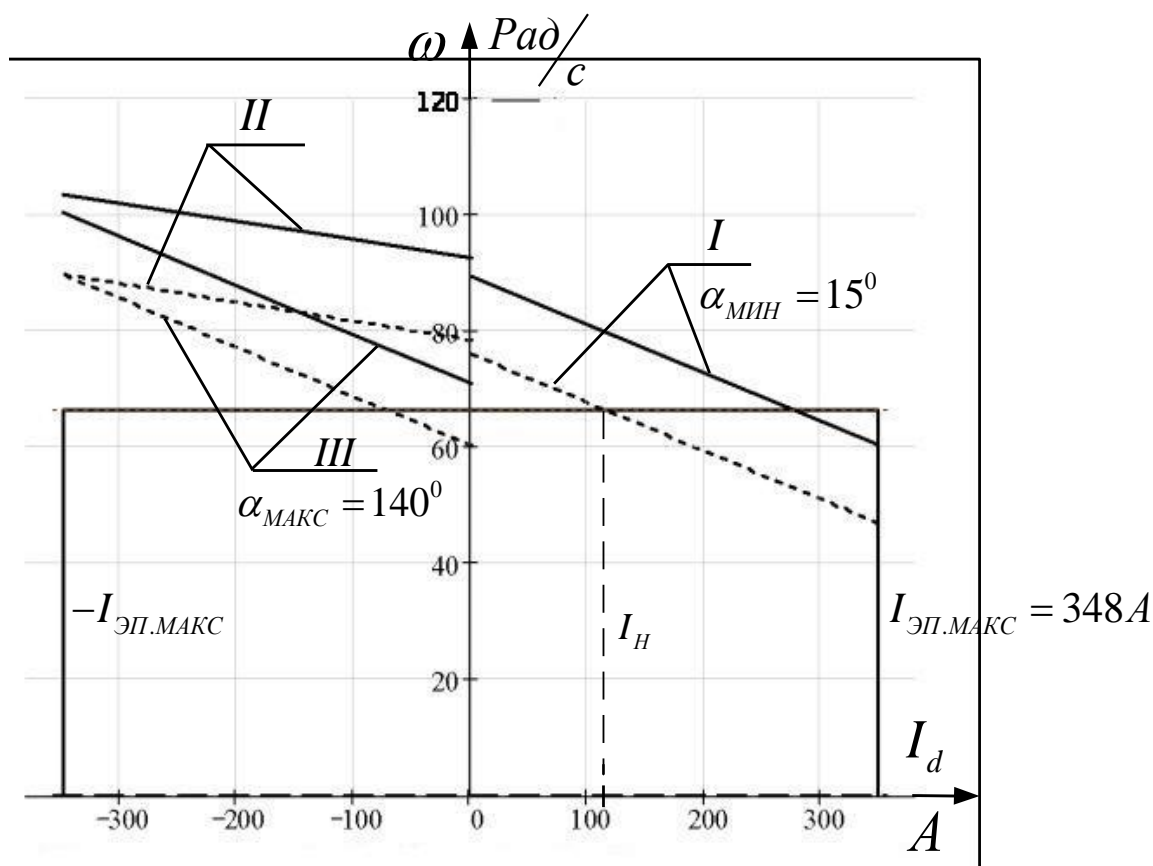


Рисунок 13 – Заданная область работы и электромеханические характеристики разомкнутой системы ТП – Д

## 2.13 Расчет электромеханических характеристик системы УВ – Д

Скорость вращения вала электродвигателя:

$$\omega = \frac{E_d - I_d \cdot R_{яц} - \Delta U_{\epsilon}}{c},$$

где:  $E_d = E_{d0} \cdot \cos(\alpha)$  – среднее значение выпрямленной ЭДС в режиме непрерывного тока;

$\alpha$  – угол включения тиристора, отсчитываемый от точки естественной коммутации;

$\Delta U_{\epsilon}$  – прямое падение напряжение на тиристоре.

Для получения соответствующей скорости вращения вала двигателя произведем ряд преобразований и получим выражение для нахождения угла управления в функции скорости:

$$\alpha(\omega) = \arccos\left(\frac{\omega \cdot c + I_d \cdot R_{яц} + \Delta U_{\epsilon}}{E_{d0}}\right).$$

Для построения электромеханических характеристик в зоне непрерывного тока воспользуемся итоговым выражением:

$$\omega(I) = \frac{E_{d0} \cdot \cos(\alpha(\omega)) - I \cdot R_{яц} - \Delta U_{\epsilon}}{c}.$$

Характеристики имеют линейный характер. Однако в действительности в области малых нагрузок появляется зона прерывистых токов, она тем больше, чем больше угол  $\alpha$ . Появление зоны прерывистого токов обусловлено тем, что в определенные промежутки времени мгновенное значение выпрямленного напряжения преобразователя становится меньше встречно действующей ЭДС двигателя, и, как следует из уравнения равновесия ЭДС становится отрицательной. Ток должен изменить направление на противоположное. Но поскольку вентили обладают односторонней проводимостью, ток становится равным нулю. При больших нагрузках несмотря на то, что в определенные промежутки времени мгновенное значение напряжения становится меньше ЭДС двигателя, ток не прерывается, является непрерывным. Объясняется это тем, что при больших нагрузках запас электромагнитной энергии в цепи выпрямленного тока значительный. Переходу от режима непрерывного тока к прерывистому соответствует режим начально-

непрерывного тока, являющегося граничным. Величина граничного тока зависит от угла  $\alpha$  и параметров схемы.

Проведем расчет и построение характеристик в зоне прерывистых токов. Для этого найдем угол открывания, измеренный от начала положительной полуволны синусоиды фазной ЭДС:

$$\theta_0(\alpha) = \frac{180}{\pi} \cdot \left( \alpha(\omega) + \left( \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m_g} \right) \right).$$

Значение ЭДС в относительных единицах в зависимости от угла управления  $\alpha$  в зоне прерывистых токов:

$$e(\alpha) = \cos\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \frac{\sin\left(\left(\theta_0(\alpha) - \theta\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \sin\left(\left(\theta_0(\alpha) + \lambda - \theta\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot e^{\lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}{1 - e^{\lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}$$

где угол  $\lambda = \frac{2 \cdot 180}{m_g} = 60$  град – угол проводимости тиристорov;

угол  $\theta$  – угол отставания тока в якоре от напряжения. Он обусловлен присутствием в цепи якоря индуктивности  $L_{яц}$ . Угол  $\theta$  найдем по выражению:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\omega_0 \cdot L_{яц}}{R_{яц}}\right) \cdot \frac{180}{\pi}.$$

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

$$i(\alpha) = \frac{m_g}{2 \cdot \pi} \left( \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \cos\left((\lambda + \theta_0(\alpha)) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot e_{cp}(\alpha) \right),$$

Характеристики режима прерывистого тока можно построить в абсолютных единицах  $\omega = f(I)$  по следующим выражениям:

$$\omega(\alpha) = e(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right) - \Delta U_g}{c},$$

$$I(\alpha) = i(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right)}{R_{яц}}$$

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристоров  $\alpha$  (в диапазоне  $0 \dots 180$ ) и угол проводимости  $\lambda$  ( $0 \dots 60$ ), то получим семейство электромеханических характеристик в зоне прерывистых токов. Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис.14:

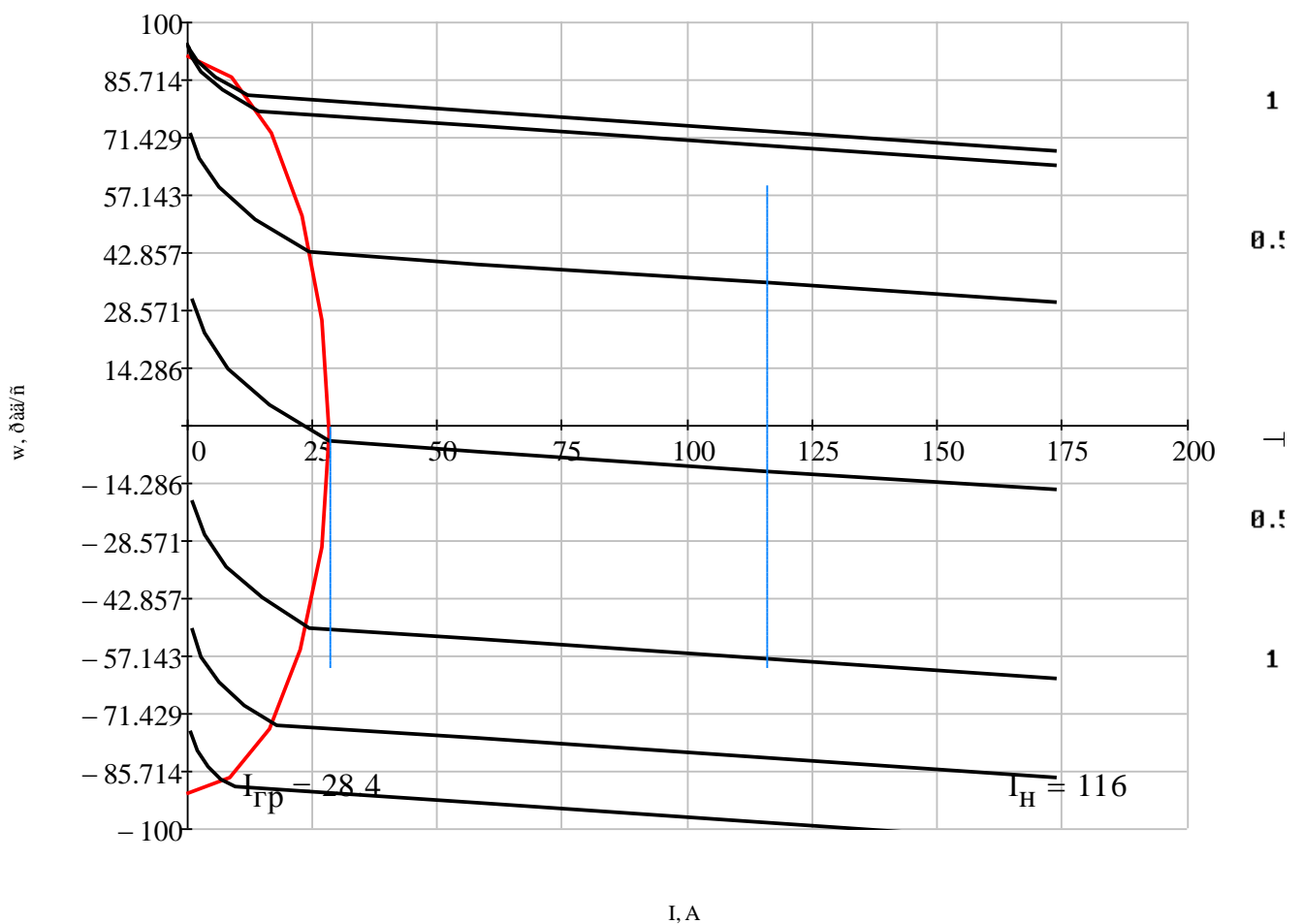


Рисунок14 – Электромеханические характеристики системы УВ-Д с отдельным управлением

Для получения граничной характеристики можно воспользоваться выражениями для скорости и тока в зоне прерывистого тока, задавая угол  $\lambda = 60$  град и меняя угол управления  $\alpha$ .

Как видно из графиков рисунка 13 отношение  $\frac{I_{dгрmax}}{I_{дн}} = \frac{28,4}{274} = 0,104$ , что является приемлемым.

## 2.14 Структурная схема силового канала РЭП

Структурная схема силового канала электропривода механизма подъема фурмы приведена на рисунке 15. Параметры элементов схемы приведены в таблице 9.

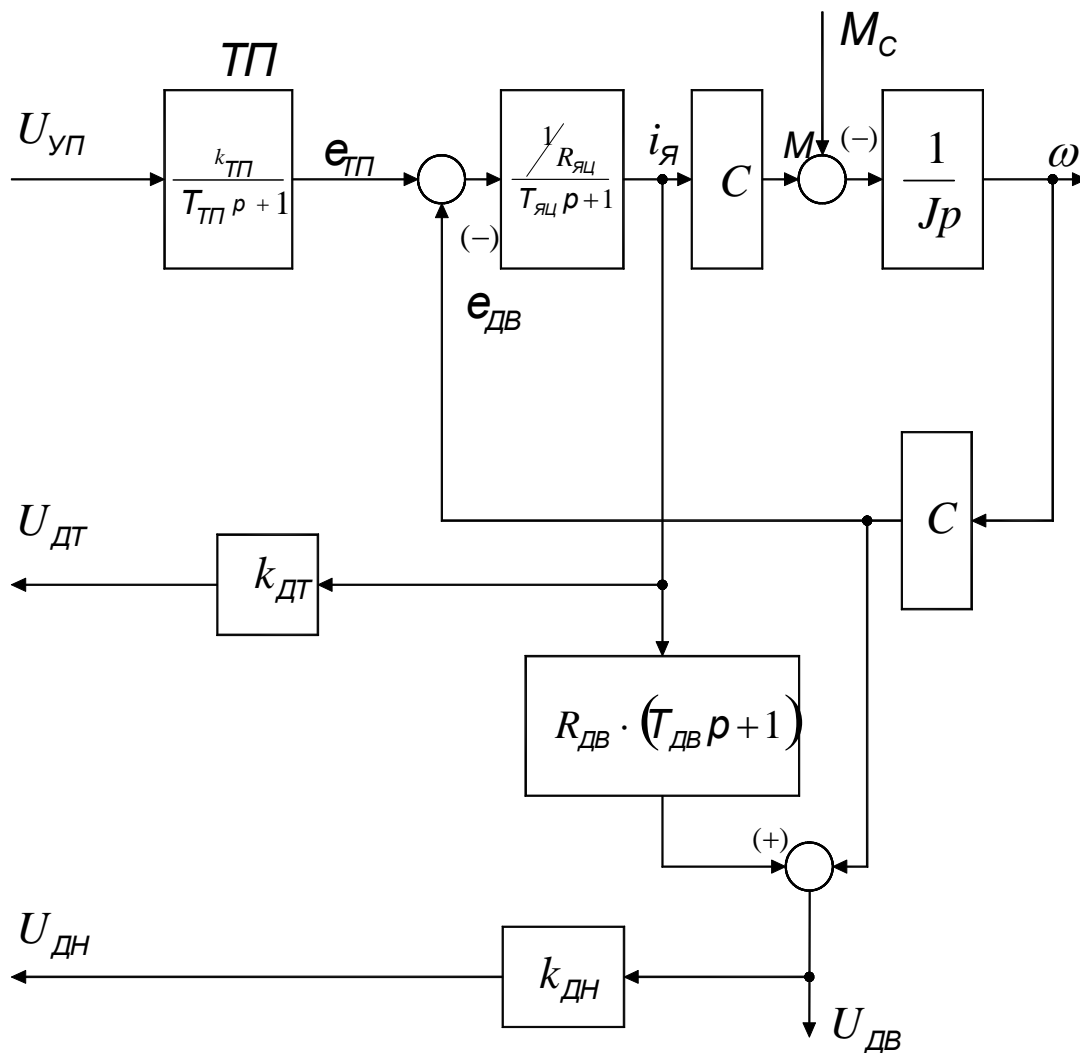


Рисунок 15 – Структурная схема силового канала электропривода



Коэффициент передачи датчика тока

$$K_{ДТ} = \frac{U_{ДТ.МАКС}}{I_{МАКС}} = \frac{10}{400} = 0,025 \text{ В/А},$$

где  $U_{ДТ.МАКС}=10\text{В}$  и  $I_{МАКС}=400\text{А}$  – максимальные значения выходного напряжения и входного тока при настройке датчика.

Коэффициент передачи датчика напряжения

$$K_{ДН} = \frac{U_{ДН.МАКС}}{U_{МАКС}} = \frac{10}{250} = 0,04$$

Где  $U_{ДН.МАКС}=10\text{В}$  и  $U_{МАКС}=250\text{В}$  – максимальные значения, принятые при настройке датчика.

Таблица 14 – Параметры элементов силового канала электропривода

$K_{ТП}$	$R_{ЯЦ}$ Ом	$C$	$J_{Э}$ кг· м <sup>2</sup>	$T_{ТП}$ с	$T_{ЯЦ}$ с	$K_{ДТ}$ В/А	$K_{ДН}$	$R_{ДВ}$ Ом	$T_{ДВ}$ с	$L_{ЯЦ}$ мГн	$M_C$ Нм
41,3	0,2376	2,97	6,9	0,00167	0,024	0,025	0,04	0,15	0,028	5,88	228,2

## 2.15 Структурная схема САУ РЭП

САУ РЭП механизма подъема фурмы представляет собой двухконтурную систему подчиненного регулирования с ПИ – регулятором тока и П – регулятором ЭДС. Структурная схема линеаризованной системы представлена на рисунке 16, где приняты следующие обозначения:

Ф – входной фильтр;

РЭ – регулятор ЭДС;

РТ – регулятор тока;

ДЭ – датчик ЭДС;

$\frac{K_{ТП}}{T_{ТП} \cdot p + 1}$  – передаточная функция ТП;

$K_{от1}$ ,  $K_{от2}$ ,  $K_{оэ}$  – коэффициенты цепей обратных связей.

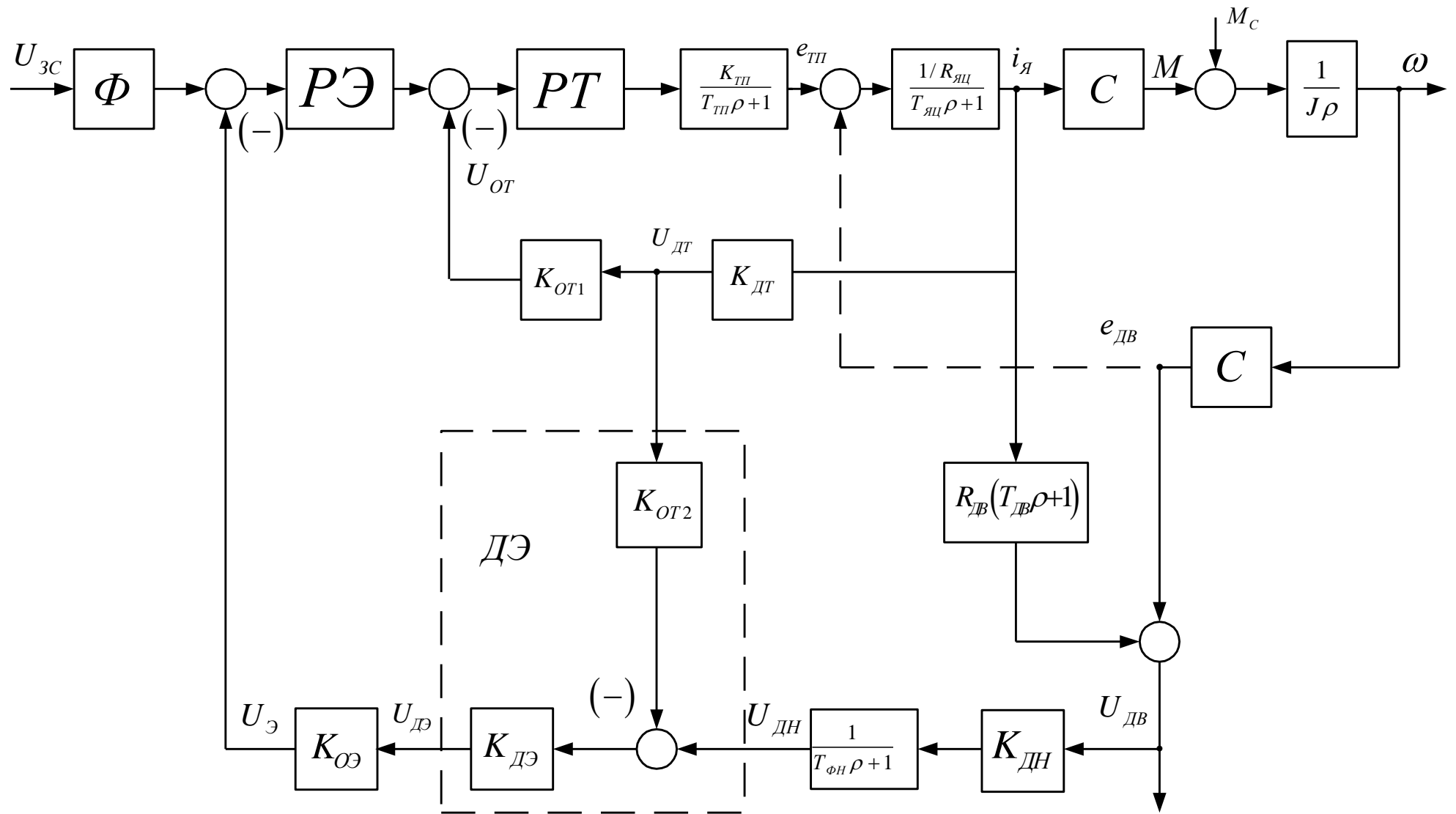


Рисунок 16 – Структурная схема линейризованной САУ РЭП

## 2.16 Настройка контуров САУ электропривода

Методика синтеза многоконтурных систем автоматического управления регулируемым электроприводом хорошо разработана для линейных систем. Синтез проводится для типовых структур подчиненного регулирования. При синтезе пренебрегаем влиянием обратной связи по ЭДС двигателя (показано пунктиром на рисунке 17)

Приводим систему к типовой структуре, двухконтурной схемы подчиненного регулирования с П–РЭ и ПИ–РТ, с внешним контуром скорости и внутренним контуром тока.

### 2.16.1 Оптимизация контура тока

Внутренний контур системы регулирования тока якоря включает в себя регулятор тока и объект регулирования, в который входят:

- тиристорный преобразователь,
- якорная цепь двигателя,
- датчик тока.

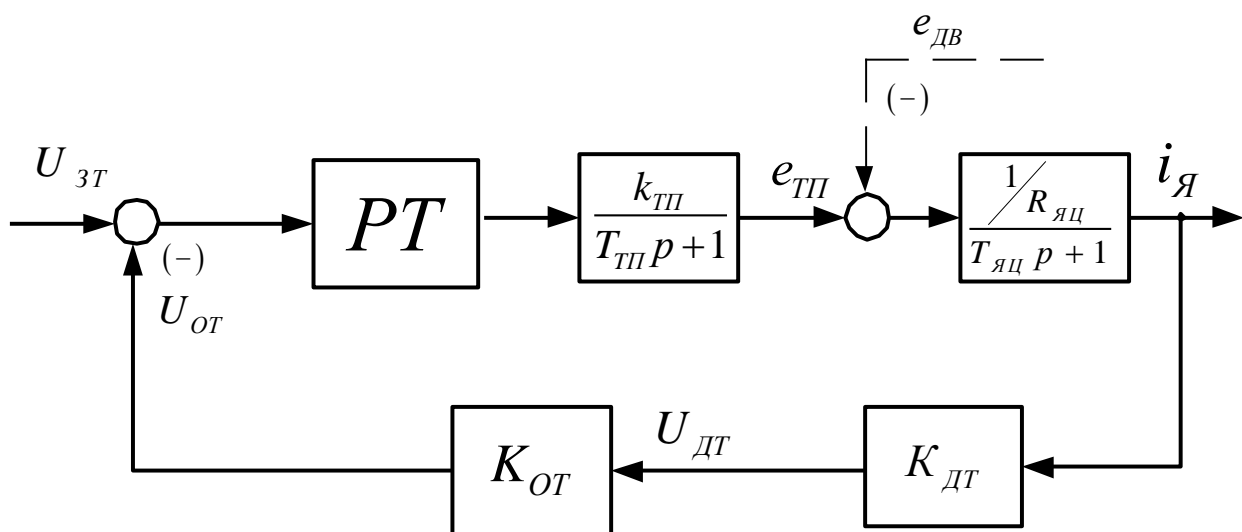


Рисунок 17 – Структурная схема контура регулирования тока

Контур тока настраиваем на модульный оптимум (M0)

Малая постоянная времени в контуре тока

$$T_{\text{ит}}=T_{\text{тп}}= 0,00167\text{с.}$$

Принимаем ПИ–регулятор с передаточной функцией

$$W(p)_{pm} = \kappa_{pm} \cdot \frac{T_{pm} \cdot p + 1}{T_{pm} \cdot p}.$$

Требуемое значение коэффициента обратной связи по току двигателя определяется по выражению

$$\kappa_T = \kappa_{дт} \cdot \kappa_{от} = \frac{U_{зт.макс}}{I_{я.макс}} = \frac{10}{348} = 0,0287 \text{ В/А},$$

где  $\kappa_{дт} = 0,025$  – коэффициент передачи датчика тока,

$$\kappa_{от1} = \frac{\kappa_T}{\kappa_{дт}} = \frac{0,0287}{0,025} = 1,148 \text{ – коэффициент входной цепи обратной связи регулятора}$$

тока.

Постоянная времени регулятора тока

$$T_{рт} = T_{яц} = 0,024 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора тока

$$\kappa_{рт} = \frac{T_{яц} \cdot R_{яц}}{\kappa_{пп} \cdot \kappa_T \cdot \alpha \cdot T_{\muт}} = \frac{0,024 \cdot 0,2494}{41,3 \cdot 0,0287 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 1,512,$$

где  $\alpha_T = 2$  – коэффициент оптимизации по МО

Передаточная функция замкнутого оптимизированного контура тока

$$W(p)_{т.зам} = \frac{1/\kappa_T}{\alpha_T \cdot T_{\muт} \cdot p \cdot (T_{\muт} \cdot p + 1) + 1} = \frac{1/\kappa_T}{\alpha_T \cdot T_{\muт}^2 p^2 + \alpha_T \cdot T_{\muт} p + 1}.$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура тока:

– установившаяся статическая ошибка

$$\Delta I_{я.уст} = 0;$$

–полоса пропускания по модулю и фазе

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{0,71}{T_{\mu T}} = \frac{0,71}{0,00167} = 425,15 \text{ рад/с}$$

– показатели отработки ступенчатого входного воздействия:

$\sigma = 4,3\%$  – перерегулирование,

$t_{PV1}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu T} = 4,1 \cdot 0,00167 = 0,006847$  – время первого согласования, с,

$t_{PV2}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu T} = 4,1 \cdot 0,00167 = 0,006847$  – время переходного процесса, с,

По выражению передаточной функции замкнутого контура скорости

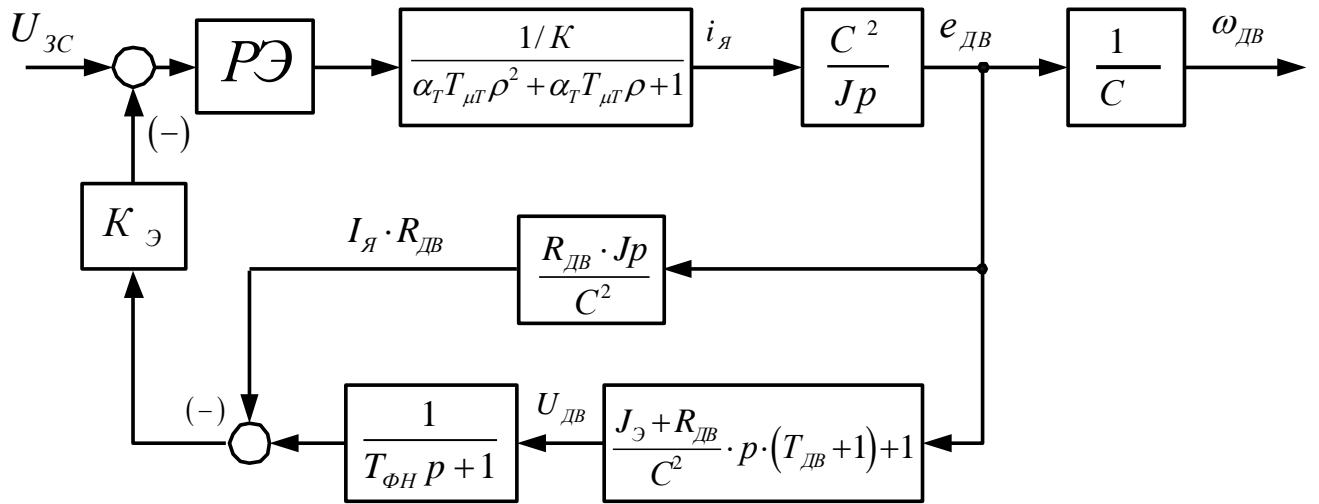
$$W_T(\rho)_{\text{ЗАМ}} = \frac{34,84}{0,0000055778\rho^2 + 0,00334\rho + 1}$$

## 2.16.2 Контур ЭДС

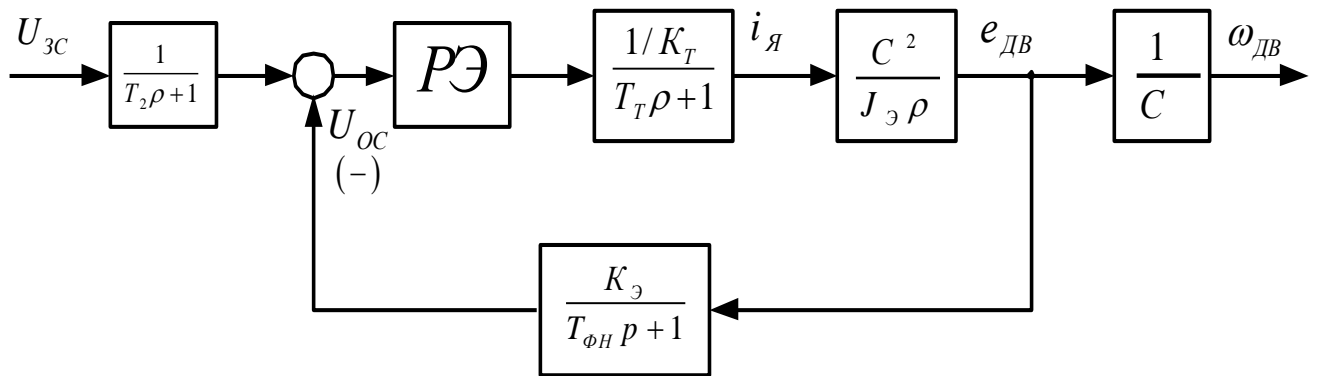
При отсутствии высоких требований к точности, поддержания скорости для электроприводов без регулирования потока возбуждения применяется обратная связь по ЭДС. Измерение ЭДС производится путем суммирования сигнала, пропорционального напряжению двигателя, с сигналом токовой компенсации, пропорциональным падению напряжения на активном сопротивлении якоря двигателя. Структурная схема, контура ЭДС приведена на рисунке 18а. Если в структурной схеме рисунок 18(а) замкнутый контур тока описать усеченный передаточной функцией и выполнить условие

$$k_{OT} = \frac{R_{ДВ} \cdot k_{ДН}}{k_{ДТ}} = \frac{0,15 \cdot 0,04}{0,025} = 0,24,$$

то она преобразуется к виду, показанному на рисунке 16(б), где должно быть принято  $T_{\Phi H} = T_{ДВ}$ . Наличие апериодического звена в цепи обратной связи вызывает необходимость включения на входе системы такого же звена с постоянной времени  $T_2 = T_{ДВ}$  для исключения повышенного перерегулирования тока при отработке управляющего воздействия.



а



б

Рисунок 18 Структурная схема, контура ЭДС: а – исходная б – упрощенная.

Поскольку в контуре ЭДС имеется интегрирующее звено, то его можно оптимизировать по техническому (модульному) оптимуму применив П – регулятор с передаточной функцией

$$W(\rho)_{PЭ} = \kappa_{PЭ},$$

где

$$\kappa_{PЭ} = \frac{J_Э \cdot \kappa_T}{\kappa_Э \cdot c^2 \cdot \alpha_Э \cdot T_{\mu Э}} = \frac{6,951 \cdot 0,0287}{0,049 \cdot 2,97^2 \cdot 2 \cdot 0,03134} = 7,324$$

– коэффициент усиления регулятора ЭДС;

$$K_{\varepsilon} = \frac{U_{3.МАКС}}{E_{ДВ.МАКС}} = \frac{10}{202,05} = 0,049 \text{ – коэффициент обратной связи по ЭДС;}$$

$$T_{\mu\varepsilon} = T_T + T_{\Phi H} = 0,00334 + 0,028 = 0,03134 \text{ – малая постоянная времени контура ЭДС}$$

$$T_T = \alpha_T \cdot T_{\mu T} = \alpha_T \cdot T_{III} = 2 \cdot 0,00167 = 0,00334 \text{ с}$$

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока;

$\alpha_{\varepsilon}=2$  – коэффициент оптимизации по МО контура ЭДС;

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи регулятора ЭДС

$$K_{O\varepsilon} = \frac{K_{\varepsilon}}{K_{ДЭ} \cdot K_{ДН}} = \frac{0,049}{1 \cdot 0,04} = 1,225.$$

где  $K_{ДЭ} = 1$  – коэффициент передачи датчика ЭДС.

Передаточная функция разомкнутого оптимизированного контура ЭДС и передаточная функция замкнутого по управлению контура с фильтром на входе, записанная относительно скорости двигателя имеет вид:

$$W(p)_{PA3} = \frac{1}{\alpha_{\varepsilon} \cdot T_{\mu\varepsilon} \cdot p \cdot (T_T \rho + 1) \cdot (T_{\Phi H} \rho + 1)} \approx \frac{1}{\alpha_{\varepsilon} \cdot T_{\mu\varepsilon} \rho [(T_T + T_{\Phi H}) \rho + 1]};$$

$$W(p)_{\varepsilon.3AM} = \frac{\frac{1}{K_{\varepsilon} \cdot C}}{\alpha_{\varepsilon} \cdot T_{\mu\varepsilon} \cdot p \cdot (T_T \rho + 1) \cdot (T_{\Phi H} \rho + 1)} \approx \frac{\frac{1}{K_{\varepsilon} \cdot C}}{\alpha_{\varepsilon} \cdot T_{\mu\varepsilon} \rho [(T_T + T_{\Phi H}) \rho + 1] + 1};$$

Ожидаемые показатели качества работы контура с фильтром на входе в первом приближении:

$\sigma = 4,3\%$  – перерегулирование,

$t_{PV1}^{(5)} = t_{PV2}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu\varepsilon} = 4,1 \cdot 0,03134 = 0,128 \text{ с}$  – время первого вхождения в 5% зону и

время переходного процесса при обработке ступенчатого входного воздействия;

$\Delta\omega_{\varepsilon.УСТ} = 0$  – статическая ошибка контура по управлению;

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot T_{\mu\text{Э}}} = \frac{0,71}{0,03134} = 22,65 \text{ рад/с} - \text{полоса пропускания по модулю и по фазе.}$$

По выражению передаточной функции замкнутого контура скорости

$$W_{\text{Э}}(\rho)_{\text{ЗАМ}} = \frac{6,87}{0,00000586\rho^3 + 0,00196439\rho^2 + 0,06268\rho + 1}$$

По выражению передаточной функции замкнутого оптимизированного контура тока рассчитаны с применением программы Matlab (см. рисунок 19).

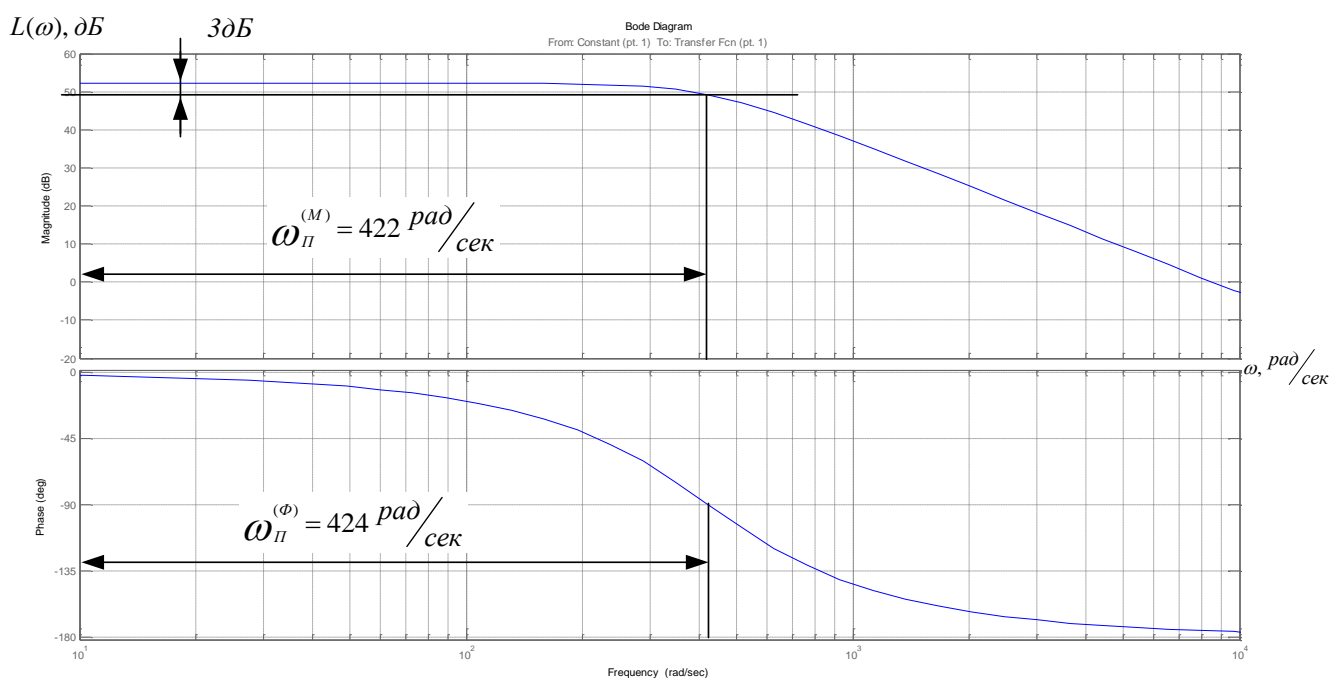


Рисунок 19 – ЛЧХ замкнутого контура ЭДС (выходная координата скорость).



### 2.16.3 Структурная схема контура ЭДС по возмущению

Структурная схема контура ЭДС по возмущению приведена на рисунке 20.

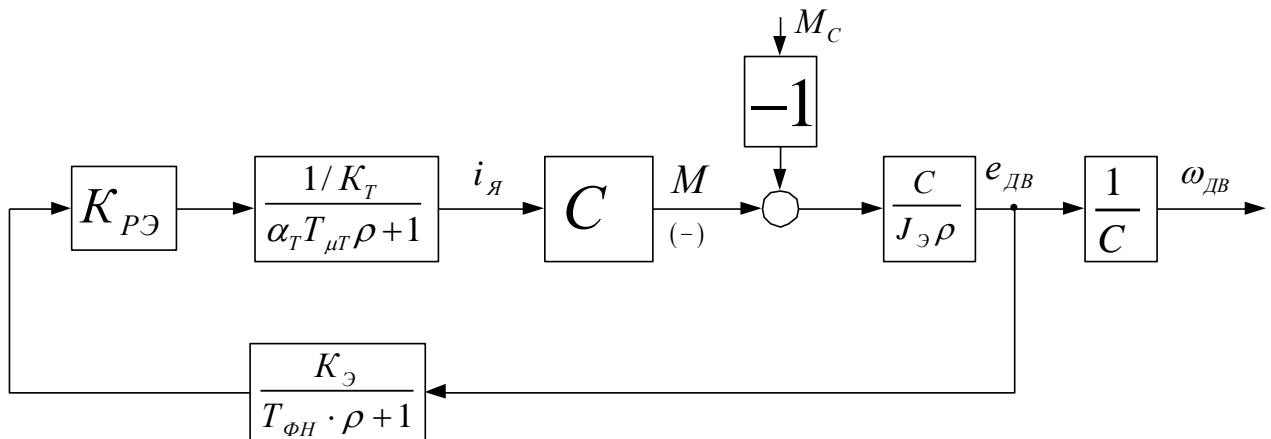


Рисунок 20 – Структурная схема контура ЭДС по возмущению

Передаточная функция замкнутого контура ЭДС по возмущению, записанная относительно скорости, имеет вид

$$W(\rho)_{B.3AM} = \frac{\alpha_{\text{э}} \cdot T_{\mu\text{э}} \cdot (T_T \rho + 1) \cdot (T_{\text{ФН}} \rho + 1)}{\alpha_{\text{э}} \cdot T_{\mu\text{э}} \cdot \rho \cdot (T_T \rho + 1) \cdot (T_{\text{ФН}} \rho + 1) + 1}.$$

После подстановки численных значений

$$W(\rho)_{B.3AM} = \frac{2 \cdot 0,03134}{6,95} \cdot (0,00334\rho + 1)(0,028\rho + 1) = \frac{0,00000843456\rho^2 + 0,000282655\rho + 0,009019}{0,00000568\rho^3 + 0,00196439\rho^2 + 0,06268\rho + 1}.$$

Установившаяся ошибка контура по возмущению

$$\Delta\omega_{B.УСТ} = \frac{\alpha_{\text{э}} \cdot T_{\mu\text{э}}}{J_{\text{э}}} \cdot \Delta M_C.$$

При  $\Delta M_C = M_{\text{ДВ.Н}} = 344,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$

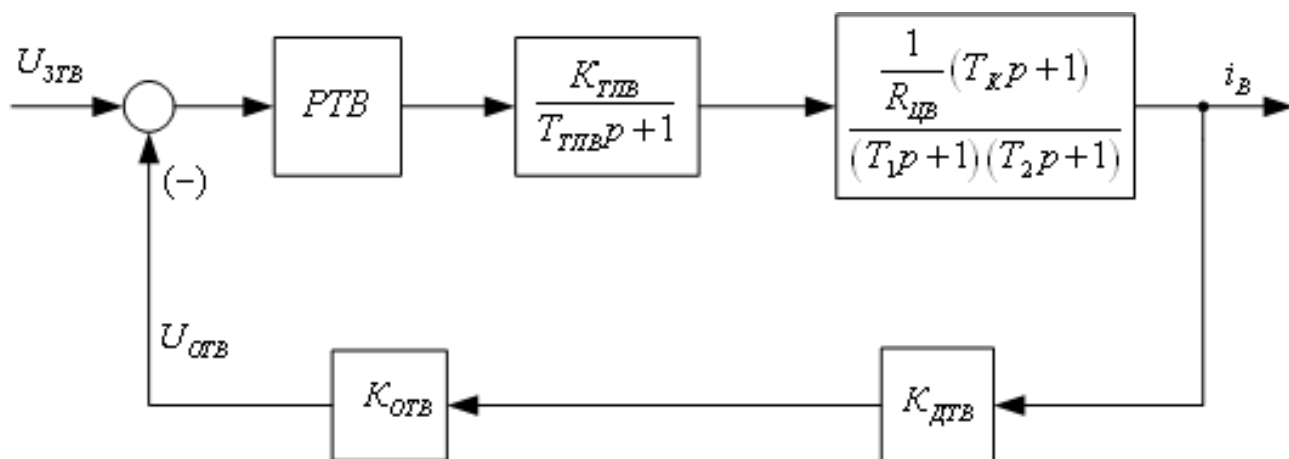
$$\Delta\omega_{B.УСТ} = \frac{2 \cdot 0,03134}{6,95} \cdot 344,5 = 3,107 \text{ рад/с}$$

– установившееся значение провала или всплеска угловой скорости привода при набросе или сбросе нагрузки  $\Delta M_C = M_{\text{ДВ.Н}} = 344,5 \text{ Нм}$ .

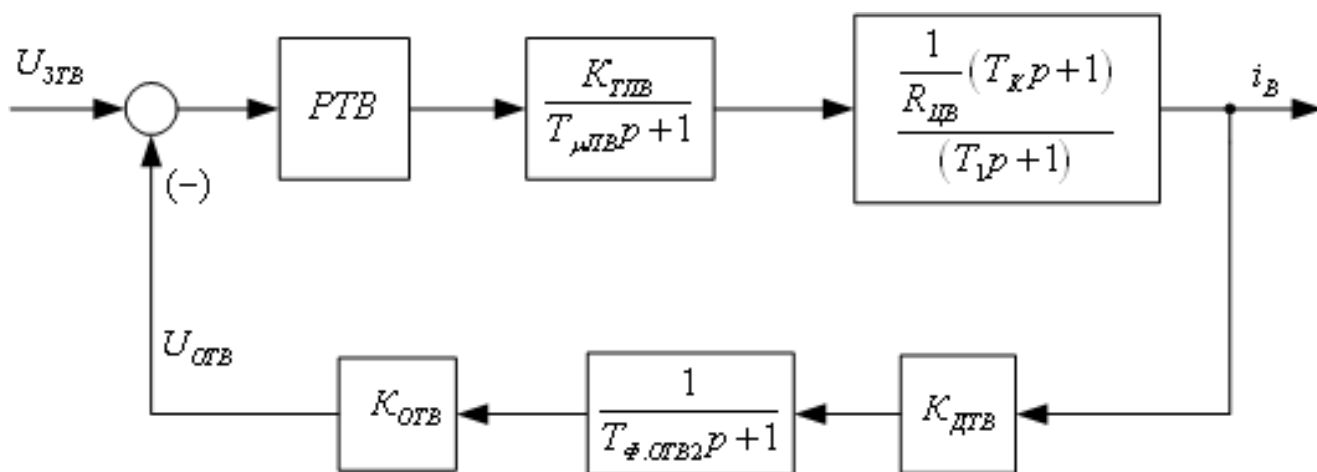
Динамические и статические показатели работы системы с обратной связью по ЭДС зависят от величины  $T_{дв}$  и чем она меньше, тем они будут ближе к показателям системы с обратной связью по скорости.

### 2.16.4 Настройка контура тока возбуждения электродвигателя

Структурная схема контура тока возбуждения приведены на рисунке 21.



а



б

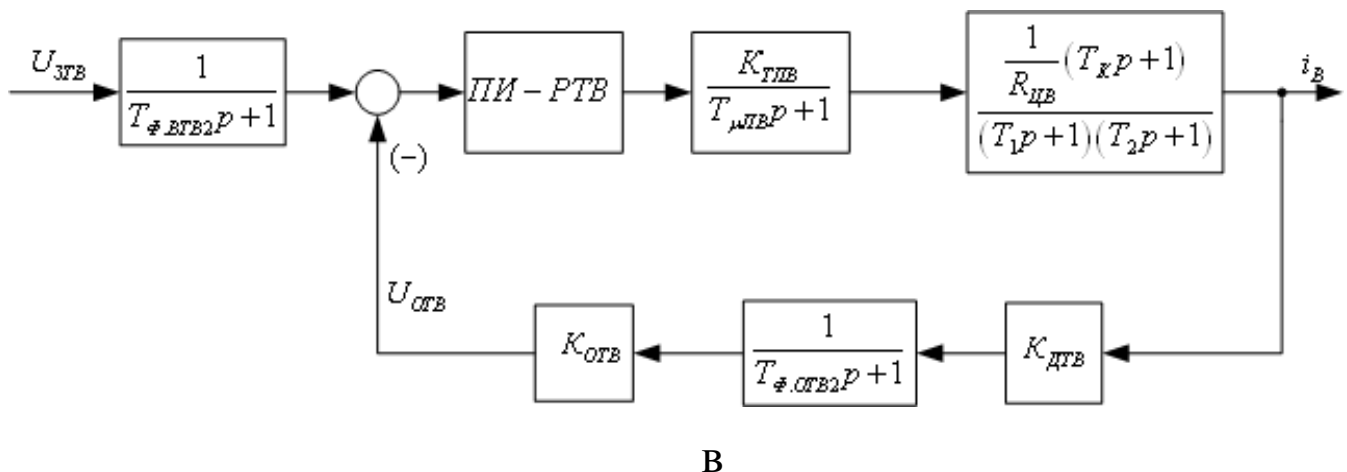


Рисунок 21 Структурная схема контура тока возбуждения двигателя

Контур содержит три инерционных (апериодических) и одно форсирующее звено

Значение постоянных времени  $T_1$  и  $T_2$  определяем по выражениям

$$T_1 = \frac{T_k + T_s + T_e}{2} + \sqrt{\left(\frac{T_k + T_s + T_e}{2}\right)^2 - T_k \cdot T_s} =$$

$$= \frac{0,0578 + 0,103 + 0,578}{2} + \sqrt{\left(\frac{0,0578 + 0,103 + 0,578}{2}\right)^2 - 0,0578 \cdot 0,103} = 0,893 \text{ с}$$

$$T_2 = \frac{T_k + T_s + T_e}{2} - \sqrt{\left(\frac{T_k + T_s + T_e}{2}\right)^2 - T_k \cdot T_s} =$$

$$= \frac{0,0578 + 0,103 + 0,578}{2} - \sqrt{\left(\frac{0,0578 + 0,103 + 0,578}{2}\right)^2 - 0,0578 \cdot 0,103} = 0,067 \text{ с}$$

Постоянные времени звеньев связаны соотношениями  $T_1 > (T_{ГТВ} + T_2)$  и  $T_1 > T_k$ .

Тогда принимаем:

$T_{μТВ} = (T_{ГТВ} + T_2)$  – малая постоянная времени контура;

$$T_{μТВ} = (0,00167 + 0,067) = 0,06867 \text{ с,}$$

$T_1 = 0,839 \text{ с}$  – большая постоянная времени контура;

Для компенсации влияния форсирующего звена в прямом канале устанавливаем в цепь обратной связи инерционное звено с передаточной функцией

$$W_{\phi,OTB}(\rho) = \frac{1}{T_{\phi,OTB2}\rho + 1},$$

постоянная времени которого выбирается из условия  $T_{\phi,OTB2} = T_K$ .

Структурная схема преобразованного контура тока возбуждения приведена на рисунке 20б.

Для настройки контура рисунок б выбирают ПИ – регулятор тока с передаточной функцией

$$W(\rho)_{PTB} = K_{PTB} \frac{T_{PTB}\rho + 1}{T_{PTB}\rho}.$$

Настройку контура производят на модульный оптимум (МО). Тогда параметры настройки регулятора выбирают следующим образом:

коэффициент усиления регулятора

$$K_{PTB} = \frac{T_1 \cdot R_{ЦВ}}{K_{ПТВ} \cdot K_{ТВ} \cdot a_{ТВ} \cdot T_{\mu ТВ}} = \frac{0,893 \cdot 89,7}{76,5 \cdot 3,7 \cdot 2 \cdot 0,06867} = 4,76,$$

где

$$K_{ТВ} = \frac{U_{ЗТВ.МАКС}}{I_{В.Н}} = \frac{10}{2,7} = 3,7 \frac{В}{А}$$

– коэффициент обратной связи по току возбуждения;

$a_{ТВ} = 2$  – коэффициент оптимизации по МО;

$U_{ЗТВ.МАКС} = 10 В$  – максимальное значение напряжения управления на входе контура;

$I_{В.Н} = 2,7 А$  – номинальный ток возбуждения двигателя;

постоянная времени регулятора тока

$$T_{PTB} = T_1 = 0,893 с.$$

Настроенный таким образом контур рисунок 21б имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура по управлению

$$W(\rho)_{PA3} = \frac{1}{a_{ТВ} \cdot T_{\mu ТВ} \rho \cdot (T_{\mu ТВ} \cdot p + 1)} = \frac{1}{0,0094311378 \cdot p^2 + 0,13734 \cdot p + 1};$$

– замкнутого контура по управлению

$$W(\rho)_{ЗАМ} = \frac{\frac{1}{K_{ТВ}}(T_K \rho + 1)}{a_{ТВ} \cdot T_{\mu ТВ}^2 \rho^2 + a_{ТВ} T_{\mu ТВ} \rho + 1} = \frac{0,0156 \rho + 0,2699}{0,0094311378 \cdot \rho^2 + 0,13734 \cdot \rho + 1}.$$

Для уменьшения перерегулирования на входе контура устанавливается сглаживающий фильтр с передаточной функцией

$$W(\rho)_{\Phi.ВТВ} = \frac{1}{T_{\Phi.ВТВ2} \rho + 1},$$

постоянная времени которого выбирается из условия

$$T_{\Phi.ВТВ2} = T_K = 0,0578 \text{ с.}$$

Передаточная функция замкнутого контура по управлению с фильтром на входе имеет вид

$$W(\rho)_{ЗАМ} = \frac{\frac{1}{K_{ТВ}}}{a_{ТВ} \cdot T_{\mu ТВ}^2 \rho^2 + a_{ТВ} T_{\mu ТВ} \rho + 1} = \frac{0,2699}{0,0094311378 \cdot \rho^2 + 0,13734 \cdot \rho + 1}.$$

Структурная схема настроенного таким образом контура тока возбуждения электродвигателя имеет вид, представленный на рисунке 21в.

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ определяется по выражению

$$K_{ОТВ} = \frac{K_T}{K_{ДТВ}} = \frac{3,7}{2} = 1,85,$$

где

$$K_{ДТВ} = \frac{U_{ДТВ.МАКС}}{I_{ВХ.ДТВ.МАКС}} = \frac{10}{5} = 2 \text{ В/А}$$

– коэффициент передачи датчика тока возбуждения.

Ожидаемые показатели качества работы контура тока возбуждения с фильтром на входе по управлению:

– установившаяся (статическая) ошибка

$$\Delta I_{В.УСТ} = 0;$$

– полоса пропускания контура по модулю и фазе,

$$\omega_{П}^{(M)} = \omega_{П}^{(\Phi)} = \frac{0,71}{T_{\mu ТВ}} = \frac{0,71}{0,06867} = 10,3 \text{ рад/с}$$

– показатели при отработки ступенчатого входного воздействия:

$\sigma = 4,3 \%$  – перерегулирование;

$t_{РВ1}^{(5)} = t_{РВ2}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu ТВ} = 4,1 \cdot 0,06867 = 0,281 \text{ с}$  – время первого и окончательного

вхождения в 5% зону, с.

## 2.17 Структурная схема нелинейной САУ РЭП

Получение достоверных качественных и особенно количественных характеристик поведения реальной системы автоматизированного электропривода конкретного производственного механизма требует максимального учета особенностей работы, как в целом электропривода, так и его отдельных элементов. В первую очередь это учет особенностей тиристорного преобразователя (дискретное полууправляемое устройство с конкретным способом управления и законом согласования регулировочных характеристик групп вентиляей) и элементов систем электропривода с нелинейными характеристиками (СИФУ, регуляторы, обратные связи, нагрузки реактивного характера, кинематические цепи и т.д.), параметров электрической и механической систем, зависящих от времени и других параметров (индуктивность силовой цепи, момент инерции и т.д.).

### *Структурная схема нелинейной САУ электропривода*

Основными нелинейностями схемы электропривода являются:

- насыщение регуляторов  $U_{р\text{эмакс}}=10\text{В}$ ,  $U_{р\text{тмакс}}=10\text{В}$ ;
- насыщение тиристорного преобразователя, вызванное ограничением минимального угла управления,

$$E_{\text{тп.макс}} = E_{d0} \cdot \cos\alpha_{\text{мин}} = 276,75 \cdot \cos 15^\circ = 260,06 \text{ В}$$

- реактивный характер момента сил трения

$$M_C(\omega) = M_C \cdot \text{sign}\omega;$$

- токоограничение, которое осуществляется ограничением входного напряжения регулятора ЭДС

$$U_{\text{р\text{э.доп}}} = K_T \cdot I_{\text{эл.макс}} = 0,0287 \cdot 348 = 10\text{В};$$

- специфические особенности тиристорного преобразователя.

Структурная схема нелинейной РЭП электропривода подъема фурмы приведена на рисунке 22. Параметры структурной схемы приведены в таблице 13.

**Расчет параметров уставкитоктоограниченияиз условия ограничения  
допустимого ускорения привода**

Допустимое значение ускорения двигателя

$$\left(\frac{d\omega}{dt}\right)_{\text{ДВ.МАКС}} = a_{\text{МАКС}} / \rho^2 = 1,2 / 0,0135 = 88,9 \text{ рад} / \text{с}^2.$$

Минимальное значение времени пуска на максимальную скорость

$$t_{\text{ПУСК}} > \frac{\omega_{\text{ЭП.МАКС}}}{\left(\frac{d\omega}{dt}\right)_{\text{ДВ.МАКС}}} = 66,43 / 88,9 = 0,75 \text{ с}.$$

Значение максимального динамического момента, развиваемого электродвигателем:

–при подъеме

$$M_{\text{ДВ.МАКС}} = J_{\text{Э}} \cdot \frac{\omega_{\text{ЭП.МАКС}}}{t_{\text{ПУСК}}} = 6,951 \cdot \frac{66,43}{0,75} = 615,67 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

–при спуске

$$M_{\text{ДВ.МАКС}} = J_{\text{Э}} \cdot \frac{\omega_{\text{ЭП.МАКС}}}{t_{\text{ПУСК}}} = 6,7 \cdot \frac{66,43}{0,75} = 593,44 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальное допустимое значение пускового момента двигателя:

– при подъеме

$$M_{\text{ДВ.МАКС}} = -M_{\text{ДВ.ДИН}} + (M_{\text{ГР}} - M_{\text{С}}) = 615,67 + (183 + 45,24) = 843,91 \text{ Нм}$$

– при спуске

$$M_{\text{ДВ.МАКС}} = -M_{\text{ДВ.ДИН}} + (M_{\text{ГР}} - M_{\text{С}}) = -615,67 + (183 - 45,24) = -455,68 \text{ Нм}$$

Максимальное допустимое значение пускового тока двигателя:

–при подъеме

$$I_{\text{ЭП.ДОП}} = \frac{M_{\text{ДВ.МАКС}}}{C} = \frac{843,91}{2,97} = 283,38 \text{ А};$$

– при спуске

$$I_{ЭП.ДОП} = \frac{-M_{ДВ.МАКС}}{C} = \frac{-843,91}{2,97} = -283,38 \text{ А};$$

Установка  $U_{РЭ.ДОП(+)}$  ограничения выходного напряжения регулятора ЭДС:

–при подъеме

$$U_{РЭ.ДОП(+)} = \frac{I_{ЭП.ДОП}}{I_{ЭП.МАКС}} \cdot 10 = \frac{283,38}{348} \cdot 10 = 8,14 \text{ В};$$

– при спуске

$$U_{РЭ.ДОП(+)} = \frac{I_{ЭП.ДОП}}{I_{ЭП.МАКС}} \cdot 10 = \frac{153}{348} \cdot 10 = -4,4 \text{ В}.$$

Структурная схема нелинейной САР РЭП с РЭ и ДЭ приведена на рисунке 22.

Параметры структурной схемы приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Параметры элементов структурной схемы САР ЭП

$T_{\phi 2}$	$K_{РЭ}$	$K_{РТ}$	$T_{\mu T}$	$K_{ТП}$	$T_{ТП}$	$1/R_{яц}$	$R_{яц}$	$T_{яц}$
с			с		с		Ом	с
0,028	7,324	1,512	0,00167	41,3	0,00167	4,01	0,2494	0,024
$J$	$R_{ДВ}$	$T_{ДВ}$	$K_{ДН}$	$K_{ДТ}$	$K_{ОГ1}$	$T_{ФН}$	$K_{ДЭ}$	$K_{ОЭ}$
кг*м <sup>2</sup>	Ом	с		$\frac{В}{А}$		с		
6,95	0,15	0,028	0,04	0,025	1,148	0,028	1	1,225
$e_{2МАКС}$	$K_{УО}$	$M_{С.ПОДЪЕМ}$	$M_{С.СПУСК}$	$L_{яц}$	$L_{ДВ}$	$E_{ТПМАКС}$	$C$	$T_{РТ}$
В		$H \cdot м$	$H \cdot м$	мГн	мГн	В	В*с/рад	с
290	0,475	228	137	5,884	4,18	260,03	2,97	0,024

Переходные процессы рассчитываются и строятся при помощи прикладной программы MatLab 6.0.



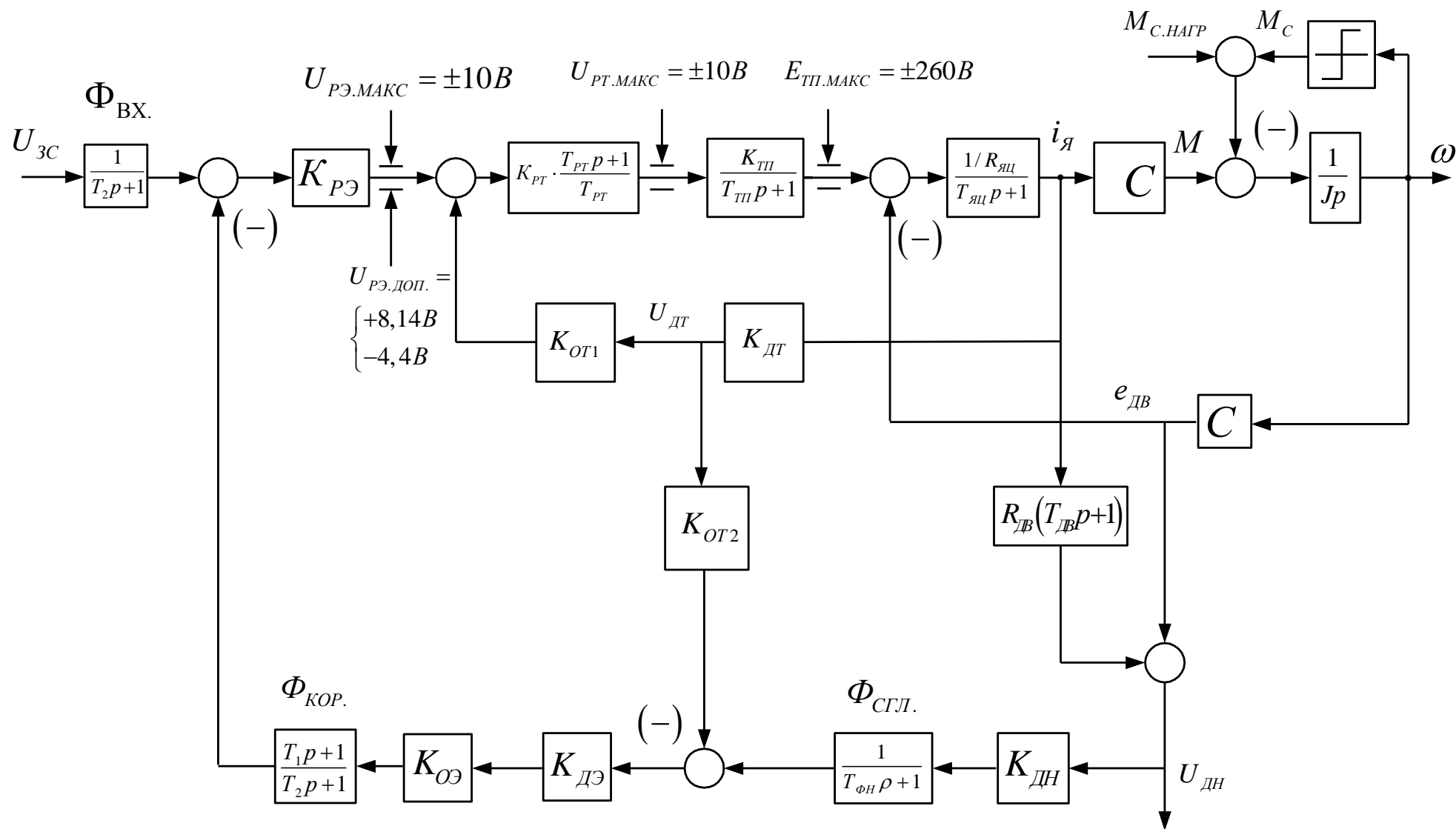


Рисунок 22– Структурная схема нелинейной САР РЭП

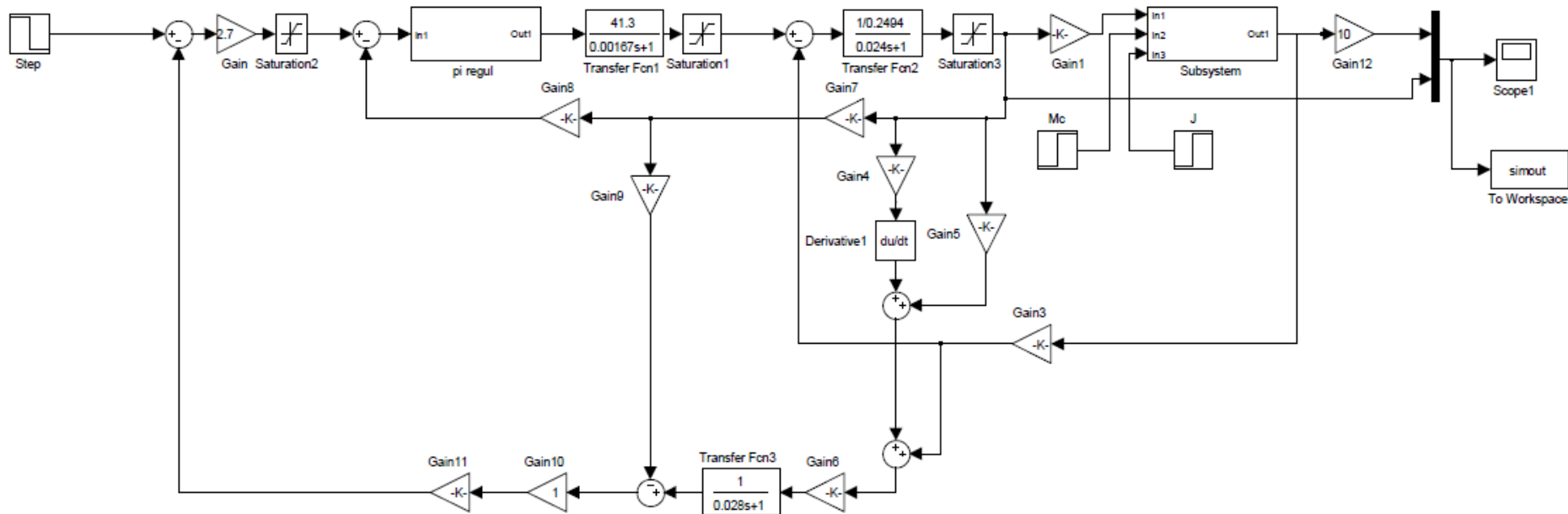


Рисунок 23-Схема набора в программе Матлаб.

## 2.18 Расчет переходных процессов

Расчет переходных процессов в электроприводе проведен с использованием прикладной программы MatLab. Расчет переходных процессов произведен для фурмы режимов подъема, опускания и торможения и реверсе.

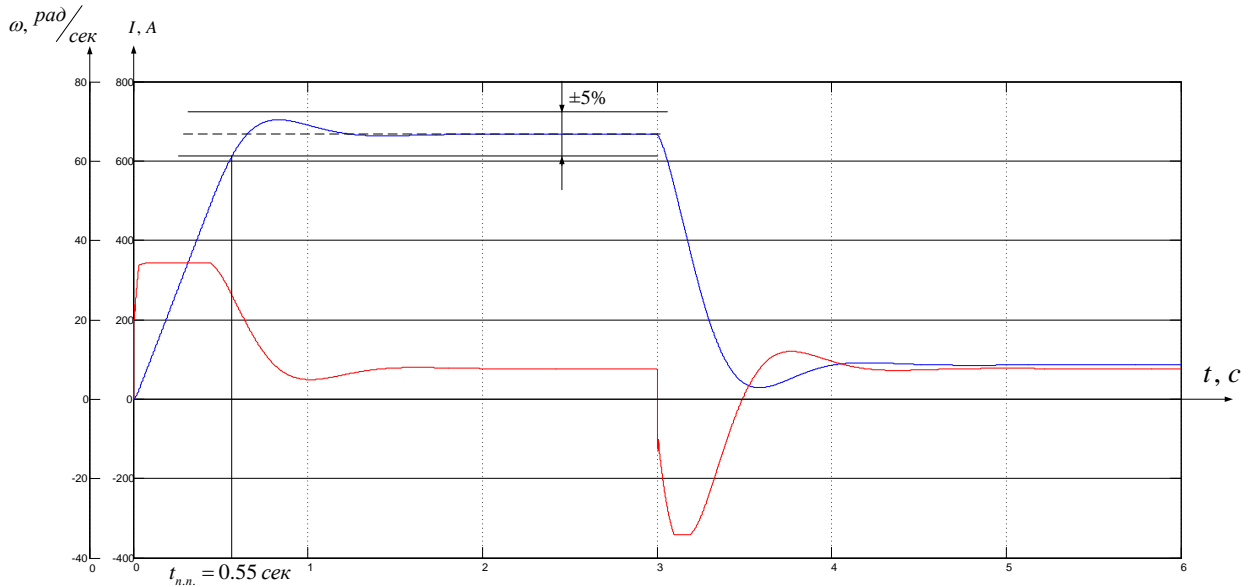


Рисунок 24 – Переходный процесс разгона ЭП подъема фурмына максимальной, в 3 секунды торможение на минимальную при  $M_C = 228 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

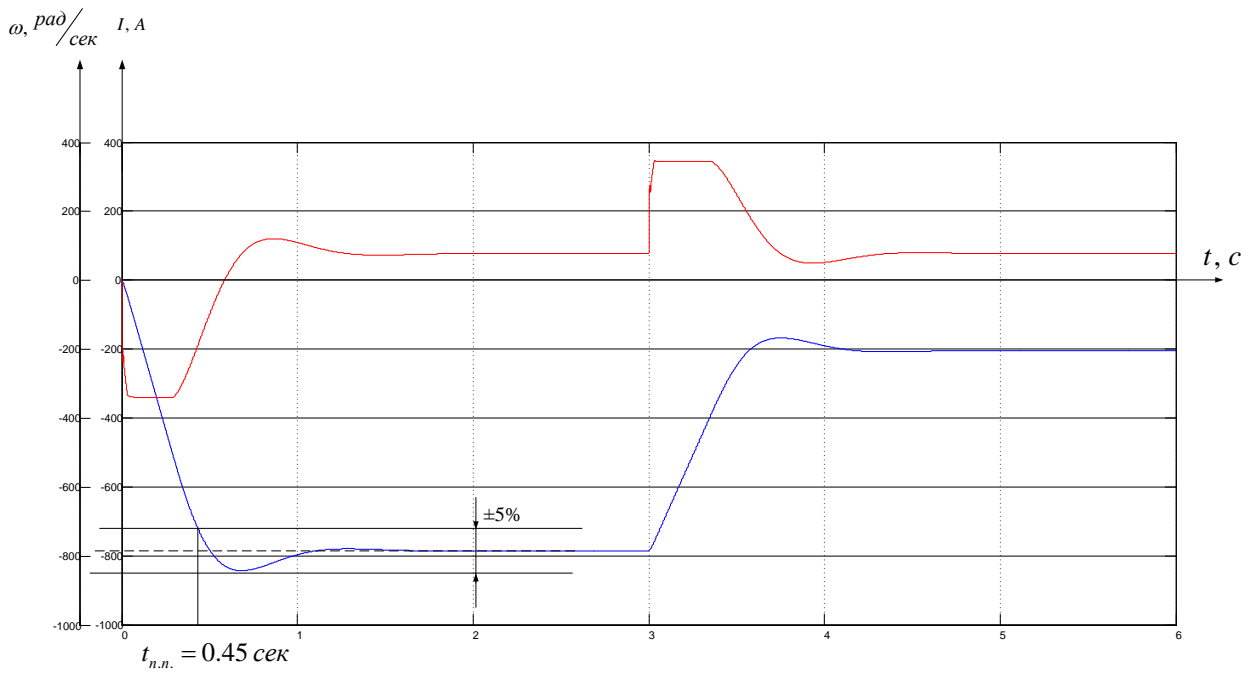


Рисунок 25 – Переходный процесс разгона ЭП опускание фурмына максимальной, в 3секунды торможение на минимальную при  $M_C = 228 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

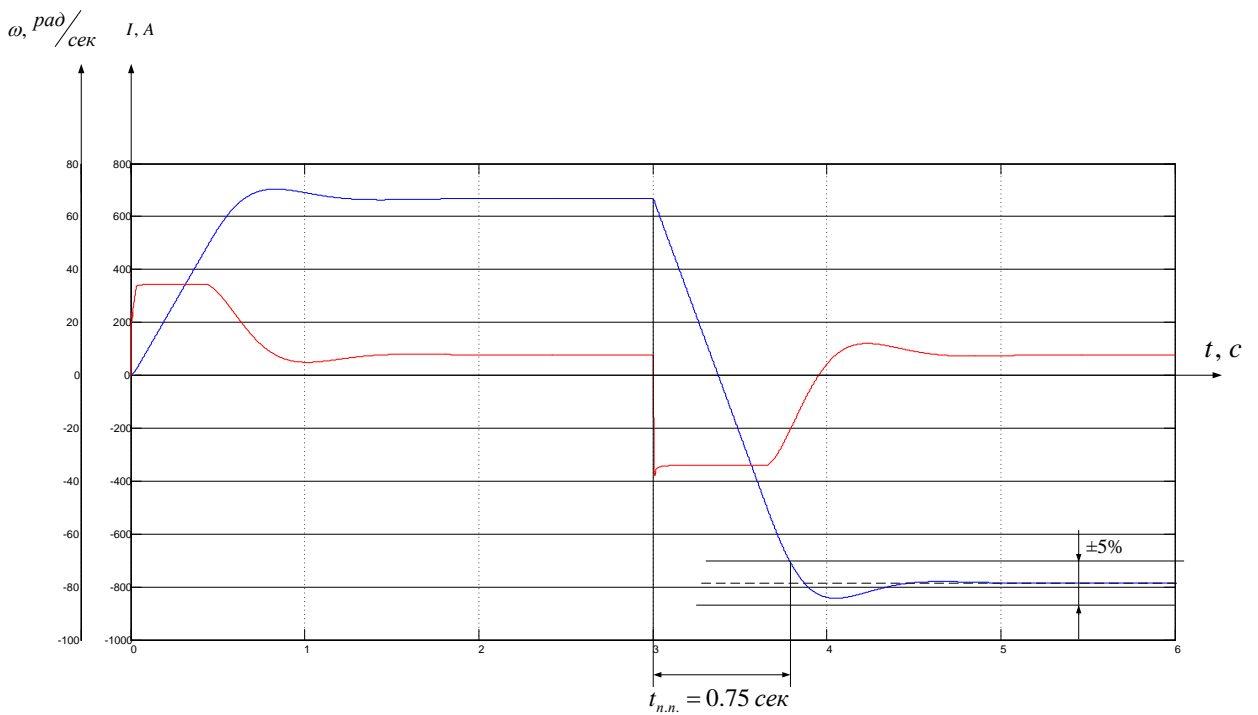


Рисунок 26 – Переходный процесс разгона ЭП реверса фурмына максимальной, в 3секунды реверс при  $M_C = 228 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5ГЗА1	Осланов Собиржон Ибодуллаевич

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение</b>	Электроэнергетика и электротехника
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Регулируемый электропривод постоянного тока подъема кислородной фурмы
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Производственная безопасность</b>	
1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:	1. Шум; 2. Вибрация; 3. Электромагнитное излучение; 4. Освещенность рабочей зоны
1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	1. Механические травмы; 2. Поражение электрическим током. 3. Пожароопасность
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	2) Воздействия на гидросферу (сбросы); 3) Воздействия на литосферу (сбросы).
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	1) Перечень возможных ЧС на объекте; 2) Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 3) План эвакуации при пожаре
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Возрастное ограничение, требования к образованию. Специальные нормы, предусмотренные спецификой выполняемых работ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Осланов Собиржон Ибодуллаевич		

### 3. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

#### Введение.

Кислородный конвертер предназначен для получения стали. При его работе осуществляются следующие технологические операции:

- завалка лома;
- заливка жидкого чугуна;
- опускание кислородной фурмы;
- продувка ванны конвертера кислородом;
- подъем кислородной фурмы;
- определение температуры и состава металла;
- слив металла и шлака.

Основным технологическим периодом плавки является продувка ванны кислородом. Эта операция осуществляется с помощью кислородной фурмы. Механизм подъема предназначен для подъема и опускания водоохлаждаемой фурмы. Механизм подъема приводится в действие электроприводом переменного тока MICROMASTER 440.

## Производственная безопасность

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Техническое обслуживание; 2. Осмотры электрооборудования и электроаппаратуры; 3. Испытания 4. Текущий ремонт и капитальный ремонт электрооборудования и электроаппаратуры	1. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 2. Повышенный уровень электромагнитных излучений; 3. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 4. Повышенный уровень вибрации; 5. Отклонение показателей микроклимата.	1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; 2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; 3. Пожар.	Состав атмосферы должен отвечать установленным нормативам по содержанию основных частей воздуха и вредных примесей с учётом требований указанных в ГОСТ 12.1.005.  Допустимые скорректированные значения виброускорения не должны превышать значений согласно ГОСТ 12.1.012-90  Уровень шума согласно ГОСТ 12.1.003.83 не должен превышать 80 дБА  Нормы освещенности должны удовлетворять требованиям ГОСТ Р 55710-2013

### 3.1 Анализ выявленных вредных факторов

#### Отклонение показателей микроклимата

Для обеспечения нормальных условий труда персонала немаловажную роль играет микроклимат, т.е. факторы производственной среды, влияющие на физическое и эмоциональное состояние человеческого организма.

Производственные процессы могут сопровождаться выделением вредных газов, паров, пыли или избыточного тепла, вследствие чего воздух в помещении претерпевает некоторые изменения, которые могут вредно отражаться на здоровье работающих.

Оптимальные показатели микроклимата распространяются на всю рабочую зону, допустимые показатели устанавливаются дифференцировано для постоянных

и непостоянных рабочих мест. Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне рассматриваемого цеха, указаны в таблице 1.

Таблица 1

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-21	60-40	0,2
Теплый	20-22	60-40	0,2

Допустимые макроклиматические условия допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьми часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) должны соответствовать значениям, приведенным в таблиц

е 2.

Таблица 2.

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> , не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

### **Повышенный уровень шума на рабочем месте**

В производственных условиях разнообразные машины, аппараты и механизмы являются агрегатами динамически неуравновешенными. Для рассматриваемого цеха такими аппаратами являются двигатели, вентиляторы, кран-балки.

Длительное систематическое воздействие шума на организм человека приводит к следующим негативным последствиям:



- снижает производительность труда;
- снижает чувствительность слуха;
- количество ошибок возрастает;
- нарушает артериальное давление и ритм сердечной деятельности.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления. Для ориентировочной оценки допускается в качестве характеристики постоянного широкополосного шума на рабочих местах принимать уровень звука значение которого приведено в ГОСТ 12.1.003.

Допустимый уровень звукового давления для цеха 75 дБ в октавных полосах со среднегеометрической частотой 1000 Гц и уровень звука 80 дБА.

### **Повышенный уровень вибрации**

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда.

Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест приведен в таблице 3.

Таблица 3.

Вид вибрации: Технологическая	Среднегеометрические частоты, Гц.					
	2	4	8	16	32,5	63
Предельно допустимые значения виброскорости, дБ	108	99	93	92	92	92
Предельно допустимые значения виброускорения, дБ	103	100	100	106	112	110

Вибрацию в рассматриваемом цехе можно наблюдать при работе большинства оборудования. Для снижения уровня вибрации производится тщательное наблюдение за узлами оборудования, и в случае необходимости, настройка оборудования и замена изношенных частей установки, виброизоляция, применение динамических виброгасителей, уравнивание, балансировка, жесткое присоединение агрегата к фундаменту большой массы.

## **Повышенный уровень электромагнитных излучений**

Источники электромагнитных полей являются кабели, трансформаторы, шинопроводы, устройства защиты и автоматики, и др.

Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м. При напряженности свыше 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин. Пребывание в ЭП с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается. Напряженность магнитного поля в соответствии с предельно допустимым уровнем на рабочем месте не должна превышать 8 кА/м [27].

Применение средств индивидуальной защиты: специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани, очки с латунной сеткой вместо стекла, очки со стеклом, покрытым слоем полупроводникового материала, специальные каски и шлемы.

## **Недостаточная освещенность рабочей зоны**

Недостаточная освещенность рабочей зоны может вызвать ослепленность или привести к быстрому утомлению и снижению работоспособности и существенному повышению риска травматизма.

Искусственное освещение в производственных помещениях должно удовлетворять нормам СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».

Для безопасного продолжения работы или выхода людей из помещений при внезапном отключении, должно быть предусмотрено аварийное освещение.

В цехе предусмотрено четыре системы освещения: общее, аварийное, эвакуационное и ремонтное. Норма освещенности для рассматриваемого цеха приведена в таблице 4.

Таблица 4.

Разряд зрительной работы	Характеристика	Подразряд	Наименьший объект различения, мм	Освещённость (комбинированная система), Лк	Освещённость (общая система), Лк
IV	Средней точности	в	0,5-1,0	400	200

Вдоль всех главных коридоров, лестничным клеткам и над пожарным краном, предусмотрены эвакуационные светильники, показывающие выход.

Ремонтное освещение предусматривается в технических помещениях, и осуществлено переносными светильниками напряжением питания 36 В.

## **3.2 Анализ выявленных опасных факторов**

### **Поражение электрическим током**

В отношении опасности поражения электрическим током рассматриваемый цех относится к помещению с повышенной опасностью. В цехе присутствует возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям здания, имеющего соединение с землей, технологическим аппаратам и механизмам с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям), с другой.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять защитные оболочки, защитные ограждения (временные или стационарные), безопасное расположение токоведущих частей, изоляцию рабочего мест.

### **Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования**

В рассматриваемом цехе большая доля вероятности получить механическую травму, так как используется большое количество оборудования. При необходимости принимаются меры для уменьшения вероятности травмирования персонала - предупредительные плакаты, ограждения, сигнализация.

Производственное оборудование, в состав которого входят средства защиты, требующие их включения до начала функционирования производственного оборудования и выключения после окончания его функционирования.

Конструкция и расположение средств защиты не должны ограничивать технологические возможности производственного оборудования и должны обеспечивать удобство эксплуатации и технического обслуживания.

Сигнальные устройства, предупреждающие об опасности, должны быть выполнены и расположены так, чтобы их сигналы были хорошо различимы и слышны в производственной обстановке всеми лицами, которым угрожает

опасность.

Части производственного оборудования, представляющие опасность, должны быть окрашены в сигнальные цвета и обозначены соответствующим знаком безопасности в соответствии с действующими стандартами.

### **3.3 Экологическая безопасность**

Для работающих на промышленных предприятиях, непосредственной окружающей средой является воздух рабочей зоны.

Охрана окружающей среды на предприятии предусматривает мероприятия предотвращающие загрязнение воздушного бассейна. С этой целью загрязненный воздух, удаляемый из производственных помещений, пропускается через специальные очистительные фильтрующие и обезвреживающие устройства, которые обеспечивает вытяжному воздуху то же качество, что и на входе.

В самом цехе не образуются сточные воды. Сточные воды появляются в результате мойки оборудования и текущей уборки и специальными сливами отводятся в технологическую канализационную сеть. Предварительная обработка этой воды перед выливанием в общие сети достигается отведением в бассейн для нейтрализации.

В процессе деятельности цеха предприятия образуются промышленные отходы. Отходы, которые в дальнейшем могут быть использованы в производстве собираются, складированы и по мере их накопления отправляются на переработку. Отходы, не подлежащие переработке и дальнейшему использованию передаются специализированным организациям для дальнейшей утилизации и размещения на объектах размещения отходов.

### **3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

К чрезвычайным ситуациям в рассматриваемом цехе можно отнести нарушения бесперебойности электроснабжения. В случае возникновения выхода из строя одной из двух кабельных линий, электроснабжение цеха будет обеспечивать вторая кабельная линия.

Для повышения устойчивости к ЧС предусмотрены различные меры:

1. Для обеспечения бесперебойной работы в случае ЧС предусмотрено питание от двух источников электроэнергии, удаленных на такое расстояние, чтобы исключить возможность разрушения их в военное время одним ядерным ударом, а в мирное время – стихийным бедствием или аварией, а также имеются резервные

источники питания.

2. В целях снижения опасности взрыва применяют вентиляционные установки, автоматическая сигнализация, систематически контролируется температура узлов электрооборудования. На каждом этаже предприятия установлена радиоточка для оповещения людей о пожаре или другой ЧС.

3. В качестве профилактики от сезонных вспышек вируса гриппа регулярно проводится вакцинация работающих.

4. Для снижения вероятности пожара предусмотрена автоматическая пожарная сигнализация. На случай возникновения пожара предусмотрены первичные средства пожаротушения.

### **Пожарная безопасность.**

На предприятии на основе типовых правил пожарной безопасности для промышленных предприятий разрабатываются объектовые и цеховые противопожарные инструкции.

Для локализации небольших загораний обслуживающий персонал до прибытия передвижных средств пожаротушения должен использовать первичные средства пожаротушения, находящиеся на пожарных щитах.

В помещении цеха устанавливается пожарный инвентарь, согласно РД 153- 34.0-03.301-00 такие первичные средства пожаротушения, как:

- углекислотные огнетушители ОУ-2 и ОУ-5;
- пенные огнетушители ОВП-4;
- ящик с песком;
- ведра;
- лопаты и багор;
- асбест.

На предприятии используется система автоматической пожарной безопасности, основанная на датчиках различных видов (дымовые, тепловые, датчики пламени). В случае возникновения пожара, срабатывает система оповещения, подается световой и звуковой сигнал об опасности.

План эвакуации представлен на рисунке 1.



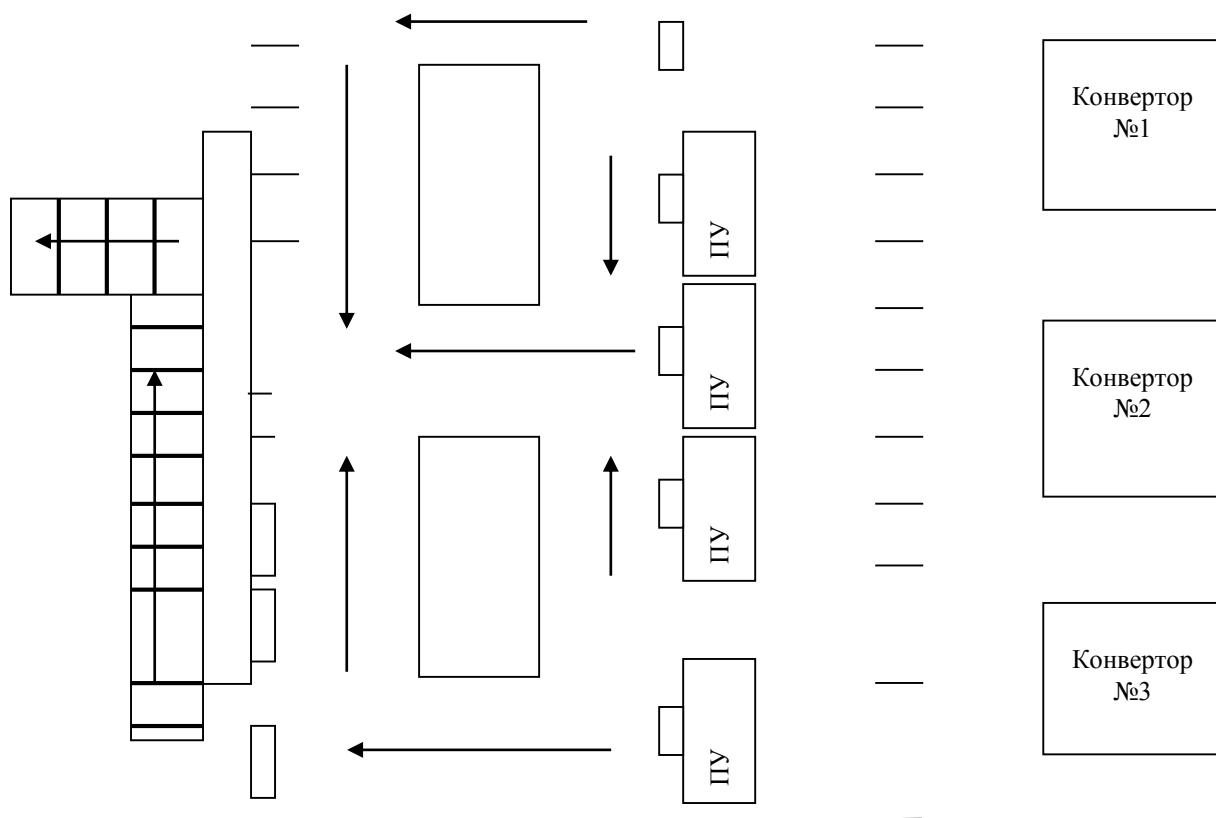


Рисунок 8.2 - План эвакуации.

### 3.5 Правовые и организационные вопросы.

Работникам предприятия приходится часто выполнять различные операции, сопряженные с прямым риском здоровью (вредные условия труда).

До работ допускаются только обученные и аттестованные люди не моложе 18 лет, имеющие образование не ниже 8 классов, годные по состоянию здоровья, что должно быть подтверждено результатами медицинского освидетельствования.

В соответствии со ст. 104 ТК РФ допускается введение суммированного учета рабочего времени с учетным периодом три месяца. В случае, если по причинам сезонного и (или) технологического характера, установленная продолжительность рабочего времени не может быть соблюдена в течение учетного периода продолжительностью три месяца, отраслевым (межотраслевым) соглашением и коллективным договором может быть предусмотрено увеличение учетного периода для учета рабочего времени таких работников, но не более чем до одного года. При этом продолжительность рабочего времени за учетный период не может превышать нормального числа рабочих часов.

Люди, работающие на вредных производствах, обеспечиваются льготами и компенсациями, Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и

компенсаций».

Ежегодно на социальные программы предприятие выделяет средства. Сюда входит:

- организация санаторно-курортного лечения, оздоровление работников и их детей;
- оказание медицинских услуг;
- развитие корпоративного спорта и культурно-массовой деятельности;
- материальное поощрение работников к юбилеям и знаменательным датам;
- материальная помощь работникам, нуждающимся в дополнительной социальной поддержке;
- единовременные компенсационные выплаты увольняющимся работникам в связи с выходом на пенсию;
- пенсионные социальные программы, предусматривающие досрочное оформление пенсии работникам;
- Сотрудники предприятия имеют ряд социальных гарантий, а также спектр финансовых льгот, таких как социальное страхование, кредитование, материнские выплаты. Предусмотрено бесплатное обучение в ВУЗах, регулярное повышение квалификации.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5ГЗА1	Осланов Собиржон Ибодуллаевич

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетиков (ИШЭ)	<b>Отделение</b>	Электроэнергетика и электротехника
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<p>1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i></p>	<p>1. Заказчиком проекта является ОАО «Евраз ЗСМК». 2. Для научно-исследовательского проекта необходимо три человека: руководитель проекта, инженер-программист и студент-дипломник. На ПНР было задействовано 4 человека. 3. Список литературы состоит из необходимых источников для данного раздела.</p>
<p>2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i></p>	<p>В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»</p>
<p>3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i></p>	<p>Отчисления по страховым взносам – 30 %</p>

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i></p>	<p>1. Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование, 1.1 Потенциальные потребители результатов НТП. 1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</p>
<p>2. <i>Планирование и формирование бюджета</i></p>	<p>2.1 Планирование научно-исследовательских работ. 2.2 Пусконаладочные работы. 2.3 Состав бригады для проведения ПНР. 2.4 Стоимость ПНР. 2.5 Расчет расходов при эксплуатации электропривода.</p>
<p>3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования</i></p>	<p>3.1 Интегральный финансовый показатель.</p>

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	Кандидат экономических наук		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Осланов Собиржон Ибодуллаевич		



## **4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

На современном этапе технологического развития существенно возрастает роль автоматизированного электропривода, который в значительной мере стал определять прогресс в областях техники и технологии, связанных с механическим движением, получаемым путем электромеханического преобразования энергии.

Энергетическую основу конверторного производства составляет электрический привод, технический уровень развития которого определяет эффективность работы технологического оборудования цехов и основными направлениями развития которого являются повышение экономичности и надежности работы. Это достигается путем усовершенствования электродвигателей, преобразователей, аналоговых и цифровых средств управления, коммутационной аппаратуры и элементов защиты.

Цель раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

- провести комплексный анализ проекта;
- провести конкурентный анализ вводимого в эксплуатацию оборудования;
- осуществить планирование этапов выполнения проекта;
- рассчитать бюджет разрабатываемого проекта;
- произвести оценку экономической эффективности исследования.

### **4.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование**

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов проектирования**

Заказчиком проекта является ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». В рамках работы разрабатывается электропривод механизма подъема кислородной фурмы ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Сроки проекта не ограничены, т.к. на производстве присутствует две кислородные фурмы: основная и резервная. При этом можно модернизировать каждую, не останавливая производства в порядке очереди.

В дальнейшем результаты могут быть использованы как основа для типовых проектов по модернизации и разработке электропривода механизма подъема кислородной фурмы на различных металлургических предприятиях.

## **Технико-экономическое обоснование и обоснование выбранного оборудования.**

Выбор системы: преобразователь частоты (ПЧ) и асинхронный двигатель (АД) основывается на технологических возможностях и соответствующей стоимости установки.

При выборе данной системы были рассмотрены зарубежные марки электроприводов. Выбор ПЧ и АД проводятся из условия уровня мощности и соответствующей стоимости. При выборе данной системы были рассмотрены варианты таких фирм как: Siemens, ABB и Danfoss.

Преобразователь частоты и асинхронный двигатель фирмы Siemens при сравнении функциональных особенностей оказались ниже по стоимости. Поэтому выбор был остановлен на данной марке.

### **4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты табл. 11. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок.

Рассматривалось три варианта исполнения:

1. Преобразователь частоты (далее ПЧ) фирмы SIEMENS модель MICROMASTER 440, двигатель асинхронный фирмы SIEMENS серии 1LG4253-4AA-Z, мощностью 55 кВт, 1500 об/мин., силовой блок с автоматическими выключателями;
2. ПЧ фирмы ABB модель ACH550-01-125A-4, двигатель асинхронный фирмы ABB 3GAA252041-BDG, мощностью 55 кВт, 1500 об/мин, силовой блок с автоматическими выключателями;
3. ПЧ фирмы DANFOSS модель 131L9898, двигатель асинхронный фирмы SIEMENS серии 1LG4253-4AA-Z, мощностью 55 кВт, 1500 об/мин., силовой блок с автоматическими выключателями.

Таблица 11. Стоимость комплекта

Наименование комплектующих	Вариант исполнения					
	1		2		3	
	марка	стоимость	марка	стоимость	марка	стоимость
ПЧ	Siemens Micromaster 440	337080	ABB ACH550-01-125A-4	356079	Danfoss 131L9898	420722,9
Двигатель	Siemens 1LG4253-4AA-Z	296595	ABB 3GAA252041-BDG	377869	Siemens 1LG4253-4AA-Z	296595
Силовой блок с автом. выключат.	Комплект	4500	Комплект	4500	Комплект	4500
Сумма за комплект	638175,0		738448,0		721817,9	

Производим выбор варианта (комплекта) с использованием метода экспертных оценок. Для проведения оценки выбраны следующие показатели: технические – производительность, помехозащищенность, точность, плавность протекания процессов, степень стандартизации и унификации, удобство управления, шум при работе и экономические – капитальные вложения, затраты на эксплуатацию, надежность.

По выбранным критериям с помощью экспертов необходимо присвоить коэффициент весомости, отражение их важности.

По каждому критерию необходимо установить оценку степени обеспечения.

Таблица 12. Оценка степени обеспечения

Цели	низкий	средний	высокий (выше средней)
Уровень цели. Оценка обеспечений цели	1,0	0,5	0

Таблица 13. Сравнительная характеристика электроприводов

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		
		1	2	3
1	2	3	4	5
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>				
1. Производительность	0,2	0	0	0
2. Помехозащищенность	0,05	0	0,5	0
3. Точность	0,05	0	0	0
4. Плавность протекания процессов	0,8	0	0	0
5. Удобство встройки	0,2	0	0,5	0
6. Степень стандартизации унификации	0,1	0	1	0,5
7. Удобство управления	0,05	0	0,5	0
8. Шум при работе	0,05	0,5	0,5	0
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>				
9. Капитальные вложения	0,1	0	0,5	0,5
10. Затраты на эксплуатацию	0,1	0	0	0
11. Надежность	0,2	0	0,5	0
<b>Итого</b>	<b>1,0</b>	<b>0,05</b>	<b>1,85</b>	<b>0,65</b>

В результате сравнения и оценки критериев выбран первый вариант исполнения, т.к. у него оптимальные технические показатели при выгодной стоимости проекта. Изучив все характеристики, целесообразным выбором стала фирма Siemens .

Электродвигатели фирмы SIEMENS отличаются:

1. Высоким КПД, экономичностью, долговечностью, пониженными шумовыми показателями;
2. Изготавливается по европейским и международным нормам, по стандарту DINENISO 9001;
3. По габаритным и присоединительным размерам совпадают с размерами электродвигателей отечественного производства, выпускаемые по стандарту ГОСТ

Характеристики электропривода переменного тока MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS сведены в таблицу 14.

Таблица 14. Характеристики электропривода переменного тока MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS

Характеристики	MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS
Диапазон мощности	0,12...200 кВт
Напряжение питающей сети	1 AC 200В...240В 3 AC 200В...240В 3 AC 380В...480В 3 AC 500В...600В
Степень защиты	IP20
Выходная частота	до 75 кВт: 0 Гц-650 Гц от 90 кВт: 0 Гц-267 Гц
Способность к перегрузкам	110% перегрузки в течение 60 сек.
Технологический регулятор	Встроенный ПИД – регулятор (с функцией автоподстройки)
Выход	3 релейных и 2 аналоговых
Защитные функции преобразователя	От пониженного напряжения, перенапряжения, перегрузки, замыкания на землю, короткого замыкания, блокировки двигателя, опрокидывания двигателя, перегрева двигателя по I <sub>2t</sub> , перегрева преобразователя, изменения параметров
Интерфейс	Встроенный Modbus, опционально PROFIBUS, DeviceNet, CANopen
Электромагнитная совместимость	Опциональные фильтры класса А и В, а также встроенные фильтры (типоразмеры А, В, С, D, Е, F)
Дополнительные возможности	3 набора параметров, встроенный тормозной блок (до 75кВт), встроенный ПЛК для простых применений, торможение постоянным током, динамическое и комбинированное торможение
Стоимость	337080,00 руб.

Функциональные особенности:

1. Легко устанавливать, параметризовать и пускать в эксплуатацию;
2. Малое время отклика на сигналы управления;
3. Соответствует международным нормам электромагнитной совместимости;

4. Обширный набор параметров, которые дают возможность конфигурирования для широких областей применения;
5. Простое присоединение проводов.

Силовой блок с автоматическими выключателями обладает следующими преимуществами:

1. Высокая отключающая способность;
2. Очень сильное ограничение тока и селективность;
3. Клеммы с защитой от прикосновения пальцем и тыльной стороной руки согласно VBG/BGVA3;
4. Комбинированный зажим даёт возможность одновременного присоединения сборной шины и внешних проводников;
5. Унифицированные дополнительные компоненты, свободно устанавливаемые по месту с помощью защёлок;
6. Блокировка органов управления надёжно предотвращает несанкционированное включение.

## 4.2. Планирование и формирование бюджета проектной работы

Планирование необходимо для обеспечения оптимального ведения работ, уменьшение затрат, увеличение производительности труда.

### 4.2.1 Планирование научно – исследовательских работ

Этапы и содержание дипломной работы (ДР) сведены в таблицу 15.

Трудоемкость характеризуется количеством живого труда, затраченного на изготовление какой либо продукции. Все этапы работы и значения трудоемкости занесены в календарный план-график, таблица 16.

Таблица 15. Этапы и содержание ДР

Содержание работ	Продолжительность работ, ожид/день				Исполнитель
	$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$	$T_p$ , раб.дн	
1. Разработка технического задания	3	5	3,8	2,0	РП, И
2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	4	5	4,4	2,0	РП, И.
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	6	11	8,0	8,0	И
4. Кинематическая схема механизма	5	10	7,0	7,0	И
5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	8	13	10,0	10,0	И

6. Расчет мощности и выбор электродвигателя	5	7	5,8	6,0	И
7. Выбор способа регулирования скорости	4	6	4,8	5,0	И
8. Разработка математической модели системы АУ ЭП	10	15	12,0	6,0	ИП, И.
9. Оптимизация САР электропривода	7	10	8,2	4,0	ИП, И.
10. Разработка программы имитационного моделирования	8	12	9,6	5,0	ИП, И.
11. Вопросы безопасности и экологичности проекта	3	7	4,6	5,0	И
12. Техничко-экономические расчеты	2	6	3,6	4,0	И
13. Составление пояснительной записки	13	27	18,6	9,0	ИП, И.
14. Разработка графического сопровождения проекта	7	10	8,2	4,0	ИП, И.
15. Сдача проекта	3	4	3,4	3,0	РП, И.

РП – руководитель проекта;

ИП - Инженер – программист; И - инженер

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{мин i} + 2 \cdot t_{макс i}}{5},$$

где  $t_{ож}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{мин i}$  - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{макс i}$  - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы. Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож i}}{ч_i},$$

где  $T_{pi}$ - продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож i}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Таблица 16. Календарный план – график ДР на февраль

Этап	Содержание работ	Исполнит.	t-емкость дн.		февраль			март			апрель			май		
			Раб	Кален	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Разработка ТЗ	Рук. проект	2	2												
		Инженер	2	2												
2	Разраб. плана работ и технико-экон. обоснование проекта	Рук. проект	2	2												
		Инженер	2	2												
3	Описание объекта автоматизации	Инженер	8	12												
4	Кинематическая схема механизма	Инженер	7	13												
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер	10	16												
6	Расчет мощности и выбор электродвигателя	Инженер	6	8												
7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер	5	7												
8	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Инженер-програм.	6	8												
		Инженер	6	8												
9	Оптимизация САР электропривода	Инженер-програм.	4	6												
		Инженер	4	6												
10	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер-програм.	5	7												
		Инженер	5	7												
11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер	5	7												
12	Технико-экономические расчеты	Инженер	4	8												
13	Составление пояснительной записки	Инженер-програм.	9	14												
		Инженер	9	14												
14	Разработка графического сопровождения проекта	Инженер-програм.	4	6												
		Инженер	4	6												
15	Сдача проекта	Руковод.ль проекта	3	5												
		Инженер	3	5												

#### **4.4. Пусконаладочные работы**

Пусконаладочные работы (ПНР) являются важным звеном подготовки оборудования к эксплуатации. Состав ПНР определен исходя из комплекта оборудования электропривода механизма подъема кислородной фурмы.

Целью проведения ПНР является доведение электрооборудования механизма подъема кислородной фурмы до соответствия требованиям, предъявляемым нормативными документами и технологическим процессом.

Проведению ПНР в короткие сроки и с высоким качеством в значительной степени способствуют подготовительные мероприятия:

- заблаговременное ознакомление с проектом, выявление неточностей, пробелов и других дефектов проекта;
- выявление и подсчет объема ПНР, определение необходимого количества наладочного персонала;
- подготовка комплектов наладочной аппаратуры и инструмента;
- составление рабочего графика проведения ПНР и согласование его с монтажной организацией и заказчиком;
- внешний осмотр электрооборудования и установка количества электромонтажных работ;
- определения технических характеристик электрооборудования;
- составление рабочей программы испытаний и наладки электрооборудования с учётом особенностей настраиваемого объекта.

Цены на проведение ПНР определены, исходя из сложности серийно выпускаемых, освоенных промышленностью электрических устройств, в соответствии с требованиями 3 части СНиП3.01.01-85 "Организация, производство и приём работ".

При составлении смет или расчёте на выполнение работ, когда договором предусматривается промежуточная оплата, при которой следует руководствоваться структурой ПНР, приведённой в таблице 17.



Таблица 17. Структура ПНР

№	Состав работы	Стоимость ПНР (%) от общей сметной стоимости
1	Подготовительные работы	10
2	Наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний технологического оборудования	40
3	Наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования	30
4	Комплексное опробование	15
5	Оформление отчётной и приемно-сдаточной документации	5
Итого:		100

Подробное содержание ПНР приведено в таблице 18.

Таблица 18. Этапы и содержание ПНР

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовительный этап	1.1	Ознакомление с проектом, выявление неточностей. Составление рабочего графика проведения ПНР	Руководитель , представитель заказчика, бригада наладчиков
	1.2	Подготовка аппаратуры и инструмента	Бригада наладчиков
	1.3	Внешний осмотр оборудования и проверка готовности	Бригада наладчиков
	1.4	Определение соответствия техническим характеристикам	Бригада наладчиков

Продолжение таблицы 18. Этапы и содержание ПНР

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовительный этап	1.5	Составление рабочей программы наладки и испытаний с учетом особенностей объекта	Бригада наладчиков
Проверочные работы	2.1	Проверка количества электромонтажных работ и их соответствие к рабочим чертежам проекта	Бригада наладчиков
	2.2	Проверка установленной аппаратуры, градуировка и снятие в необходимых случаях характеристик	Бригада наладчиков
	2.3	Проверка правильности выполнения схем	Бригада наладчиков
	2.4	Проверка работы электрических систем, блокировок и автоматики	Бригада наладчиков

Наладочные работы	3.1	Ввод настроечных параметров	Бригада наладчиков
	3.2	Наладка и настройка привода	Бригада наладчиков
	3.3	Проверка работы и функционирования блоков защиты и сигнализации	Бригада наладчиков
	3.4	Проверка датчиков	Бригада наладчиков
	3.5	Проверка диапазона изменения напряжения преобразователя	Бригада наладчиков
	3.6	Проверка диапазона изменения частоты преобразователя	Бригада наладчиков

Продолжение таблицы 18. Этапы и содержание ПНР

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Наладочные работы	3.7	Итоговая проверка работы защиты и блокировок	Бригада наладчиков
	3.8	Настройка и снятие необходимых характеристик элементов САУ в соответствии с требованиями технологического процесса	Бригада наладчиков
	3.9	Испытание оборудования вхолостую и под нагрузкой	Бригада наладчиков
Комплексное опробование	4.1	Обеспечение взаимосвязей устройств в составе электроустановки	Бригада наладчиков
	4.2	Согласование входных и выходных параметров на входе и выходе отдельных механизмов кислородного конвертера	Бригада наладчиков
	4.3	Проверка режимов работы электропривода при работе с пульта управления	Бригада наладчиков
Оформление документации	5.1	Составление протокола наладки	Бригада наладчиков
	5.2	Внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта изменений внесенных во время проведения ПНР	Руководитель, представитель заказчика, бригада наладчиков

#### 4.4.1 Состав бригады для проведения ПНР

Число членов бригады и распределение объёмов ПНР между членами бригады зависит от профессиональной подготовки наладчиков и их практического опыта, а также диктуется рядом требований к ПНР:

1. Работы характеризуются узкой специализацией, сложностью.

2. По правилам и нормам эксплуатации и настройки электрооборудования напряжением до 1000 В запрещаются работы на оборудовании, находящемся под напряжением, менее чем двум членам бригады.

Продолжительность выполнения любой операции на каждом этапе зависит от технической сложности. Состав бригады, выполняющей ПНР приведён в таблице 19.

Таблица 19. Состав бригады, выполняющей ПНР

№	Состав бригады	Категория
1	Электрик участка	
2	Электромонтер	6 разряда
3	Электромонтёр	5 разряда
4	Электромонтёр	5 разряда

Весь комплекс ПНР проводится бригадой за 39 рабочих дней. Все работы ведутся в строгом соответствии с нормами их проведения.

Распределение объёма и времени выполнения ПНР по этапам отражено в таблице 20.

Таблица 20. Распределение времени выполнения ПНР

№	Члены бригады	Время выполнения работ по этапам, раб. дни				
		1	2	3	4	5
1	Электрик участка	4	8	19	6	2
2	Электромонтер 6 разряда	4	8	19	6	2
3	Электромонтер 5 разряда	4	8	19	6	2
4	Электромонтер 5 разряда	4	8	19	6	2

Согласно таблице 19 строим календарный график, на июнь, июль месяцы 2016года, проведения ПНР (таблица 16).

Таблица 21. Календарный план-график ПНР на первые 19 дней в июне

Этап	Исполнит.	t-емкость, дни		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		Рабочие	Кален.	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
1	Электрик уч.	4	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Элект-р 6 разр	4	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Элект-р 5 разр	4	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Элект-р 5 разр	4	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Электрик уч.	8	11							—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Элект-р 6 разр	8	11							—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Элект-р 5 разр	8	11							—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Элект-р 5 разр	8	11							—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 21. Календарный план-график ПНР на последующие 25 дней в июне - июле

Этап	Исполнит.	t-емкость, дни		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		Рабочие	Кален.	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	
3	Электрик уч.	19	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Элект-р 6 разр	19	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Элект-р 5 разр	19	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Элект-р 5 разр	19	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 21. Календарный план-график ПНР на последующие дни в июле

Этап	Исполнит.	t-емкость, дни		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
		Рабочие	Кален.	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт
4	Электрик уч.	6	8	—	—	—	—	—	—	—								
	Элект-р 6 разр	6	8	—	—	—	—	—	—	—								
	Элект-р 5 разр	6	8	—	—	—	—	—	—	—								
	Элект-р 5 разр	6	8	—	—	—	—	—	—	—								
5	Электрик уч.	2	4									—	—	—	—			
	Элект-р 6 разр	2	4									—	—	—	—			
	Элект-р 5 разр	2	4									—	—	—	—			
	Элект-р 5 разр	2	4									—	—	—	—			

 - Выходные дни;

 - Праздничные дни

#### 4.4.2 Стоимость ПНР

Таблица 22. Затраты на пусконаладочные работы

Наименование работ с оборудованием	Единица измерения	Кол-во	Стоимость работ/руб.
1.Наладка реверсивного асинхронного преобразователя	шт.	1	21325,00
2. Наладка системы регулирования электроприводом	шт.	1	48750,00
3.Снятие характеристик асинхронного двигателя	шт.	1	6200,00
4. Ввод настроечных параметров привода	шт.	1	9800,00
5. Настройка энкодера	шт.	1	8125,00
6. Настройка путевого выключателя	шт.	2	4750,00
ИТОГО			98950,00

Таблица 23. Дополнительные затраты по заработной плате

№	Наименование статей	Плановые расходы (руб)	Примечание
1	Стоимость работ	98950,00	
2	Районный коэффициент	29685,00	30% от п.1
3	Коэффициент, действующий при проведении ПНР в зоне работы действующего оборудования	2968,50	10% от п.2
4	Коэффициент, учитывающий работы на установке, находящейся под напряжением	29685,00	30% от п.1
5	Основная заработная плата, включая доплаты	161288,50	п.1+п.2+п.3+п.4
6	Дополнительная заработная плата	16128,85	10% от п.5
7	Итого	177417,35	п.5+п.6

Таблица 24. Общая стоимость затрат на проведение ПНР

№	Наименование статей	Плановые расходы (руб)	Примечание
1	Заработная плата	177417,35	
2	Отчисления во внебюджетные Фонды	53225,21	30% от п.1
3	Накладные расходы	28386,78	16% от п.1

4.	Себестоимость работ	259029,34	п.1+п.2+п.3
5.	Цена ПНР	279751,69	п.4+п.5
6.	НДС	50355,30	18% от п.6
7.	Итого	330106,99	п.6+п.7

Таблица 25. Стоимость основного оборудования.

Наименование	Ед. изм.	Цена за единицу	Стоимость
Двигатель переменного тока фирмы SIEMENS серии 1LG4253-4AA-Z	шт	296595,00	296595,00
Привод переменного тока MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS	шт	337080,00	337080,00
Выключатель путевой	шт	4500,00	4500,00
ИТОГО			638175,00

Цены всех комплектующих представлены на 1 февраля 2018 года.

Таким образом, на проведение пуско-наладочных работ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» затрачено 330106,99 рублей, на приобретение оборудования 638175,00 рублей. Работы были проведены в течении 39 рабочих дней.

## 4.5 Расчет расходов при эксплуатации электропривода

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Расходы на электроэнергию
- Заработная плата обслуживающего персонала
- Амортизационные отчисления
- Затраты на ремонт
- Расходы на материалы, связанные с эксплуатацией

### 4.5.1 Расчет стоимости силовой электроэнергии

Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}} = \frac{5 \cdot 3725 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,7}{0,92 \cdot 0,9} = 5545,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где  $P_{\text{уст}}$  – мощность установленного оборудования, 5 кВт;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования, 3725 часов, автоматические линии в 2 смены;

$k_{\text{м}}$  – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0.6-0.7);

$k_{\text{в}}$  – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0.6-0.8);

$k_{\text{з}}$  – средний коэффициент загрузки оборудования (0.7-0.8);

$k_{\text{с}}$  – коэффициент, учитывающий потери в сети (0.92-0.95);

$k_{\text{дв}}$  – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0.9-0.93).

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил.эн}} \cdot C_{\text{э}} = 5545,3 \cdot 3,52 = 19519 \text{ руб} / \text{год}$$

где  $C_{\text{э}}=3,52$  руб. – стоимость одного кВт-часа электроэнергии для промышленных предприятий.

#### 4.5.2 Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации:

$$A_{\text{год}} = K \cdot (N_{\text{д}}/100) = 296595 \cdot (9,6/100) + 341580,0 \cdot (3,5/100) = 40428,42 \text{ руб.}$$

где  $K$  – капитальные вложения в электрооборудование;

$N_{\text{д}}$  – проценты отчислений на амортизацию

- Электродвигатели – 9.6%
- Преобразователи, выключатели, трансформаторы и т.д. – 3.5%

#### 4.5.3 Заработная плата обслуживающего персонала

Обслуживание асинхронного электродвигателя, электропривода переменного тока входит в обязанности оперативно-ремонтного персонала ремонтной службы предприятия.



При выполнении работы наладчик автоматических линий имеет повременную оплату труда. Оплата труда включает в себя основную и дополнительную заработную плату. К основной относится оплата, начисленная за проработанное время на предприятии и различные доплаты (сверхурочная работа, работа в выходные дни, региональные надбавки, премии, районный коэффициент).

Оклад наладчика автоматических линий по присвоенному 6 разряду: 9100 руб.

Дневная заработная плата:

$$Z_{\text{нал}} = \frac{(1,4 \cdot 1,3 \cdot Z_{\text{т}} + N_{\text{над}}) \cdot P_{\text{к}}}{F_{\text{д}}},$$

где  $Z_{\text{т}}$  – оклад в месяц;

$N_{\text{над}}$  – надбавка за сложность, равная 3000 руб.;

$P_{\text{к}}$  – коэффициент, учитывающий районное регулирование, равен 1,3;

$F_{\text{д}}$  – количество рабочих дней в месяце, 22 рабочих дня;

1,4 – доплата за должность.

Рассчитывает основную заработную плату:

$$Z_{\text{нал}} = \frac{(1,4 \cdot 1,3 \cdot 9100 + 3000) \cdot 1,3}{22} = 1155,94 \text{ руб/дн}$$

Основная заработная плата за период работы:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{нал}} \cdot \tau_{\text{р}};$$

где  $\tau_{\text{р}}$  – период рабочего времени»;

$\tau_{\text{р}} = 247$  – период рабочего времени – 1 год ( в 2016 году 247 рабочих дней);

Рассчитываем основную заработную плату за год:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{нал}} \cdot \tau_{\text{р}} = 1155,94 \cdot 247 = 285517,18 \text{ руб.};$$

Дополнительная заработная плата – это выплаты за неотработанное время (оплата отпусков и т.п)

Дополнительная заработная плата рассчитывается:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 285517,18 = 42827,58 \text{ руб.};$$

Суммарная заработная плата:

$$Z_{\text{сум}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 285517,18 + 42827,58 = 328344,76 \text{ руб.}$$

Расчет затрат на оплату труда сведём в таблицу 26.

Таблица 26. Затраты на оплату труда

	<b>Исполнитель</b>
Основная заработная плата, руб.	285517,18
Дополнительная заработная плата, руб.	42827,58
Итого	328344,76

Страховые взносы.

Страховые отчисления на сегодняшний день по законодательству составляют 30%:

$$\text{Страховые взносы} = 30\% \cdot 3/\pi = 0,30 \cdot 328344,76 = 98503,43 \text{ руб};$$

Обязанности по обслуживанию линии занимают 10% рабочего времени наладчика. Зарплата обслуживающему персоналу в год составит:

$$З_{\text{ПЕР}} = 0,1 \cdot 328344,76 = 32834,48 \text{ руб/год.}$$

#### **4.5.4 Общая сумма эксплуатационных расходов**

Общая сумма эксплуатационных расходов складывается из затраты на силовую энергию  $C_{\Sigma}$ , годовых амортизационных отчислений  $A_{\text{год}}$  и зарплаты обслуживающего персонала  $З_{\text{ПЕР}}$ .

$$P_{\Sigma} = C_{\Sigma} + A_{\text{год}} + З_{\text{ПЕР}} = 19519 + 40428,42 + 32834,48 = 92781,90 \text{ руб/год}$$

При расчетах общих затрат на эксплуатацию расходы на электроэнергию составили 19519,0 (руб/год), заработная плата обслуживающего персонала 32834,48 (руб/год), амортизационные отчисления 40428,42 (руб/год). Общая сумма эксплуатационных расходов составила 92781,90 (руб/год).

### **4.6 Определение экономической эффективности исследования**

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурс эффективности.

#### **4.6.1 Интегральный финансовый показатель**

Определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р.}i}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{\text{р}i}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения включая ПНР (таблица 1);

$$\Phi_{\text{р}1} = 638175,0 + 330106,99 = 968281,99 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{р}2} = \Phi_{\text{max}} = 738448,0 + 330106,99 = 1068554,99 \text{ руб}$$

$$\Phi_{p3} = 721817,9 + 330106,99 = 1051924,89 \text{ руб}$$

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость всего проекта

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\max}} = \frac{968281,99}{1068554,99} = 0,91$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\max}} = \frac{1068554,99}{1068554,99} = 1,0$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\max}} = \frac{1051924,89}{1068554,99} = 0,98$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы.

### **Вывод**

В результате сравнения и оценки критериев комплектов электроприводов выбран преобразователь частоты фирмы SIEMENS модель MICROMASTER 440, двигатель асинхронный фирмы SIEMENS серии 1LG4253-4AA-Z , мощностью 55 кВт, 1500 об/мин., силовой блок с автоматическими выключателями, т.к. у данного комплекта оптимальные технические показатели при выгодной стоимости проекта. На основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования, а также по итогам сравнения финансовой и ресурсной эффективности наиболее эффективным получается первый вариант.

Были составлены графики проведения ПНР, определено количество работников, рассчитаны затраты. На проведение пуско-наладочных работ было затрачено 330106,99 рублей, на приобретение оборудования 638175,0 рублей, на эксплуатационные расходы 92781,90 рублей. ПНР были проведены за 39 рабочих дней бригадой из четырех человек.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Целью данного дипломного проекта является проектирование и разработка электропривода подъема кислородной фурмы ККЦ1 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».

В систему автоматического управления электроприводом подъема кислородной фурмы входят: электродвигатель, преобразователь, передаточная и управляющая системы, представляющие вместе сложную электромеханическую структуру.

В результате проектирования разработан электропривод, полностью отвечающий требованиям технического задания и технологического процесса. Электромеханические характеристики системы преобразователь-двигатель в полной мере заполняют заданную работы характеристик, проектируемого электропривода в плоскости координат  $\omega(I)$ . Статические характеристики замкнутой системы электропривода с П - регулятором скорости (ЭДС) и ПИ-регулятором обеспечивают заданную точность поддержания скорости и значение максимального допустимого тока.

## THE CONCLUSION

The purpose of the given degree project is the designing and development of the electric drive of rise tuyere plug oxygen-converter plant1 public corporation "WSSW".

Into system of automatic control of the electric drive of rise oxygen tuyere plug enter: the electric motor, converter, transfer and manager of systems representing together complex(difficult) electromechanical structure.

As a result of designing the electric drive completely adequate the technical project and technological process is developed. The electromechanical characteristics of system to the full fill the converter - engine given works of the characteristics, projected electric drive in a plane of coordinates  $\omega(I)$ . The static characteristics of the closed system of the electric drive with a P-regulator of speed (EMF) and PI-regulator provide the given accuracy of maintenance of speed and meaning(importance) of the maximal allowable current.

The transients in the program REPSEP-2 are investigated, the dynamic parameters of quality controlled-velocity electric drive at improvement of influences on management and indignation in all range of regulation of speed completely meet the requirements of the technical project. The electric drive of rise oxygen tuyere plug is supplied with system of protection and signal system ensuring trouble-free and safe work.

In an economic part of the project the questions of planning, financing and realization of starting-up and adjustment works of the electric drive of rise oxygen tuyere plug are considered. The estimate on realization balancing and commissioning is made and the linear diagram of realization balancing and commissioning is constructed.

In section of safety and экологичности of the project the analysis of the basic harmful and dangerous factors menacing to the attendants is given the measures under the safety precautions, industrial sanitation and fire safety and are developed. The measures and on protection of an environment are considered.

## Список использованной литературы

1. Комплектные тиристорные электроприводы. Справочник. Под ред. Перельмутера В.М., М: Энергоатомиздат, 1988-319с.
2. Копылов А.Г. Справочник по электрическим машинам постоянного тока.- М: Энергоатомиздат, 1988-456с.
3. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока. Учебное пособие. Томск. ТЛИ, 1991-104С.
4. Фотиев М.М. Электрооборудование предприятий черной металлургии. М.: Металлургия, 1980-312с.
5. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1977, 391с.
6. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов- Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1982-392с, ил.
7. Линчевский Б.В., Соболевский А.Л., Кальменев А.А. Металлургия черных металлов: Учебник для техникумов - 3-е изд. перераб. и доп. М.: Металлургия, 1999,-336с.
8. Шицкова А.П., Новиков Ю.В., Климкина Н.В. Охрана окружающей среды от загрязнения предприятиями черной металлургии. М.: Металлургия, 1982-208с.
9. Предельно-допустимые концентрации веществ в воздухе и воде.-Л.: Химия, 1975456с.
10. ГОСТ 12.2.007.0 – 75 ССБТ „Изделия электротехнические. Общие требования безопасности“.
11. ГОСТ 12.1.007-76 „Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности“.
- 12.СНиП 11-33-75 „Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха“.
13. СНиП 23-05-95 „Естественное и искусственное освещение“.

14. Правила устройства электроустановок. М.: Минэнергоиздат, - 640с.
15. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2001.-192с.
16. Типовое положение о ТО и Р электрооборудования предприятий черной металлургии СССР, - Харьков, 1988.
17. Прейскурант №26-05-437 ч. 10 т.2 Министерства черной металлургии СССР - М.: 1990.
18. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
19. Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. — М.: Машиностроение, 2013. — 176 с., ил..

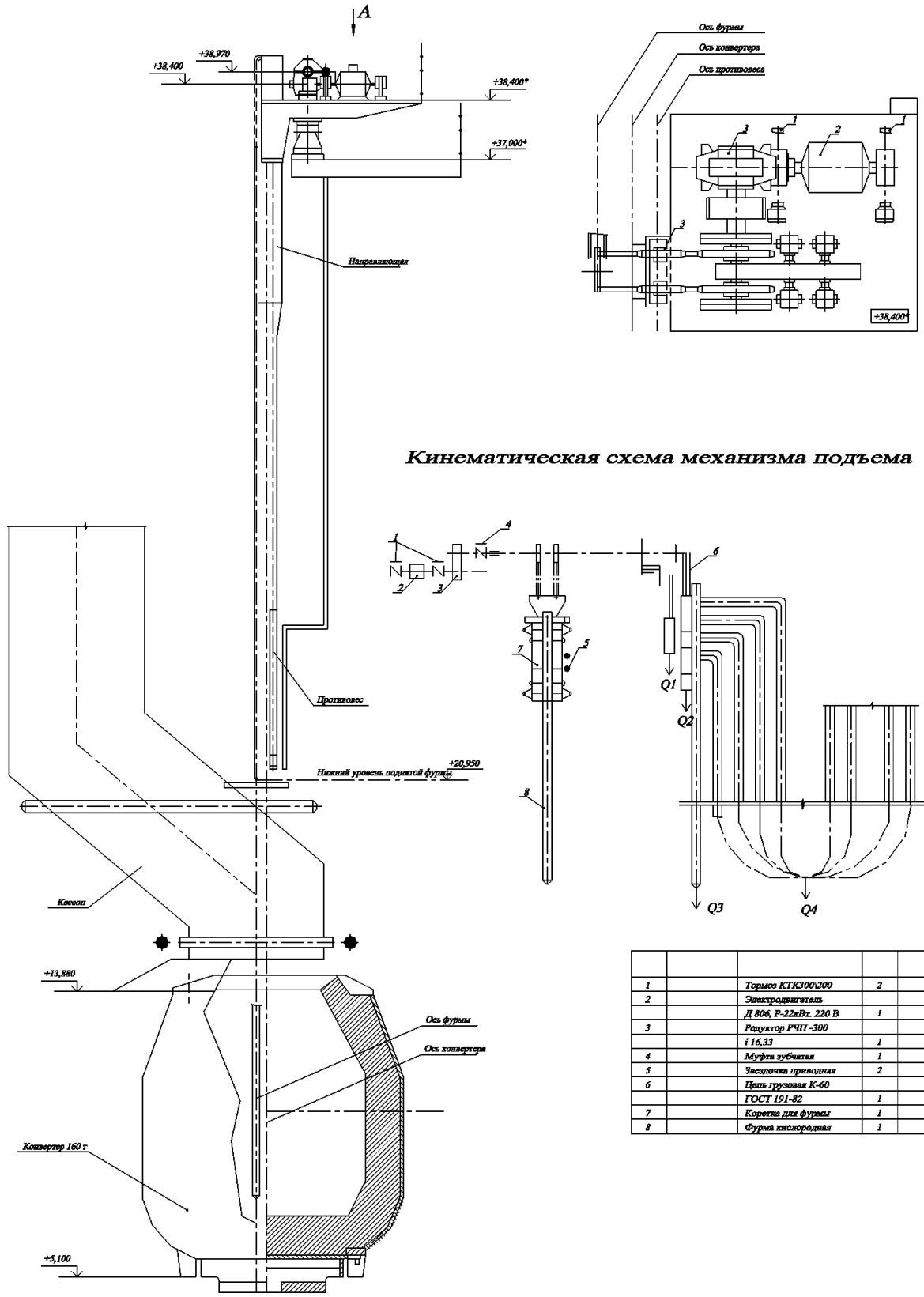
#### Интернет ресурсы

20. <http://www.ielectro.ru/>
21. <http://www.elec.ru/>

**Приложение А.**  
Графический материал.



A  
(1 : 20)

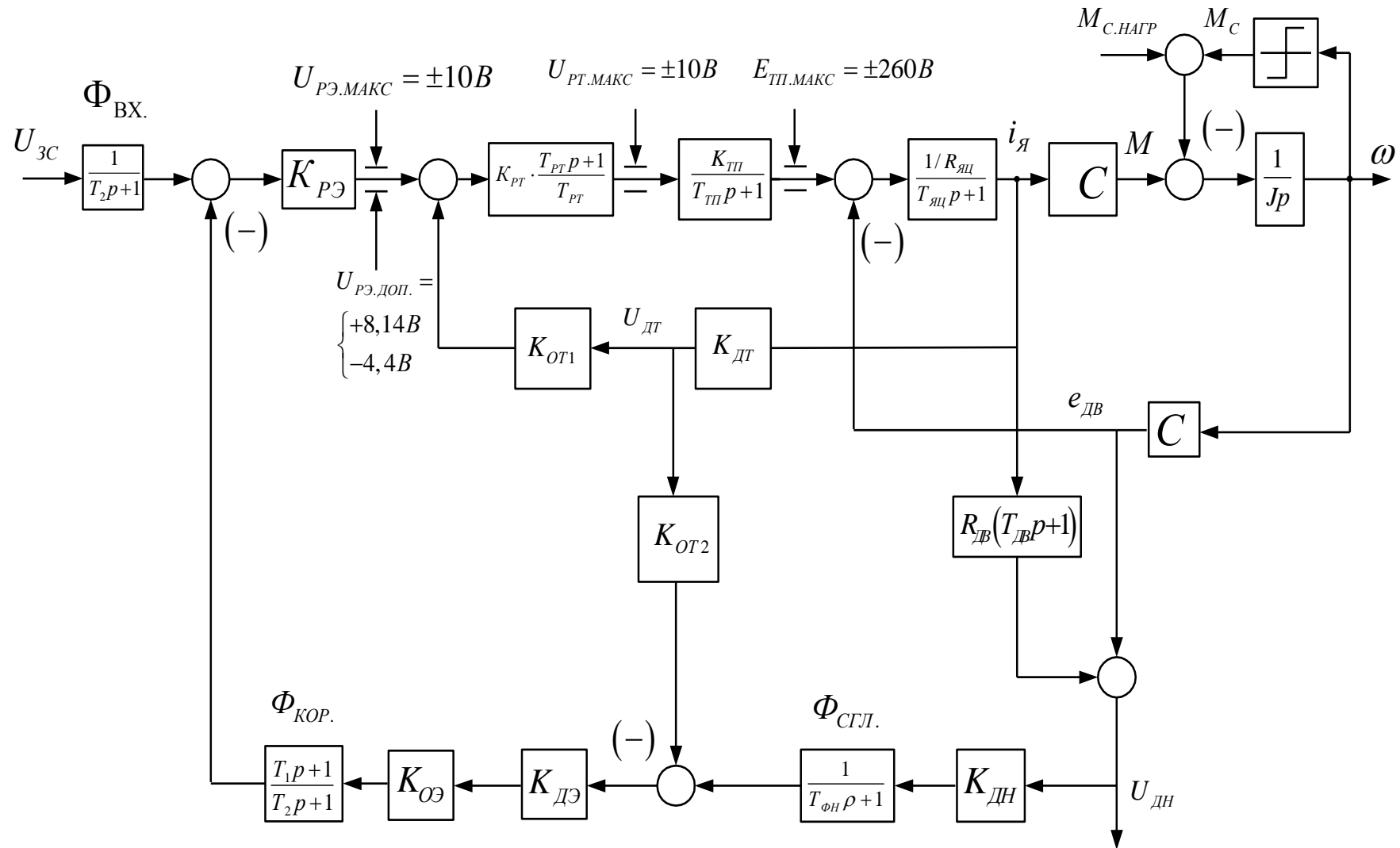


Кинематическая схема механизма подъема

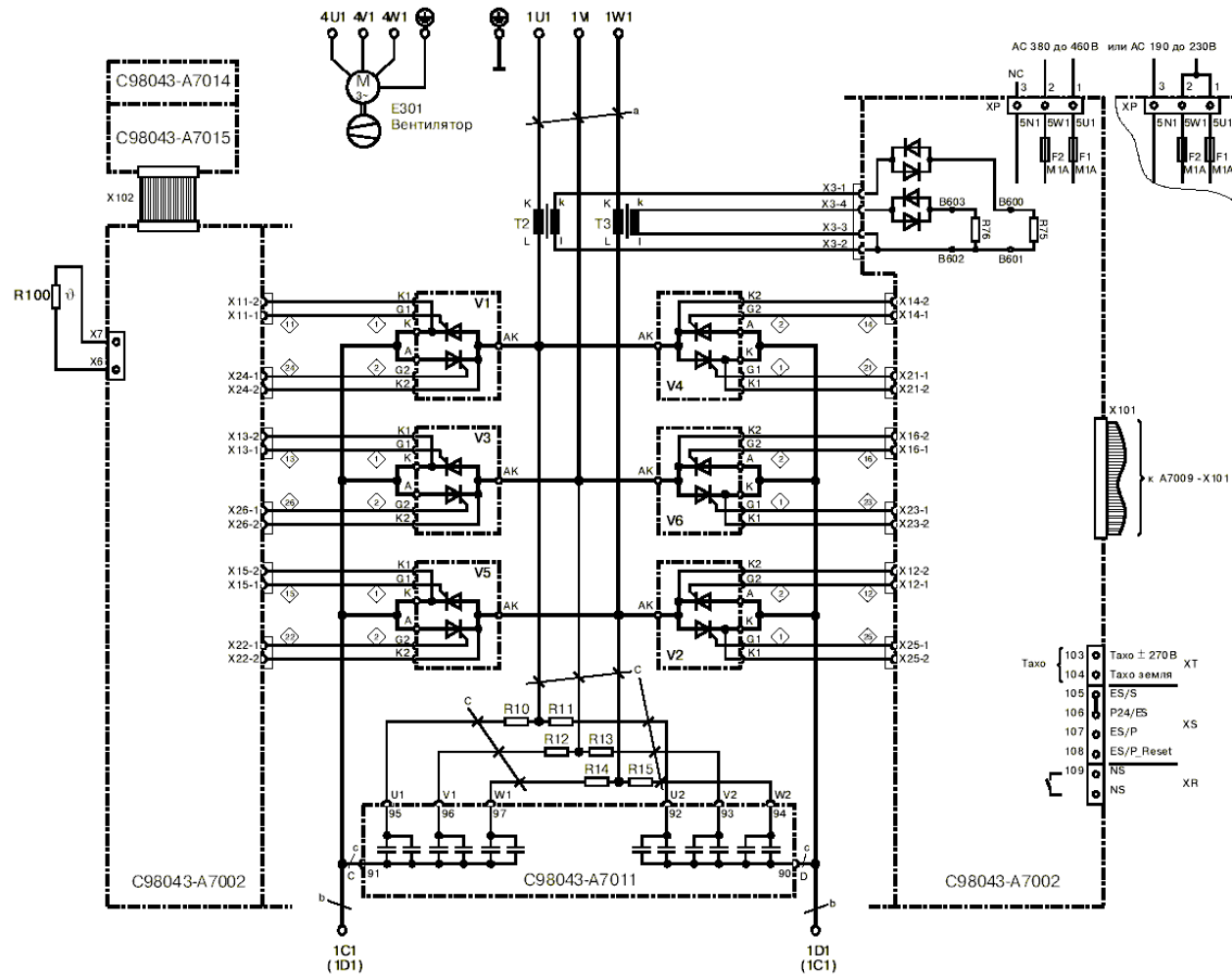
1	Тормоз КТК200/200	2	
2	Электродвигатель Д 806, Р-32 кВт, 220 В	1	
3	Редуктор Р4П1 -300 i 16,33	1	
4	Муфта зубчатая	1	
5	Звездочка приводная	2	
6	Цепь грузовая К-60 ГОСТ 191-82	1	
7	Коретка для фурмы	1	
8	Фурма кислородная	1	



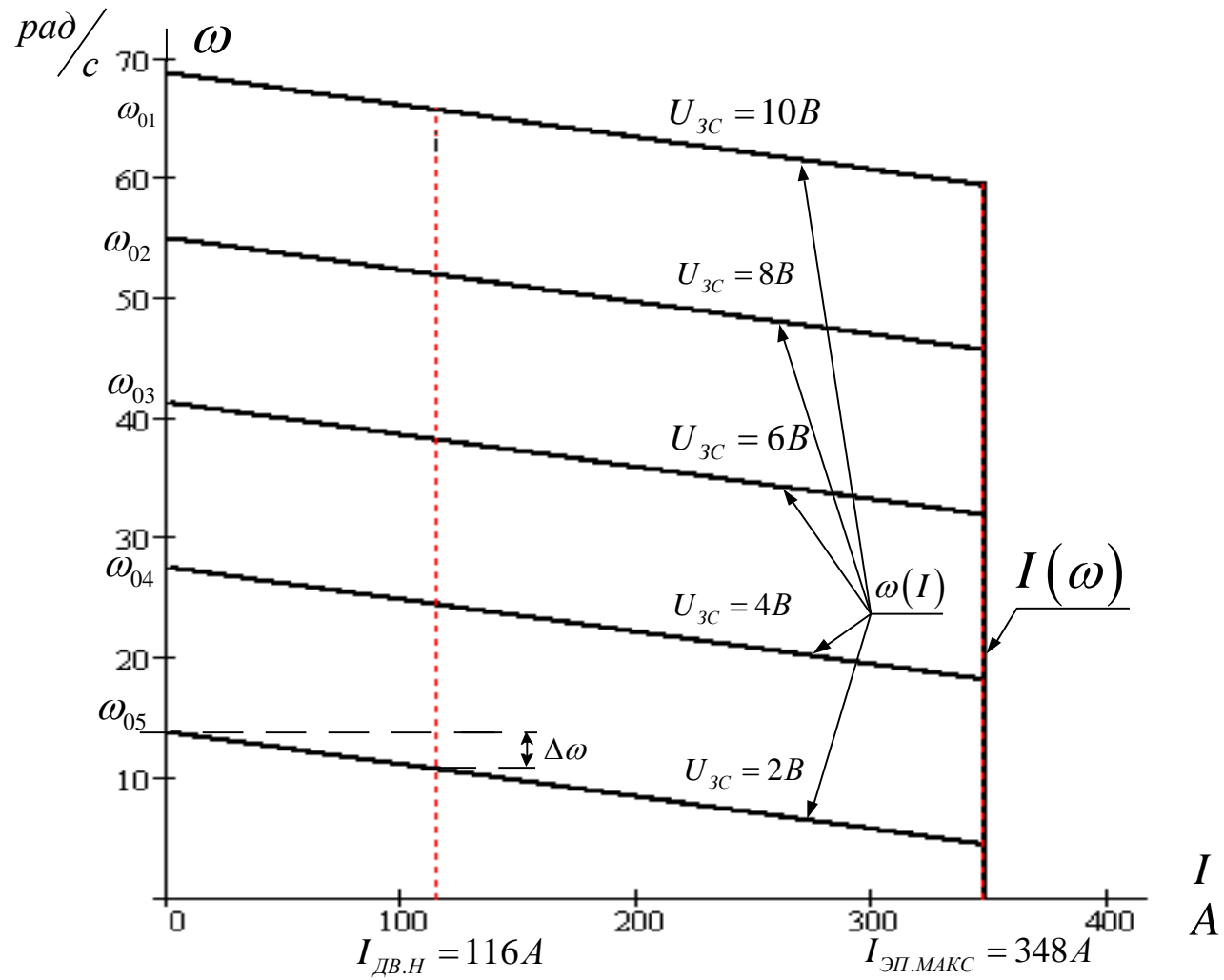
## Структурная схема нелинейной САР РЭП



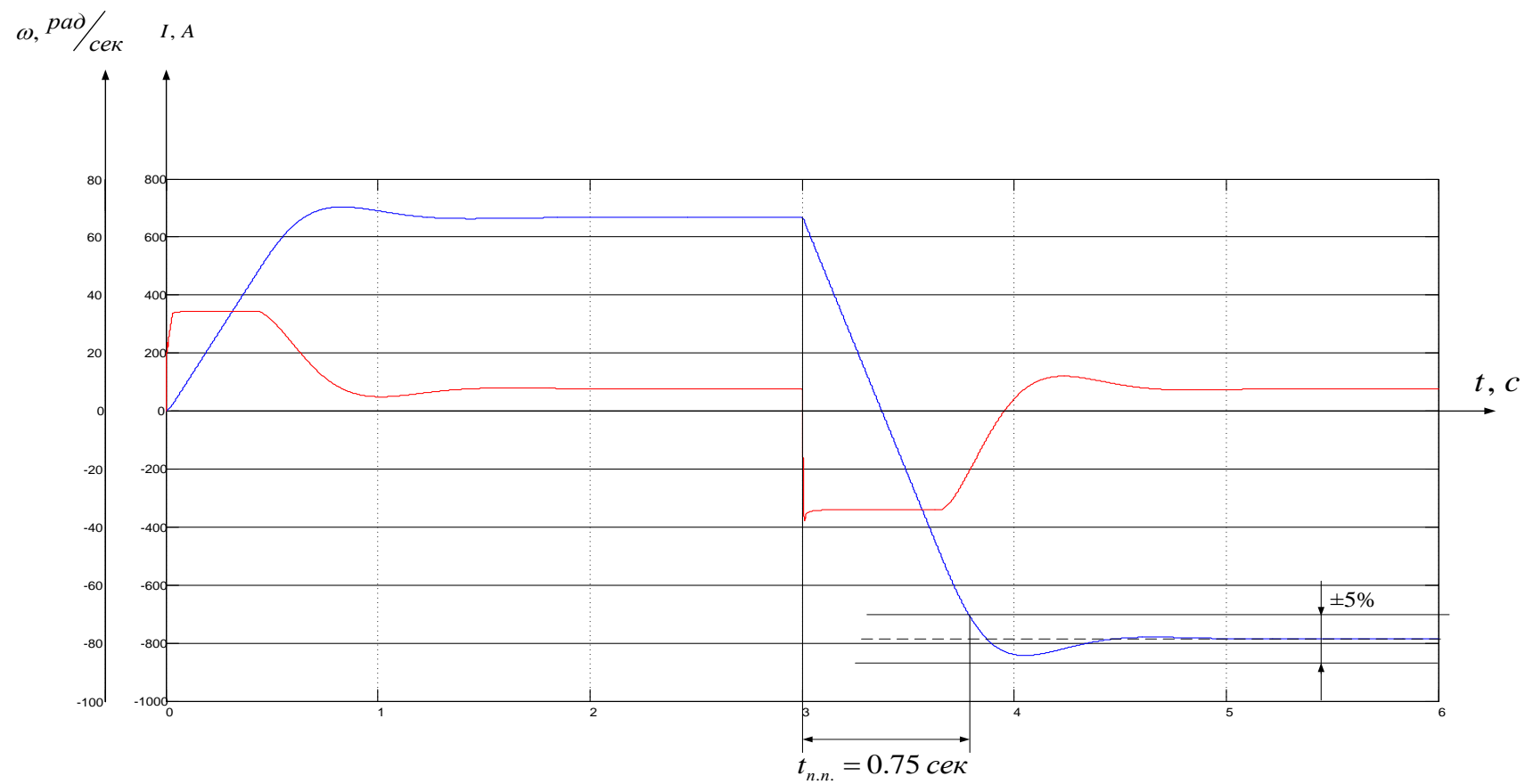
# Схема электрическая принципиальная электропривода подъёма кислородной фурмы



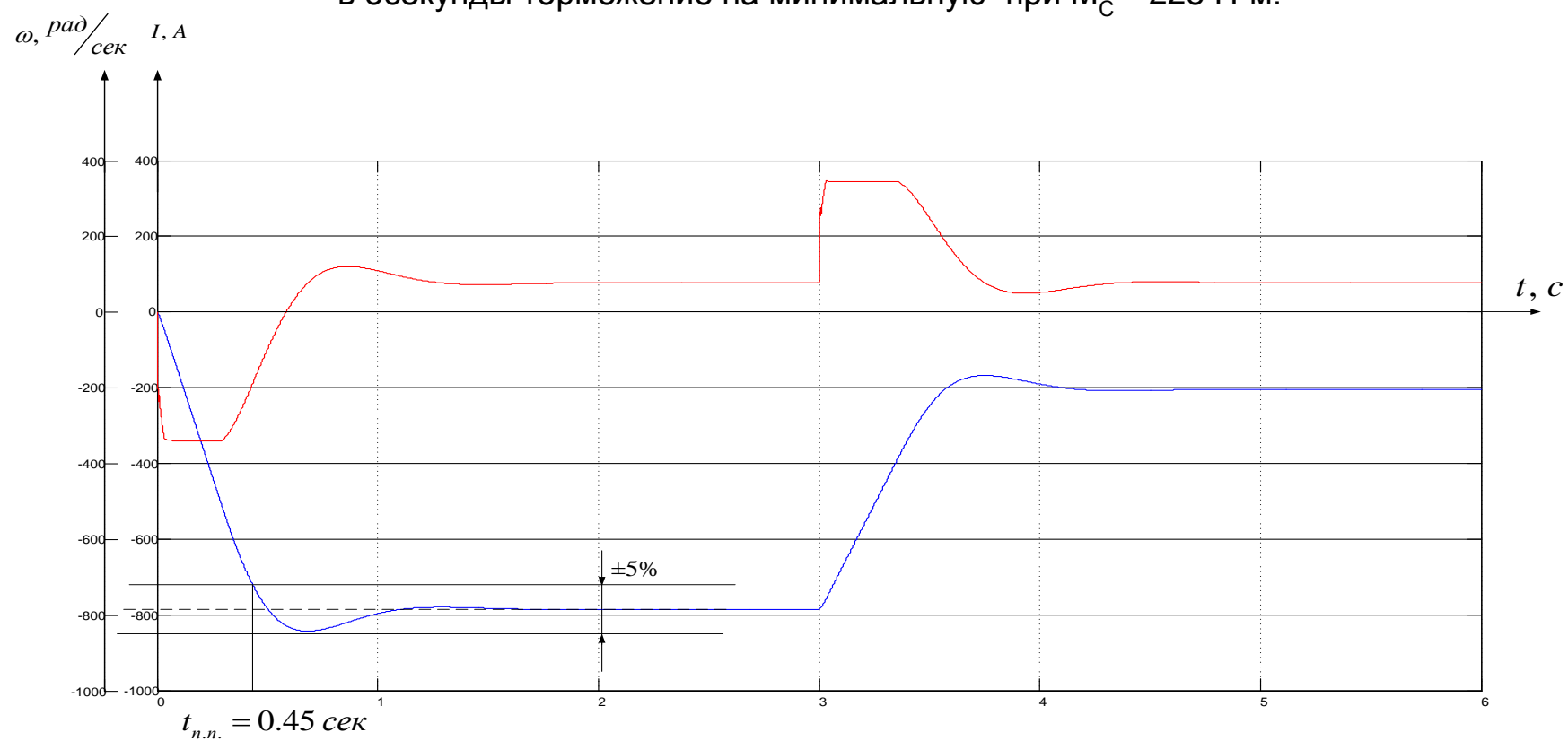
## Статические характеристики электропривода



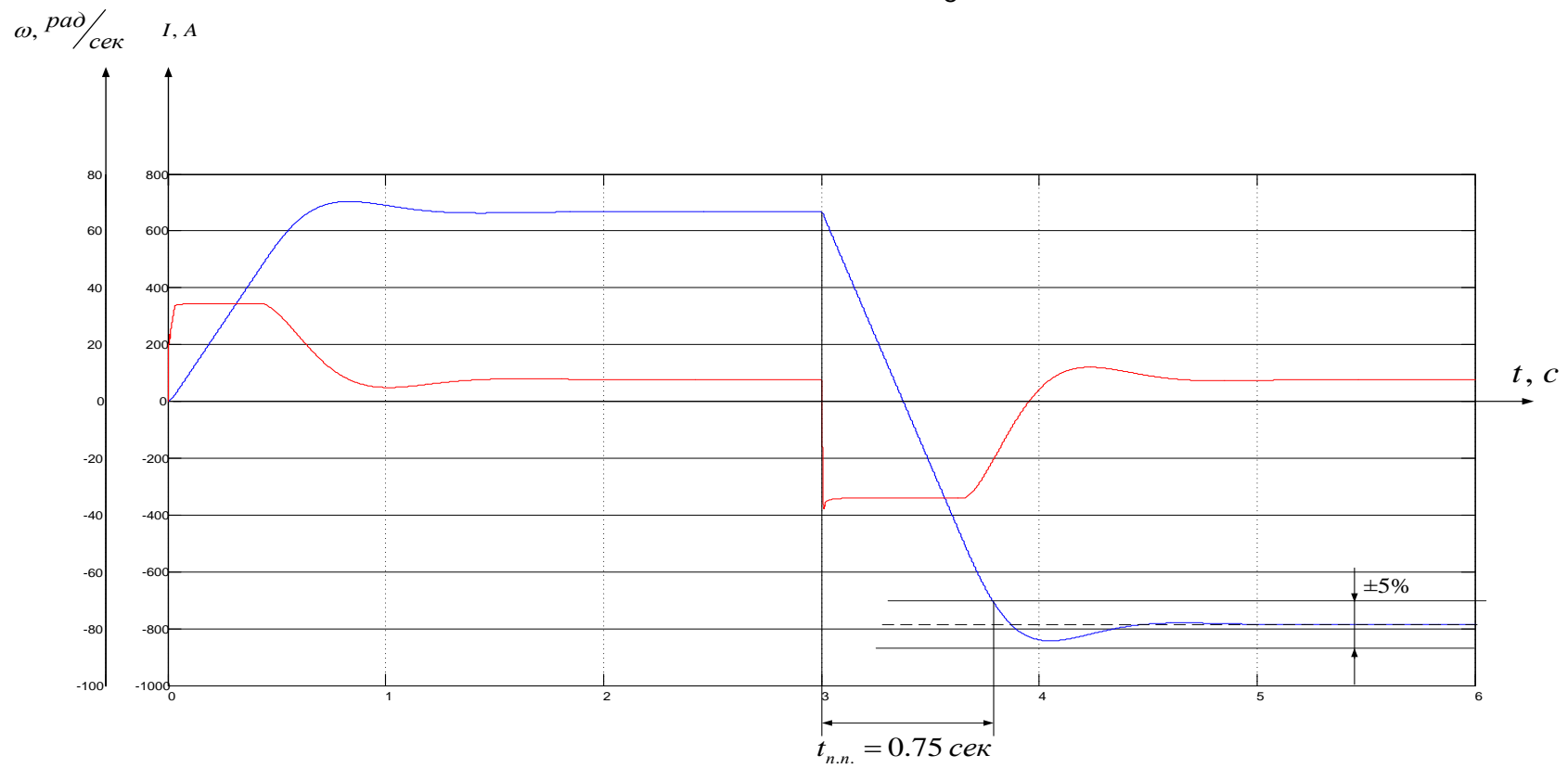
Переходный процесс разгона ЭП реверса фурмы на максимальную,  
в 3секунды реверс при  $M_C = 228 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .



Переходный процесс разгона ЭП опускание фурмы на максимальную, в 3секунды торможение на минимальную при  $M_C = 228 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .



Переходный процесс разгона ЭП реверса фурмы на максимальную,  
в 3секунды реверс при  $M_C = 228 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .





### Календарный план-график

Вид работ	Исполнитель	Продолжительность	Продолжительность выполнения работ											
			Март			Апрель			Май			Июнь		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1. Составление и утверждения ТЗ	Р	1	■											
2. Подбор и изучение материалов по теме технического задания	Р Д	2 13	■	■										
3. Ознакомление с технической документацией	Д	11			■									
4. Расчет технологической части	Д	6				■								
5. Электромагнитный расчет двигателя	Д	5					■							
6. Выполнение графиков, схем	Д	3					■							
7. Проверка выполненных расчетов	Р	1					■							
8. Разработка раздела БЖД	Д	10					■	■						
9. Разработка Экономического раздела	Д	10						■	■					
10. Оформление пояснительной записки	Д	12							■	■				
11. Проверка пояснительной записки	Р	1								■				
12. Устранение недочетов и исправление ошибок	Д	2								■				
13. Окончательная проверка устраненных недочетов и ошибок	Р	1									■			
14. Размещение ВКР в Web-среде университета	Д	1										■		
15. Подготовка к защите технического проекта	Р Д	1 3										■	■	
16. Защита технического проекта	Р Д	1 1											■	

Принятые сокращения и обозначения: Раздел №2 – "Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение"; Раздел №3 – "Социальная ответственность"; ПЗ – пояснительная записка; Р – руководитель темы; Д – дипломник.