

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

---

Институт электронного обучения

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Кафедра электропривода и электрооборудования

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Регулируемый электропривод системы подачи кислорода в конвертер</b>

УДК 62-83-52:621.65

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б2	Баев Антон Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Глазырин А.С.	Кандидат технических наук, доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А. А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король И.С.	Кандидат химических наук, доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дементьев Ю.Н.	Кандидат технических наук, доцент		

Томск – 2017 г.

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

---

Институт электронного обучения

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Кафедра электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_

(Подпись)

(Ф.И.О.)

\_\_\_\_\_

(Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Б1	Баеву Антону Игоревичу

Тема работы:

**Регулируемый электропривод системы подачи кислорода в конвертер**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 3420/с от 16.05.2017г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2017г.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- схема кинематическая;</li> <li>- схема электрическая принципиальная;</li> <li>- схема электрическая функциональная;</li> <li>- схема электрическая структурная;</li> <li>- демонстрационный лист;</li> <li>- технико-экономические показатели;</li> </ul>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович
Социальная ответственность	Король Ирина Степановна
<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>	06.03.2017г.
---	--------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Глазырин Александр Савельевич	Кандидат технических наук		06.03.2017г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Баев Антон Игоревич		06.03.2017г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 141с, 36 рисунка, 29 таблицы, 50 используемых источников и 1 приложение.

В выпускной квалификационной работе был сделан расчёт и выбор оборудования силового для электропривода подъёма фурмы кислородной. Также выполнен расчёт параметров цепи силовой. По результатам расчёта был выбран асинхронный электродвигатель фирмы SIEMENS серии 1LG4310-8AB-Z, мощность эл.двигателя 55 кВт; частотный преобразователь типа MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS исполнения шкафного, мощность преобразователя 75кВт.

Был принят векторный способ управления. Рассчитаны переходные процессы в электроприводе с помощью программ MATLAB.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» сделана оценка результативности проекта, просчитаны уровни возможных рисков, разработан механизм управления.

В разделе "Социальная ответственность" проработаны следующие вопросы: техника безопасности, охрана труда, санитария производственная, охрана окружающей среды и пожарная безопасность, при выполнении работы на электрооборудовании электропривода фурмы кислородной. Выполнен расчёт заземления защитного.

## Содержание

Введение	7
1. ПРОЕКТНО–ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ	9
1.1 Технологический процесс производства стали в конверторе	9
1.2 Технические данные механизма подъёма фурмы	16
1.3 Технологические требования к электроприводу механизма	18
2. РАСЧЕТНО–ПРОЕКТНАЯ ЧАСТЬ	21
2.1 Расчет мощности, выбор приводного электродвигателя.	21
2.2. Расчёт параметров схемы замещения электродвигателя	23
2.3 Естественные механическая и электромеханическая характеристики двигателя	26
2.4 Проверка двигателя по динамической нагрузке.	29
2.5 Механическая система электропривода	30
2.6. Определение области допустимой длительной работы двигателя	34
2.7. Построение требуемых областей длительной и кратковременной работы двигателя	36
2.7.1 Построение областей работы в плоскости механических характеристиках двигателя	36
2.7.2 Построение областей работы электропривода в плоскости электромеханических характеристик двигателя	37
2.8. Проверка выбранного двигателя по нагреву	39
2.9 Преобразователь частоты	41
2.9.1 Выбор преобразователя частоты	41
2.10. Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель	44
2.10.1 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода	46
2.11. Структурная схема линейризованной САУ электропривода	47
2.12. Оптимизация контуров регулирования САУ электропривода	51
2.13. Имитационные исследования регулируемого электропривода фурмы кислородного конвертора.	59
2.14. Расчет переходных процессов	70
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	73
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	76
3.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование	77
3.1.1 Потенциальные потребители результатов проектирования	77
3.1.2 SWOT-анализ	78
3.1.3 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	82
3.2. Планирование и формирование бюджета проектной работы	86
3.2.1 Планирование научно – исследовательских работ	86
3.4. Пусконаладочные работы	93

3.4.1 Состав бригады для проведения ПНР	97
3.5 Расчет расходов при эксплуатации электропривода	102
3.5.1 Расчет стоимости силовой электроэнергии	102
3.5.2 Расчет амортизационных отчислений	103
3.5.3 Заработная плата обслуживающего персонала	103
3.5.4 Общая сумма эксплуатационных расходов	105
3.6 Определение экономической эффективности исследования	105
3.6.1 Интегральный финансовый показатель	105
3.6.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности	106
Вывод	109
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	110
4. Социальная ответственность	113
4.1 Производственная безопасность	113
4.2 Анализ выявленных опасных факторов	113
4.3 Анализ выявленных опасных факторов	119
4.4 Экологическая безопасность	123
4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	124
4.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	128
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	130
THE CONCLUSION	131
Список использованной литературы	132
Приложение А.	136

## Введение

Черная металлургия выражается одной из основных отраслей промышленности. Значительная механическая надёжность и прочность черных металлов, несложность их обработки относительно с другими материалами, элементарность получения и большие природные запасы железной руды определили, самое широкое применение стали и чугуна как бы важнейших материалов в машиностроении, станкостроении, судостроении, электропромышленности, а как и в сельском хозяйстве, транспорте, строительстве и в быту. Из чугуна и стали изготавливают станки, производственные и сельскохозяйственные механизмы, метизы и некоторые фабрикации.

Выпуском стали и чугуна занимаются металлургические комбинаты. В истинное время ни единственный из комбинатов никак не может быть помимо современных электроприводов, неразрывно связанных с подъёмом эффективности технологических процессов.

Большое значение к увеличению производительности имеет автоматизация и электрификация производств. Автоматизация и электрификация приводит к облегчению труда рабочих. Современное машинное устройство или промышленная установка состоит из большого числа разнообразных деталей, отдельных машин и аппаратов, выполняющих неодинаковые функции. Они все безусловно в совокупности совершают работу, направленную в снабжение отдельного производственного процесса.

Современное металлургическое промышленное предприятие является крупным потребителем электрической энергии. В электрификации черной металлургии особое место занимает электрический привод, так как бы обособленное значение непрерывно растущего потребления электроэнергии в двигательную силу достигает в ней вблизи 80%.

Автоматизация технологических процессов, повышая полезное действие производства, увеличивает эффективность оборудования, снижает эксплуатационные издержки, создает экономию электроэнергии, сырья, тем самым, обеспечивает экологическую чистоту и совершенствование качества общей сложности производства.

Новый автоматизированный электропривод - это высоконадёжная и экономичная электромеханическая концепция, способная полностью оснастить автоматизацию любого технологического процесса, достигнуть высокого быстродействия и точности своей работы, повысить состояние труда обслуживающего персонала.

С целью приведения в движение рабочих машин основным двигателем является электродвигатель и, поэтому, основным приводом является электропривод, а в современном уровне техники автоматизированный электропривод (АЭП).

Автоматизированным электроприводом называется электромеханическая концепция, состоящая из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенного к приведению в движение исполнительных органов рабочей механизмы и управления сим движением.

В современном этапе технологического развития значительно возрастает значение автоматизированного электропривода, кой в значительной мере стал определять улучшение в областях техники и технологии, связанных с механическим движением, получаемым путем электромеханического преобразования энергии.

Энергетическую основу производства конверторного составляет привод электрический, промышленный развития степень которого обуславливает полезное действие работы технологического оборудования цехов и главными направленностями развития которого являются увеличение надежности работы и экономичности. Сие достигается через усовершенствования электромоторов, преобразователей, аналоговых и цифровых средств управления, элементов защиты и коммутационной аппаратуры.

# 1. ПРОЕКТНО–ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Технологический процесс производства стали в конвертере

Норма извлечения стали в конвертере заключается в продувке жидкого чугуна кислородом с применением ограниченного числа железного лома. Суть конверторного движения в Участок, что в конвертор, исполняющий с себе футерованный тугоплавким кирпичом грушевидный Сосуд, затопляют порцию чугуна 250 т. Сверху вниз в конвертор спускают трубу-фурму, через которую подают чистый кислород. Рядом продувке кислородом совершается окисление углерода и иных включений, держащихся в чугуне. Увеличивается теплота металла. Расплавляется мощный лом, приплетаемый в конвертор.

Имеется окисление углерода и других включений, Долею железа, совершается направление тепла, что гарантирует повышение температуры расплава и дает возможность плавить сильный дрова вплотную вплоть до 25 % от совокупной народ сплава включаемого в конвертер. Далее выпуска сплава в ковш выполняется окончательная доводка состава сплава вплотную вплоть до установленного.

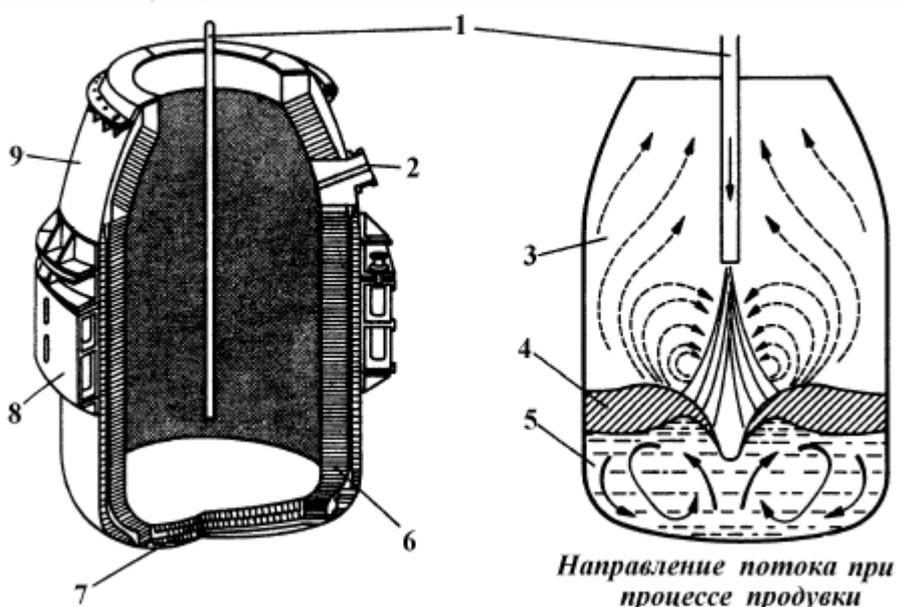


Рисунок 1. Схема кислородного конвертора

1-кислородная фурма; 2-стальная летка; 3-газосборник; 4-шлаковый слой; 5-ванна расплавленного металла; 6-огнеупорная футеровка; 7-днище конвертора; 8-опорное кольцо; 9-шлемная часть

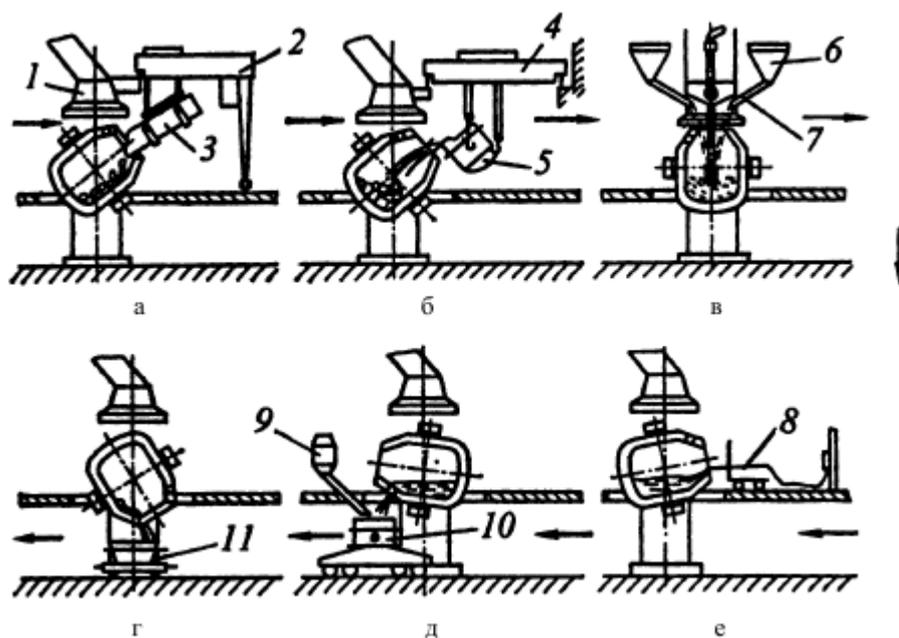


Рисунок 2. Технологическая схема производства стали в конверторах

1-газоотвод; 2-загрузочная машина; 3-совок; 4-мостовой кран; 5-заливочный ковш; 6-бункер; 7-желоб; 8-термопара; 9-бункер для ферросплавов; 10-сталеразливочный ковш; 11-шлаковая чаша

Технология плавки:

а- загрузка лома (2-4мин); б- заливка чугуна (2-3мин); в- продувка (15-18мин)  
 г- отбор проб, замер температуры, ожидание анализа, корректировка (2-9мин);  
 д- выпуск (3-7мин); е- слив шлака (2-3мин)

Шихтование плавки и формирование загрузки. Шихтовку, т.е. состояние расхода в плавку чугуна и лома, шлакообразующих, ферросплавов и иных веществ, в современных цехах прокладывают с чрез Компьютер (АСУ ТП) в основе вводимых в нее сведений о составе чугуна и иных шихтовых веществ, температуре чугуна, параметрах выплавляемой стали и определенных других. Быть данном применение лома, приходящего охладителем плавки, определяют в основе расплаты термического равновесия плавки, повышая или же убавляя использование так, чтобы оснащалась установленная теплота сплава в завершении продувки, а расходы извести - так, чтобы оснащалась необходимая основность шлака (2,7 - 3,6).

Лом занимает в конвертер совками объемом 20 - 110 м<sup>3</sup>; их наполняют ломом в шихтовом отделении цеха и привозят к конверторам рельсовыми телегами. Загрузку ведут чрез проход горловины конвертора, переворачивая совок с чрез полупортальной аппарата, или мостового крана, или напольной

(перемещающейся в согласовании с рабочей площадке цеха) механизмы. Программа примерно загрузки склонен примерно в  $45^\circ$  с для того, чтобы загружаемые кусочки лома скользили в соответствии с футеровке, а совершенно никак не падали б поверх, разваливая ее.

Жидкий чугун заливают в отклоненный конвертор чрез проход горловины с помощью мостового крана из заливочного ковша, какой-либо обычно вмещает всю порцию заливаемого чугуна (согласно 300 т и более). Заливочные ковши с чугуном привозят к конверторам из миксерного либо переливного отделений.

С целью загрузки сыпучих шлакообразующих веществ конвертор снабжен индивидуальной автоматизированной организацией. Из находящихся нужно конвертором растрчиваемых бункеров, в каком месте находится запас веществ, их с При помощи электровибрационных питателей и взвешенных дозеров выступают в промежуточный приёмник, а из него вещества в согласовании с наклонной течке (трубе) ссыпаются в конвертор При помощи горловину. Составлять данном способа гарантирует загрузку сыпучих веществ за пределами приостановки продувки в согласовании с графику, что разработана заранее либо задается оператором изо пульта управления конвертором.

Периоды плавки.

В процесс рафинирования существенное воздействие выказывают место фурмы (расстояние от окончания фурмы вплоть до плоскости ванны) и напор подаваемого воздуха. Обычно уровень фурмы удерживается в границах 1,0 - 3,0 м, напор воздуха 0,9 - 1,4 МПа в зависимости ото выплавляемой марки стали. Приемлемое положение фурмы вводится опытным путем. Примерно этом нужна высокая скорость обезуглероживания и шлакообразования и управление продувки без выбросов.

Плавка в кислородном конвертере включает следующие периоды.

1. Погрузка лома. Металлический лом в числе вплоть до 25 - 27% ото массы железной шихты (рядом употреблении специализированных научно-технических приёмов и в огромном числе) загружают в отклоненный конвертер совками. Объём совков доходит 110 м<sup>3</sup>, его рассчитывают этак, чтобы загрузка оснащалась один - 2-я совками, благодаря тому что являться огромном части увеличивается длительность загрузки и плавки в целом. Погрузка продолжается 2-4 минут. Иногда с целью форсирования шлакообразования в последствии загрузки лома либо пред ней в конвертер вводят часть расходуемой в плавку извести.

2. Залив чугуна. Жидкий чугун оказывается температуре от 1300 вплоть до 1450 °С заливают в наклоненный конвертер один ковшем в прохождение 2-3 минут.

3. Продувка. Далее заливки чугуна конвертер поворачивают в вертикальное рабочее положение, включают свыше фурму и вводят подачу кислорода, включая продувку. Фурму в начале продувки с целью ускорения шлакообразования определяют в повышенном положении (в расстоянии вплотную вплоть до 4,8 м от степени ванны в тихом состоянии), а через 2-4 минут ее отпускают вплотную вплоть до оптимального степени (1,0 - 2,5 м в связи от вместимости конвертора и особенностей технологии)

В процесс 1-ый трети продолжительности продувки 2-я - 3 дозами загружают известь; совместно с 1-ый дозой извести, включаемой в последствии основания продувки, предоставляют плавленый минерал и изредка прочие флюсы, железную руду, скатыши, минерал и др. Расходование извести намереваются так, чтобы шлак выходил с основностью с 2,7 вплоть до 3,6; как правило расходование составляет 6 - 8% с массы стали.

Продувка вплоть до извлечения данного содержания углерода в металле продолжается 12-18 минут; она для того значительнее, чем меньше установленная в том либо другом цехе мощность подачи воздуха в границах 2,5 - 5 м<sup>3</sup>/(т минут).

Грамотно сформированный регламент ведения продувки гарантирует отличную циркуляцию сплава и его смешивание с шлаком. Заключительное в собственную очередность способствует повышению быстроты окисления содержащихся в чугуне: кремния, углерода, марганца, фосфора. В процесс продувки проходят последующие главные металлургические процессы:

а) окисание образующих жидкого металла вдуваемым кислородом, окисляется избыточный углерод, а кроме того весь элемент, примерно 70% марганца и немножко (1 - 2%) железа. Окисание примесей в конвертере возможно осуществляться напрямую газовидным кислородом либо кислородом, растворенным в сплаве и шлаке.

В этапы продувки с высокой быстротой подачи кислорода процедура окисления сводится перенесением примесей с объема ванны к поверхности разделения. Совершается полное окисание поверхностных пластов сплава. Потому как примеси никак не успевают поступать к области взаимодействия, в таком случае окисление сплава совершается с образованием в основном оксидов железа, таким (образом равно как сущность железа в металлической ванне вблизи к 100 %. Окисление сплава осуществляется через шлаковую фазу.

Вначале окисляется элемент  $2\text{Fe} + \text{O}_2 = 2(\text{FeO})$ . Возникающий FeO в следствии циркулирования переносится в шлак. Процедура обогащения сплава кислородом допускается сделать запись так:  $(\text{FeO}) = \text{Fe} + [\text{O}]$ . Растворенный в сплаве воздух используется в окисление включений чугуна. Содержащийся в шлаке FeO используется в раскисление примесей в рубеже железо-шлак.

В зонах продувки в каком месте скорости течения газа-окислителя (последняя часть потоков пузыри) ничтожны, возможно осуществляться непосредственное окисание углерода и иных включений. Окисание углерода в конверторном процессе обладает существенное роль, таким (образом равно как оказывает большое влияние в тепловой порядок плавки, процедура шлакообразования и рафинирования сплава с фосфора, серы, газов и неметаллических подсоединений.

Отличительной характерной чертой конверторного производства представляется неровность окисления углерода равно как согласно объему ванны таким (образом и в процессе продувки. С максимальной интен-сивностью окисляется элемент надо поверхностью внедряющегося газового факела. В основании продувки темп окисления не слишком велика (0,1 - 0,15 %/мин). Данное поясняется относительно невысокой температурой ванны и активным окислением кремния и марганца.

Затем, рядом снижении в сплаве кремния и марганца и увеличении температуры, область кипения растет и расширяется в целый объем ванны темп окисления уг-лерода увеличивается. Наибольшая быстрота окисления углерода добивается в середине плавки, если жар сплава является 1400 – 1450 °С. К окончанию продувки темп окисле-ния углерода снова уменьшается из-за снижения углерода в сплаве. Наиболее размеренное окисание углерода и газовыделение добиваются использованием многосопловых фурм. Газо-образные продукты питания окисления углерода (С и немножко CO<sub>2</sub>) удаляются с конвертора При помощи горловину (отступающие конверторные газы), прочие оксиды передаются в шлак;

б) шлакообразование. Значимым фактором в технологические процессы конверторного движения представляется шлакообразование. Шлакообразование в существенной критерию устанавливает процесс вытаскивания фос-фора, серенькой и иных включений, оказывает большое влияние в свойство выплавляемой начали, вывод годного кон-вертора и устойчивость его футеровки. Главная задача данной периоду трусика состоит в стремительном создании шлака с нужными качествами (основностью, жидкоподвижностью и т.д.) Трудность исполнения данной вопросы сопряжена с высочайшей быстротой движения (продолжительность про-дувки 14-24

минутки). Развитие шлака нужной основности и с установленными свойствами находится в зависимости с скорости разведения извести в шлаке.

С 1-ый сек. продувки приступает развиваться в главном шлак с продуктов окисления образующих сплава ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) и растворяющейся в их извести ( $\text{CaO}$ ), а кроме того с оксидов, вписываемых миксерным шлаком, коррозией железного лома и растворяющейся футеровкой. Основность шлака согласно быстро продувки увеличивается согласно критерию растворения извести, добиваясь 2,7 - 3,6.

В процедура шлакообразования и окисления включений оказывает большое влияние углубленность попадания кислородной струи в железо, что находится в зависимости с давления и расхода воздуха подаваемого При помощи фурму. С множественных изучений установлено что же, меняя глубину вторжения воздуха допускается регулировать распределением воздуха между шлаком и сплавом, Таким (образом увеличение глубины вторжения (увеличение давления воздуха и снижение дистанции среди торцом фурмы и сплавом) содействует повышению числа воздуха усваемого металлом. Данное приводит к ускорению движения окисления включений. Совместно с для того убавляется поступление воздуха в граншлак, что же негативно оказывает большое влияние в распускание извести, затрудняя и шлакообразование. Снижение глубины попадания содействует повышению плоскости контакта воздуха с шлаком, улучшению обстоятельств шлакообразования, однако понижает темп окисления углерода и иных компонентов;

в) дефосфоризация и десульфирование. С 1-ый мин. продувки в то же время с окислением углерода наступает процедура дефосфации. В возникающий главный граншлак удаляется Элемент содержащихся в шихте вредоносных включений - огромная часть (вплоть до 90%) фосфора и немного (вплоть до 30%) серы. Особо активное устранение фосфора совершается в 1-ый середине продувки рядом по сравнению невысокой температуре металла, высочайшем содержании  $\text{FeO}$ , если основность шлака и его число моментально увеличиваются. Конверторный процедура дает возможность получить сталь с вхождением фосфора меньше 0,02 %.

Обстоятельства удаления серы меньше благоприятны, таким (образом равно как шлак включает существенное количество  $\text{FeO}$ , а большая основность добивается только в 2-ой половине продувки. Степень десульфации при конверторном процессе пребывает в границах 30 - 50 %. Содержание серы в отделанной сделались, является 0,02 - 0,04 %;

г) нагревание сплава вплоть до требуемой пред выпуском температуры (1600 - 1660°C) из-за расчет тепла, выделяющегося при протекании экзотермичных реакций окисления образующих жидкого сплава;

д) расплавление железного лома из-за расчет тепла экзотермичных взаимодействий окисления; как правило оно завершается в процесс 1-ый 2/3 длительности продувки;

е) сопутствующий и ненужный процесс улетучивания железа в подфурменной области с-из-за высочайших в этом месте температур (2000 - 2600°C) и убиение окисляющихся четов отходящими с конвертора газа, что же порождает издержки железка и требует очищения конверторных газов с пыли.

4. Контроль проб, измерение температуры, (ожидания) разбора, корректирование. Продувку необходимо завершить в этот период, если углерод достаточно окислен вплоть до необходимого в выплавляемой марке начала нахождения, к данному времени железо обязан являться нагрет вплоть до вызываемой температуры, а фосфор и сера уничтожены вплоть до возможных с целью данной марки стали пределов.

Период завершения продувки, приблизительно соответственный спрашиваемому содержанию углерода в сплаве, устанавливаются согласно числу израсходованного воздуха, согласно длительности продувки, согласно свидетельствам ПЭВМ. Закончив продувку, с конвертора выводят фурму, а конвертор крутят в горизонтальное положение. Через горловину конвертора отбирают проверку сплава, отправляя ее в исследование, и измеряют жар термопарой погружения. В случае если согласно итогам анализа и замера температуры характеристики сплава отвечают установленным, плавку отпускают. В случае несоответствия прокладывают исправляющие действия: при избыточном содержании углерода прокладывают временную додувку с целью его окисления; рядом недостающей температуре создают додувку рядом повышенном состоянии фурмы, что же вызывает окисление железка с выделением тепла, нагревающего ванну, рядом чрезмерно высочайшей температуре в конвертер включают охладители - легкий лом, руду, известняк и т.п., производя самообладание после этого их ввода в процесс 3-4 минут. Согласно завершению корректировочных операций плавку отпускают.

В выбор и исследование испытаний затрачивается 2-3 минут; корректировочные действия вызывают вспомогательные простои конвертора и следовательно нежелательны.

5. Производство. Железо отпускают в сталеразливный ковш через летку без шлака; сие добивается вследствие этому, что же в склоненном конверторе у летки размещается наиболее тяжелый железко, затрудняющий попаданию в ее пребывающего поверх шлака. Такого рода производство ликвидирует смешивание сплава с шлаком в ковше и превращение с шлака в железко фосфора и FeO. Производство продолжается 3-7 минут. В ходе выпуска в ковш с

бункеров включают ферросплавы с целью раскисления и легирования. Рядом данным в прежних цехах занимает всегда ферросплавы таким (образом, Для того чтобы осуществлялось самораскисление и приобретение в начале необходимого нахождения вводимых компонентов (Mn и Si, а в легированных сталях и иных компонентов) В завершении выпуска в ковш оказывается немножко (1-2 %) шлака, что защищает железо с стремительного охлаждения.

В новых цехах, в каком месте прокладывают внепечную обработку, в ковш вводят сплавы, содержащие слабоокисляющиеся составляющие (Mn, Cr и порой Si), в последствии что ковш транспортируют в конструкцию внепечной обработки, в каком месте в ходе усредняющей продувку аргоном включают элементы, владеющие большим сродством к кислороду (Si, Al, Ti, Ca и др.), что же понижает их отход. В данном случае в период слива с конвертора минувших порций сплава создают "отсечку" шлака, мешая попаданию в ковш конверторного шлака, включающего фосфор, который имеет возможность переводиться в железо, и оксиды железа, что станут окислять включаемые в металл, в ходе внепечной обработки, составляющие. В ковше с целью предохранения сплава от охлаждения и окисления формируют шлаковый слой, загружая, к примеру, гранулированный доменный граншлак, минерал, известь с плавиковым шпатом.

6. Отлив шлака. Согласно набиранию установленного нахождения углерода дутье выключают, фурму вздымают, конвертер нагибают и железо через летку (с целью снижения размешивания сплава с шлаком) изливают в ковш. Отлив шлака в шлаковый ковш (чашечку, установленную в самодвижущийся шлаковозе) водят чрез горловину, нагибая конвертер в противоположную с летки сторонку (отлив чрез летку недопустим, таким (образом равно как шлак достаточно разводить футеровку летки). Сливание шлака продолжается 2-3 минут.

Затем совершается доработка сплава в аппарате внепечной обработки стали, в последствии что ковш с сплавом подается в разливной станция, в каком месте с поддержкой разливательного крана сплав разливается в изложницы. Самораскисление и легирование сплава совершают в ковше. Всеобщая продолжительность плавки в 100 - 350 тонных конверторах является 40 минут - 50 минут.

## **1.2 Технические данные механизма подъема фурмы**

Механизм для того подачи воздуха поверху заключается с 2-ух фурм (1 рабочая, 1 запасная) устройств для подъема и передвижения рабочей фурмы, помещенных в специализированных площадках над конвертером.

Охлаждение фурмы выполняется водою. Жар отходящей с фурмы вода никак не должна быть выше 400С. Фурму определяют в вертикальном положении, точно согласно оси конвертера. Подъем и спуск изготовляют рядом поддержки приспособления объединенного с устройством вращения конвертера. Преобразователь невозможно склонить, пока что с него никак не вытащена фурма. Структура фурмы делает огромное воздействие в труд конвертера и устанавливает его эффективность, устойчивость футеровки, выход конвертера из эксплуатации. Тех. сведения механизма подъема фурмы объединены в таблицу 1.

Таблица 1 Технические данные механизма подъёма фурмы.

Наименование параметра	Буквенное обозначение	Единицы измерения	Величина
1. Передаточное число редуктора	$i_{ред}$		20,49
2. КПД редуктора	$\eta_{ред}$		0,88
3. КПД подшипников качения	$\eta_{шк}$		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 фурмы	$S_{ф}$	м	17,25
8. Длина фурмы	$L_{ф}$	м	23,33
9. Скорость перемещения максимальная	$V_{макс}$	м/с	0,734
10. Скорость перемещения минимальная	$V_{мин}$	м/с	0,2
11. Максимальное ускорение	$a_{макс}$	м/с <sup>2</sup>	1,2
12. Диаметр приводной звездочки	$D_{пз}$	м	0,44
13. Масса приводной звездочки	$m_{пз}$	кг	45
14. Полная масса фурмы	$m_{ф}$	кг	4445
15. Масса противовеса	$m_{пр}$	кг	8000
16. Диаметр тормозного шкива	$D_{тш}$	м	0,3
17. Масса тормозного шкива	$m_{тш}$	м	14,5
18. Диаметр муфты зубчатой	$D_{мз}$	м	0,3
19. Масса муфты зубчатой	$m_{мз}$	м	30
20. Максимальная угловая скорость	$\omega_{пр.макс}$	рад/с	66,43
21. Минимальная угловая скорость	$\omega_{пр.мин}$	рад/с	14,84
22. Максимальный момент муфты тормозной	$GD^2_{MT}$	Н*м	0,47

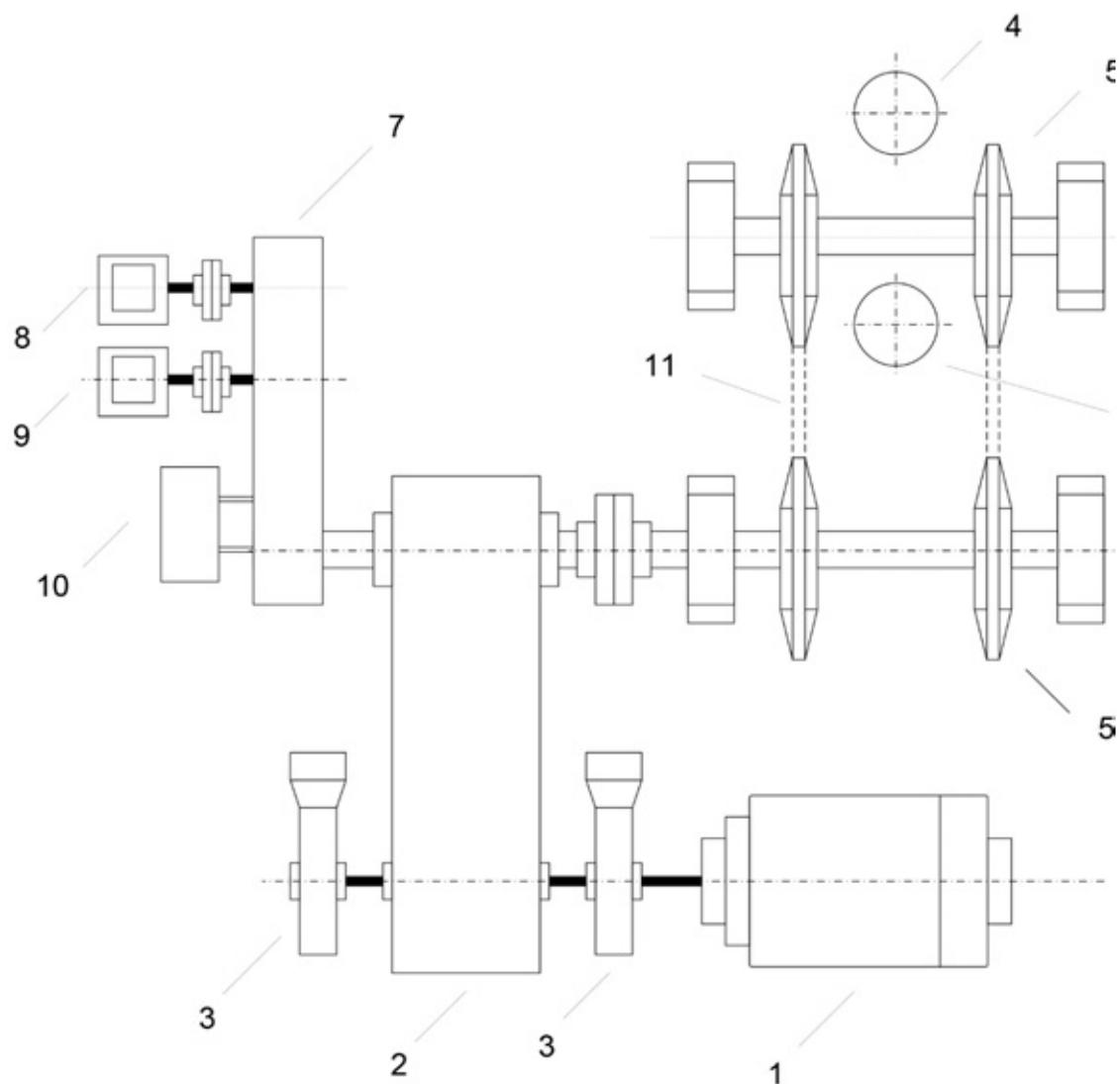


Рисунок 1 Кинематическая схема механизма подъёма фурмы

1 - Двигатель; 2 - Главный редуктор; 3 – Тормоз; 4 – Фурма; 5 – Звездочка приводная; 6 – Контргруз; 7 - Понижающий редуктор; 8 – Концевой выключатель; 9 - Резервный концевой выключатель; 10 – Энкодер; 11 – Цепь приводная.

### 1.3 Технологические требования к электроприводу механизма

Основными требованиями технологического процесса к электроприводу фурмы являются:

- 1) диапазон регулирования скорости опускания и подъема не менее  $D=10:1$ ;
- 2) высокая точность останова фурмы при подаче ее на продувку;
- 3) плавный пуск и торможение (ускорение не выше  $1,2 \text{ м/с}^2$ );
- 4) высокие температурные требования;
- 5) 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, системы привод-двигатель с реверсивным приводом.

Предусмотрены следующие режимы управления приводом вертикального перемещения фурм:

1. Автоматический
2. Ручной
3. Наладка
4. Аварийный подъем 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 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), 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.

## 2. РАСЧЕТНО-ПРОЕКТНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Расчет мощности, выбор приводного электродвигателя.

Технологическая операция продувки осуществляется в следующей последовательности: перед началом продувки фурма опускается в конвертер со скоростью 0,734 м/с, а за 3 метра до условного зеркала металла скорость снижается до 0,2 м/с и поддерживается в этом пределе до полной остановки. После окончания продувки фурма поднимается вверх в исходное положение со скоростью 0,734 м/с.

Правильный выбор мощности электродвигателя имеет большое значение, так как этим обеспечиваются минимальные затраты и потери при эксплуатации, высокая производительность и надежность работы механизма. Занижение мощности электродвигателя вызывает его перегрев при работе, преждевременный выход из строя, повышенную стоимость ремонта. Завышение мощности ухудшает энергетические показатели электродвигателя. При этом снижается коэффициент полезного действия, увеличиваются капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Выбор мощности двигателя должен быть произведен в полном соответствии с нагрузкой на валу и режимом работы.

Произведем расчет мощности механизма и осуществим по имеющимся данным расчет мощности и выбор электродвигателя:

$$P \geq \frac{M_c \cdot \omega_{\text{дв н}}}{0,5 + \frac{\omega_{\text{ЭП мин}}}{\omega_{\text{дв н}}}} = \frac{477 \cdot 77,8}{0,5 + \frac{14,84}{77,8}} = 53240 \text{ Вт}$$

где:  $F = (m_{\text{ПР}} - m_{\text{Ф}}) \cdot g = (8000 - 4445) \cdot 9,8 = 34839 \text{ Н}$  – сила тяжести поднимаемого груза;

$$\eta = \eta_{\text{РЕД}} \cdot \eta_{\text{ПК}}^2 \cdot \eta_{\text{ЦП}}^2 \cdot \eta_{\text{МЗ}} = 0,88 \cdot 0,99^2 \cdot 0,97^2 \cdot 0,99 = 0,8034 \text{ – КПД механизма}$$

Определим приводной момент сопротивления:

$$M_c = \frac{F}{\eta} \cdot r = \frac{34839}{0,8034} \cdot 0,011 = 477 \text{ Нм,}$$

где  $r = \frac{V_{\text{Ф}}}{w_{\text{Ф}}} = \frac{0,734}{66,43} = 0,011 \text{ м}$  – радиус приведения.

В качестве приводного электродвигателя выбираем асинхронный электродвигатель фирмы SIEMENS серии 1LG4310-8AB-Z. Это серия крановых двигателей предназначена для широкого регулирования скорости с

использованием преобразователей частоты. Технические данные двигателя приведены в таблице 2.

Таблица 2 Технические данные двигателя 1LG4310-8AB-Z

$P_H$ , кВт	$n_0$ , об/мин	$U_{лн}$ , В	При номинальной нагрузке			
			$n_H$ , об/мин	$I_{лн}$ , А	$\eta_H$ , %	$\cos\varphi_H$
55	750	380	740	102	94,3	0.82
$I_P/I_H$	$J$ , кг·м <sup>2</sup>	$\frac{M_P}{M_H}$	$\frac{M_{макс}}{M_H}$	$M_{двн}$ , Н·м		
6,3	2,48	2.5	2.9	710		

### Определение дополнительных параметров двигателя

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.1415 \cdot 750}{30} = 78.53 \text{ рад/с.}$$

Номинальная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} = \frac{3.1415 \cdot 740}{30} = 77.49 \text{ рад/с.}$$

Номинальное скольжение двигателя

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{750 - 740}{750} = 0,013$$

Номинальное фазное напряжение и фазный ток обмотки статора

$$U_{1\phi H} = \frac{U_{лн}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В,}$$

$$I_{1\phi H} = I_{лн} = 102 \text{ А}$$

– при схеме соединения обмоток Y.

Максимальный пусковой ток двигателя

$$I_{1макс} = 6,3 \cdot I_{1\phi H} = 6.3 \cdot 102 = 642,6 \text{ А.}$$

Максимальный (критический) момент на валу двигателя на естественной характеристике

$$M_k = 2.9 \cdot M_{двн} = 2.9 \cdot 710 = 2059 \text{ Н·м.}$$

Пусковой момент на валу двигателя

$$M_{пуск} = 2.5 \cdot M_{двн} = 2.5 \cdot 710 = 1775 \text{ Н·м.}$$

## 2.2. Расчёт параметров схемы замещения электродвигателя

Производитель выбранных приводных двигателей серии 1LG4310-8AB-Z не указывает параметры схемы замещения, поэтому предварительно необходимо произвести расчет данных параметров.

### Расчёт параметров схемы замещения в номинальном режиме

Расчёт параметров ведем для Т-образной схемы замещения электродвигателя [1]. Схема замещения приведена на рисунке 2.

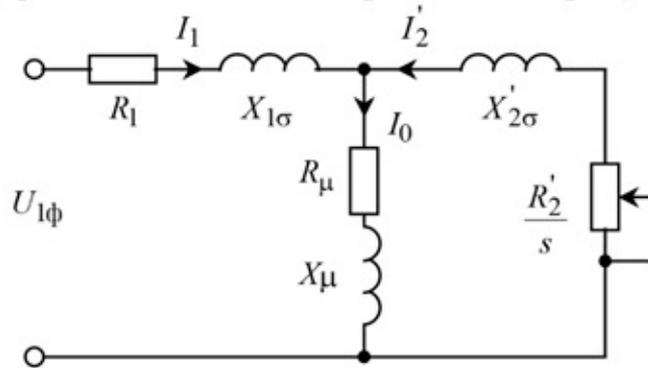


Рисунок 2 Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

Приведённое к обмотке статора сопротивление цепи ротора в номинальном режиме

$$R'_{2н} = \frac{3 \cdot U_{1\phiн}^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot m_k \cdot P_n \cdot c_1^2 \cdot \left( \beta + \frac{1}{s_k} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,013)}{2 \cdot 2,9 \cdot 55000 \cdot 1,018^2 \cdot \left( 1 + \frac{1}{0,079} \right)} = 0,032 \text{ Ом,}$$

Где  $m_k = 2,9$  – кратность максимального момента;

$$c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1н}} = 1 + \frac{24,112}{2 \cdot 6,3 \cdot 107,769} = 1,018$$

– коэффициент, характеризующий соотношение  $\frac{X_\mu + X_{1\sigma}}{X_\mu}$ ;

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1p^*}^2 - \left[ \frac{p^* \cdot (1 - s_n)}{1 - p^* \cdot s_n} \cdot I_{1н} \right]^2}{1 - \left[ \frac{p^* \cdot (1 - s_n)}{1 - p^* \cdot s_n} \right]^2}} = \sqrt{\frac{82,138^2 - \left[ \frac{0,75 \cdot (1 - 0,013)}{1 - 0,75 \cdot 0,013} \cdot 107,769 \right]^2}{1 - \left[ \frac{0,75 \cdot (1 - 0,013)}{1 - 0,75 \cdot 0,013} \right]^2}} =$$

$$= 24,112 \text{ А}$$

– ток холостого хода;

$$I_{1p^*} = \frac{P_{\text{н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} = \frac{5,15 \cdot 1000}{3 \cdot 220 \cdot 0,822 \cdot 0,926} = 82,138 \text{ А}$$

– ток обмотки статора при частичной нагрузке двигателя  $p^* = 0.75$ ;

$$s_k = s_n \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} =$$

$$= 0,013 \cdot \frac{2,9 + \sqrt{2,9^2 - [1 - 2 \cdot 0,013 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,013 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1)} = 0,079$$

– критическое скольжение двигателя;

$\beta = 1$  – коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора выбирается из диапазона (0,6 ÷ 2,5).

Активное сопротивление обмотки статора в номинальном режиме работы

$$R_1 = R_2' \cdot \beta \cdot c_1 = 0,032 \cdot 1 \cdot 1,018 = 0,032 \text{ Ом}.$$

Сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме работы

$$X_{\text{кн}} = R_2' \cdot \gamma \cdot c_1 = 0,032 \cdot 12,58 \cdot 1,018 = 0,408 \text{ Ом},$$

где

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k}\right)^2 - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,07}\right)^2 - 1} = 12,58$$

– коэффициент, характеризующий соотношение индуктивного сопротивления короткого замыкания и приведённого активного сопротивления ротора.

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора в номинальном режиме работы

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 0,408 = 0,171 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме работы

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0,171}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 5,45 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}.$$

Приведённое к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме работы

$$X'_{2\sigma} = 0,58 \cdot \frac{X_{\text{кн}}}{c_1} = 0,58 \cdot \frac{0,408}{1,012} = 0,232 \text{ Ом}.$$

Приведённая к обмотке статора индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоками рассеяния, в номинальном режиме работы

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0,232}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 7,39 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}.$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{206,949}{24,112} = 8,583 \text{ Ом},$$

где

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} - I_{1\text{н}} \cdot R_1)^2 + (U_{1\text{фн}} \cdot \sin \varphi_{\text{н}} - I_{1\text{н}} \cdot X_{1\sigma})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,82 - 107,769 \cdot 0,032)^2 + (220 \cdot 0,572 - 107,769 \cdot 0,171)^2} = 206,949 \text{ В}$$

– ЭДС ветви намагничивания, наведённая потоком воздушного зазора, в номинальном режиме;

$$\sin \varphi_{\text{н}} = \sqrt{1 - (\cos \varphi_{\text{н}})^2} = \sqrt{1 - 0,82^2} = 0,572.$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

$$L_m = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{8,583}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 27,33 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Таблица 3 Дополнительные параметры

Наименование параметра	Буквенное обозначение	Величина	Единицы измерения
Число фаз АД	$m_1$	3	
Ток пусковой	$I_{\text{п}}$	642,6	А
Момент пусковой	$M_{\text{п}}$	1775	Нм
Ток Х.Х. АД	$I_0$	50,8	А
Скольжение номинальное	$S_{\text{н}}$	0,013	
Скольжение критическое	$S_{\text{к}}$	0,079	
Сопротивление обмотки статора	$R_1$	0,032	Ом
Сопротивление обмотки ротора приведенное к обмотке статора	$R'_1$	0,032	Ом

Продолжение таблицы 3 Дополнительные параметры

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы статорной обмотки	$X_{1\sigma}$	0,171	Ом
Индуктивное сопротивление рассеяния фазы роторной обмотки	$X'_{1\sigma}$	0,232	Ом
Индуктивное сопротивление короткого замыкания	$X_{кн}$	0,408	Ом
Индуктивное сопротивления контура намагничивания	$X_{\mu}$	8,583	Ом
Синхронная угловая скорость	$\omega_0$	78,53	рад/с
Номинальная угловая скорость	$\omega_n$	77,49	рад/с
Индуктивность обмотки статора	$L_{1\sigma}$	$5,45 \cdot 10^{-4}$	Гн
Индуктивность обмотки ротора	$L'_{1\sigma}$	$7,39 \cdot 10^{-4}$	Гн
Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре	$L_m$	$27,33 \cdot 10^{-3}$	Гн

### 2.3 Естественные механическая и электромеханическая характеристики двигателя

Зная значения параметров схемы замещения и их зависимость от скольжения, можно с достаточной точностью рассчитать и построить механическую и электромеханическую характеристики двигателя.

Механическая характеристика двигателя представляет собой зависимость скорости двигателя от электромагнитного момента на валу двигателя  $\omega(M)$ . Однако расчетные значения момента двигателя соответствуют электромагнитному моменту. Поэтому расчетные механические характеристики двигателя представляют собой зависимость скорости вращения от электромагнитного момента  $\omega(M_{эм})$ . Электромеханическая характеристика двигателя представляет собой зависимость скорости  $I_1(\omega)$  или скольжения  $I_1(s)$

от величины тока статора. Естественные характеристики строятся при частоте инвертора  $f_{\text{и}} = f_{1\text{н}} = 50$  Гц.

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'(s)}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[ \left[ X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s) \right]^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'(s)}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'(s)}{s \cdot X_{\mu\text{н}}} \right)^2 \right]};$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s).$$

Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя  $I_1(\omega)$  с учетом эффекта вытеснения тока ротора и насыщения цепей потоков рассеяния рассчитывается по выражениям:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2(s) + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0(s) \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)};$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s), \quad \text{где}$$

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\text{фн}}}{\pm \sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'(s)}{s} \right)^2 + \left[ X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s) \right]^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'(s)}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2}};$$

$$I_0(s) = \frac{U_{1\text{фн}}}{\sqrt{R_1^2 + \left( X_{1\sigma}(s) + X_{\mu} \right)^2}};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s)}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'(s)}{s} \right)^2 + \left[ X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s) \right]^2}}.$$

Используя приложение MathCAD 14, рассчитываются и строятся естественные характеристики двигателя  $\omega(M_{\text{эм}})$  и  $I_1(\omega)$ . В процессе расчета механической характеристики находятся расчетные значения критического скольжения  $s_{\text{к}}$ , электромагнитного номинального  $M_{\text{эмн}} = M_{\text{эм}}(s_{\text{н}})$ , критического  $M_{\text{эмк}}(s_{\text{к}}) = M_{\text{эмк}}$  моментов, соответствующие расчетной естественной механической характеристике двигателя. При расчете электромеханической характеристики находятся расчетные значения тока холостого хода  $I_0$ , номинального  $I_{\text{н}} = I_{1\text{фн}}$  тока двигателя.

Естественные расчетные механическая и электромеханическая характеристики двигателя приведены, соответственно, на рисунках 3 и 4.

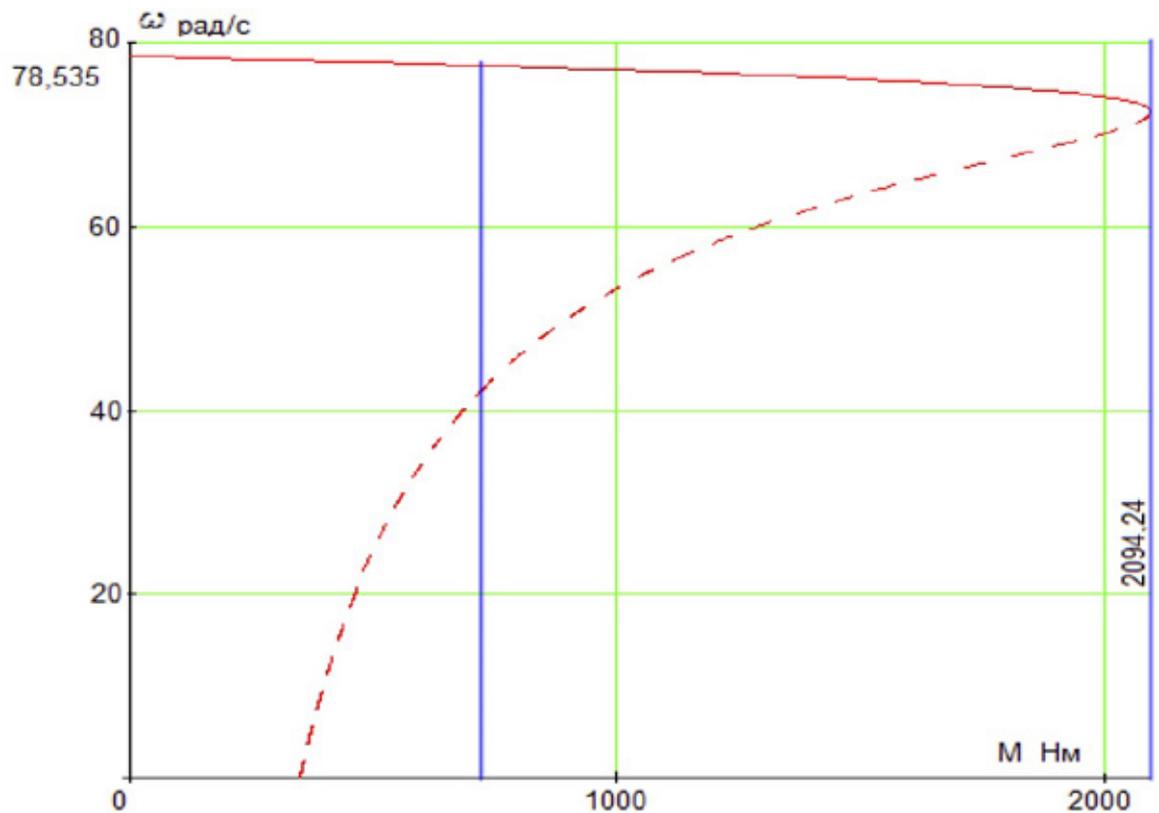


Рисунок 3. Естественная механическая характеристика АД

По результатам расчета механической характеристики найдены значения электромагнитных моментов двигателя: номинального  $M_{эмн} = 716,23 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ; критического  $M_{эмк} = 2094 \text{ Н} \cdot \text{м}$  при угловой скорости  $\omega_k = 73,15 \text{ рад/с}$ .

– кратность максимального (критического) момента

$$m_k = \frac{M_{эмк}}{M_{эмн}} = \frac{2094}{716,23} = 2,92;$$

– критическое скольжение

$$s_k = \frac{\omega_0 - \omega_k}{\omega_0} = \frac{78,53 - 73,15}{78,53} = 0,0685.$$

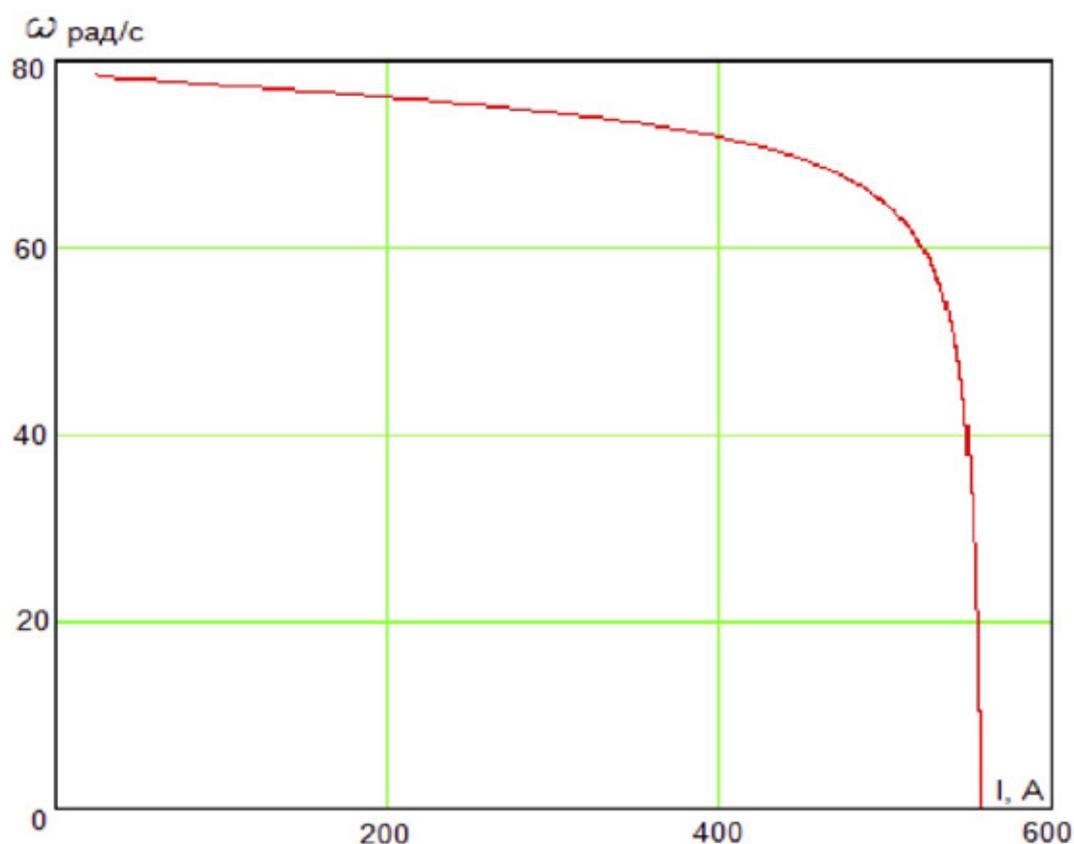


Рисунок 4. Естественная электромеханическая характеристика АД.

По результатам расчета электромеханической характеристики найдены значения тока холостого хода  $I_0 = 25,131 \text{ A}$ , номинального тока  $I_n = 94,823 \text{ A}$

Параметры расчетных механической и электромеханической характеристик двигателя оказались близки к приведённым в таблице 1 справочным параметрам двигателя.

#### 2.4 Проверка двигателя по динамической нагрузке.

Определим приведенный момент инерции при подъеме фурмы, соответствующий минимальному моменту инерции:

$$J_{\text{мин}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{тш}} + J_{\text{мз}} + J_{\text{мт}} + J_{\text{пз}} + m_{\text{ф}} \cdot \rho^2$$

$$J_{\text{мин}} = 2,48 + 0,33 + 0,675 + 0,1175 + 4,356 + 4445 \cdot 0,011^2 = 8,49 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

где

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

$J_{\text{мз}} = m_{\text{мз}} \cdot r_{\text{мз}}^2 = 30 \cdot 0,15^2 = 0,675 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - момент инерции муфты зубчатой;

$$J_{\text{мт}} = \frac{GD_{\text{мт}}^2}{4} = \frac{0,47}{4} = 0,1175 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$
- момент инерции муфты тормозной;

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

Определим момент инерции при опускании, соответствующий максимальному моменту инерции:

$$J_{\text{макс}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{тш}} + J_{\text{мз}} + J_{\text{мт}} + J_{\text{пз}} + m_{\text{пр}} \cdot \rho^2$$

$$J_{\text{макс}} = 2,48 + 0,33 + 0,675 + 0,1175 + 4,356 + 8000 \cdot 0,011^2 = 8,93 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Определим статический момент двигателя при подъеме:

$$M_{\text{с.подъем}} = M_{\text{грз.прив}} - M_{\text{с.прив}} = 374 - 91,6 = 282,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где

$$M_{\text{грз.прив}} = \frac{M_{\text{гр.пз}}}{i_{\text{ред}}} = \frac{7664}{20,49} = 374 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{гр.пз}} = (m_{\text{пр}} - m_{\text{ф}}) \cdot g \cdot r_{\text{пз}} = (8000 - 4445) \cdot 9,8 \cdot 0,22 = 7664,6 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{с.прив}} = \frac{M_{\text{гр.пз}}}{i_{\text{ред}} \cdot \eta} - \frac{M_{\text{гр.пз}}}{i_{\text{ред}}} = \frac{7664,6}{20,49 \cdot 0,8034} - \frac{7664,6}{20,49} = 91,6 \text{ Н} \cdot \text{м} - \text{приведенный}$$

момент сопротивления.

Вычислим момент статический при спуске:

$$M_{\text{с.спуск}} = M_{\text{грз.прив}} + M_{\text{с.прив}} = 374 + 91,6 = 466 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Проверка двигателя по динамической нагрузке:

Разгон в операции “Подъем”

$$M_{\text{подъем}} = J_{\text{мин}} \cdot \frac{a}{r} - M_{\text{с.подъем}} = 8,49 \cdot \frac{1,2}{0,011} - 466 = 643 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Торможение в операции “Подъем”

$$M_{\text{т.подъем}} = J_{\text{мин}} \cdot \frac{a}{r} + M_{\text{с.подъем}} = 8,49 \cdot \frac{1,2}{0,011} + 466 = 1208 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Разгон в операции “Опускание”

$$M_{\text{спуск}} = J_{\text{макс}} \cdot \frac{a}{r} + M_{\text{с.спуск}} = 8,93 \cdot \frac{1,2}{0,011} + 282,4 = 1482 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Торможение в операции “Опускание”

$$M_{\text{т.спуск}} = J_{\text{макс}} \cdot \frac{a}{r} - M_{\text{с.спуск}} = 8,93 \cdot \frac{1,2}{0,011} - 282,4 = 331 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

## 2.5 Механическая система электропривода

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

Параметры при подъеме:

$$J_{\text{макс}} = 8,93 \text{ кгм}^2;$$

$$M_{\text{с.подъем}} = 282,4 \text{ Нм.}$$

Параметры при спуске:

$$J_{\text{мин}} = 8,49 \text{ кгм}^2;$$

$$M_{\text{с.спуск}} = 466 \text{ Нм.}$$

На рисунке 5 представлена расчетная и структурная схема механической системы для случаев подъема и опускания фурмы.

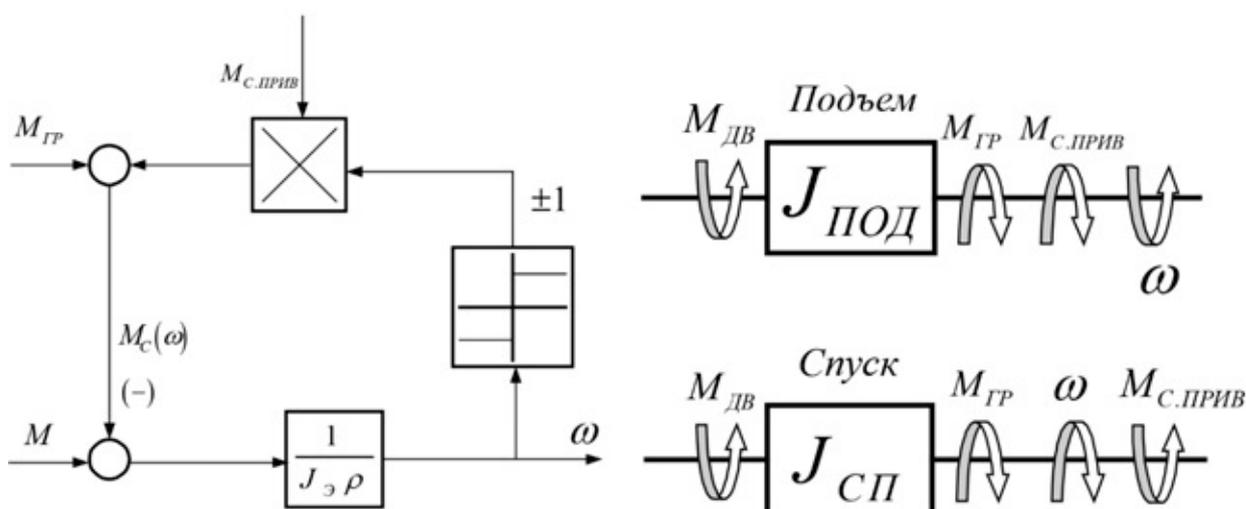


Рисунок 5. Расчетная и структурная схемы механические системы электропривода.

Величина момента двигателя в переходных режимах не превышает каталожной величины момента, поэтому двигатель 1LG4310-8AB-Z может быть принят к установке на механизме подъема кислородной фурмы.

Из условий что, максимальное ускорение  $a_{\max}=1,2 \text{ м/с}^2$ , ход фурмы  $S_{\text{ф}}=17,25\text{м}$ ,

Переключение на пониженную скорость за  $S=3\text{м}$  до остановки, скорость максимальная  $V_{\max}=0,734 \text{ м/с}$ , скорость минимальная  $V_{\min}=0,2 \text{ м/с}$  находим время опускания и подъема фурмы.

Время и путь при разгоне от  $V_0$  до  $V_{\max}$  при опускании фурмы:

$$t_1 = \frac{V_{\max}}{a_{\max}} = \frac{0,734}{1,2} = 0,6 \text{ сек.} \quad S_1 = V_{\text{ср1}} \cdot t_1 = 0,367 \cdot 0,6 = 0,22\text{м}$$

$$V_{\text{ср1}} = \frac{V_{\max}}{2} = \frac{0,734}{2} = 0,367 \text{ м/с}$$

Время и путь при торможении от  $V_{\max}$  до  $V_{\min}$  при опускании фурмы:

$$t_3 = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{a_{\max}} = \frac{0,734 - 0,2}{1,2} = 0,45 \text{ сек.} \quad S_3 = V_{\text{ср3}} \cdot t_3 = 0,267 \cdot 0,45 =$$

0,12м

$$V_{\text{ср3}} = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2} = \frac{0,734 - 0,2}{2} = 0,267 \text{ м/с}$$

Время и путь при торможении от  $V_{\min}$  до  $V_0$  при опускании фурмы:

$$t_5 = \frac{V_{\min}}{a_{\max}} = \frac{0,2}{1,2} = 0,15 \text{ сек.} \quad S_5 = V_{\text{ср5}} \cdot t_5 = 0,1 \cdot 0,15 = 0,015\text{м}$$

$$V_{\text{ср5}} = \frac{V_{\min}}{2} = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ м/с}$$

Время при  $V_{\text{мин}}$  прохождение  $S_4=3\text{м}$  при опускании фурмы:

$$t_4 = \frac{S_4}{V_{\text{мин}}} = \frac{3}{0,2} = 15\text{сек}$$

Время при  $V_{\text{макс}}$  прохождение  $S_2$  при опускании фурмы:

$$S_2 = S_{\phi} - (S_1 + S_3 + S_4 + S_5) = 17,25 - (0,22 + 0,12 + 3 + 0,015) \\ = 13,895 \text{ м}$$

$$t_2 = \frac{S_2}{V_{\text{макс}}} = \frac{13,895}{0,734} = 18,93\text{сек}$$

Время опускания фурмы:

$$t_{\text{оп}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 0,6 + 18,93 + 0,45 + 15 + 0,15 = 35,13\text{сек}$$

Время и путь при разгоне от  $V_0$  до  $V_{\text{макс}}$  при подъеме фурмы:

$$t_6 = t_8 = t_1 = 0,6 \text{ сек}$$

$$S_6 = S_8 = S_1 = 0,22\text{м}$$

Время при  $V_{\text{макс}}$  прохождение  $S_7$  при подъеме фурмы:

$$S_7 = S_{\phi} - (S_6 + S_8) = 17,25 - (0,22 + 0,22) = 16,81 \text{ м}$$

$$t_7 = \frac{S_7}{V_{\text{макс}}} = \frac{16,81}{0,734} = 22,9\text{сек}$$

Время подъема фурмы:

$$t_{\text{под}} = t_6 + t_7 + t_8 = 0,6 + 22,9 + 0,6 = 24,1\text{сек}$$

Строим циклограмму работы механизма.

Циклограмма электропривода подъема фурмы

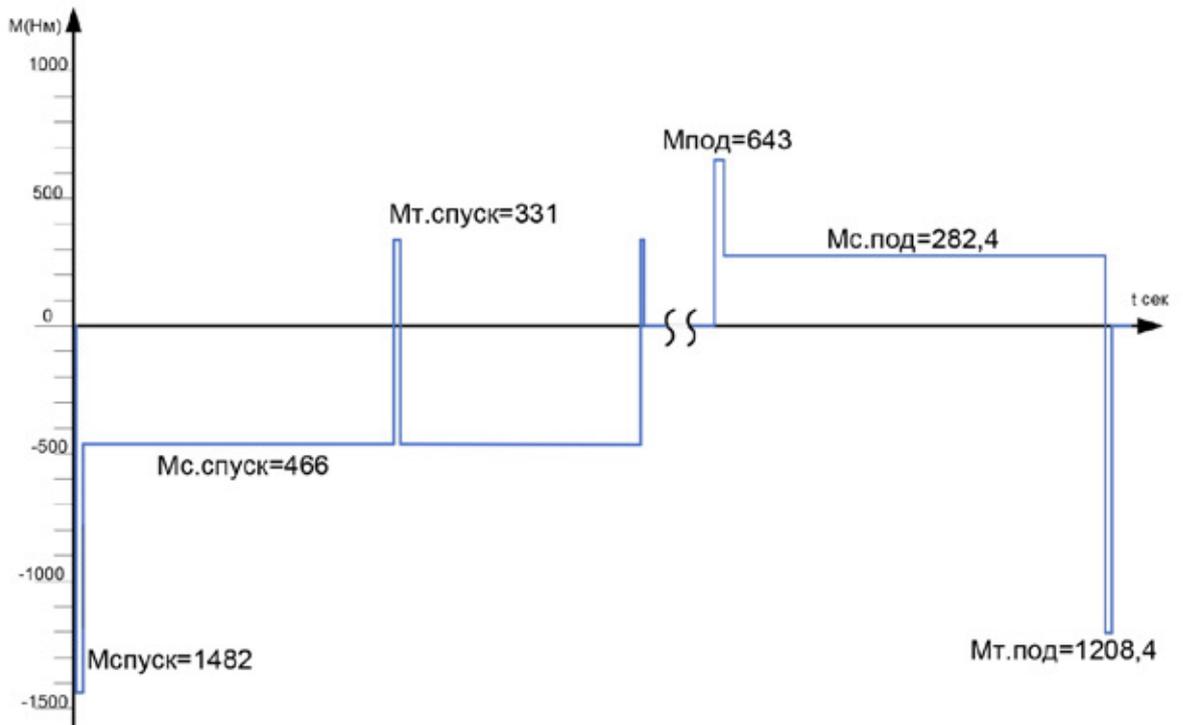
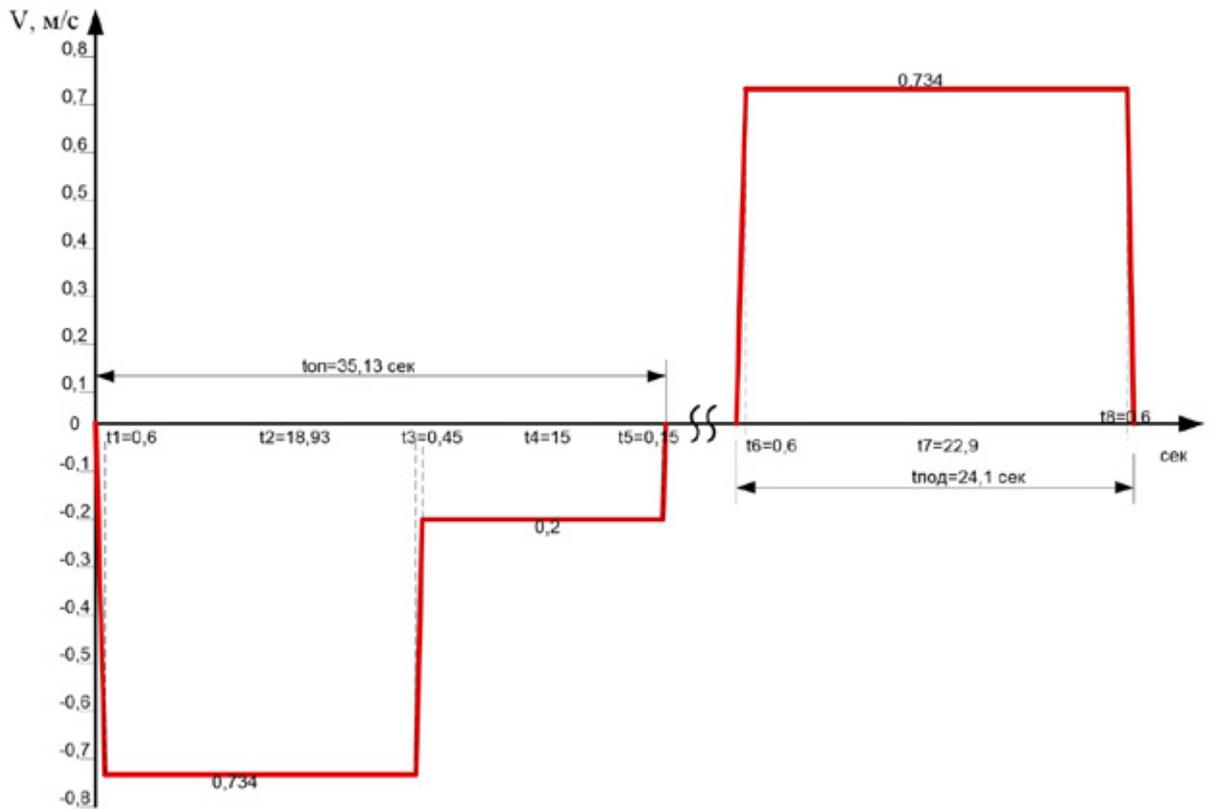


Рисунок 6 Циклограмма электропривода подъёма фурмы.

## 2.6. Определение области допустимой длительной работы двигателя

Асинхронный двигатель питается и управляется от преобразователя частоты. При регулировании скорости будет использоваться способ векторного управления, что определяет поддержание постоянного потокосцепления двигателя при регулировании скорости ниже номинальной. В соответствии с этим был выбран двигатель с независимой вентиляцией, что позволяет ему работать с нагрузками близкими к номинальным при низких скоростях работы электродвигателя.

Таким образом, перед выбором частотного преобразователя необходимо определить зону безопасной работы электродвигателя и задаться максимальными нагрузками.

В соответствии с техническими данными, предоставляемыми производителем, границы режима допустимой длительной работы двигателя при независимой вентиляции, можно представить в виде зависимостей:

– для тока двигателя

$$I_{\text{дв длит доп}}(\omega) = \begin{cases} I_{\text{дв н}} = 102 \text{ А, при } \omega \geq 0.5 \cdot \omega_{\text{н}} \\ 0,9 \cdot I_{\text{дв н}} = 0,9 \cdot 102 = 91,8 \text{ А, при } \omega = 0; \end{cases}$$

– для момента (электромагнитного) двигателя

$$M_{\text{эм длит доп}}(\omega) = \begin{cases} M_{\text{эм н}} = 716,23 \text{ Н} \cdot \text{м, при } \omega \geq 0.5 \cdot \omega_{\text{н}} \\ 0,9 \cdot M_{\text{эм н}} = 0,9 \cdot 716,23 = 644,61 \text{ Н} \cdot \text{м, при } \omega = 0. \end{cases}$$

В соответствии с приведенными зависимостями на механическую и электромеханическую характеристики наносим границы зон  $M_{\text{эм длит доп}}(\omega)$  и  $I_{\text{дв длит доп}}(\omega)$  длительной допустимой работы двигателя. Графики зависимостей приведены на рисунках 7 и 8.

Из приведённых на рисунках характеристик следует, что длительно допустимый момент нагрузки, с которым может работать двигатель на минимальной скорости  $\omega_{\text{дв мин}} = 6,643 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  (диапазон регулирования скорости  $1 \div 10$ ), составляет  $M_{\text{эм длит доп}} = 649 \text{ Н} \cdot \text{м}$  при длительно допустимом токе статора  $I_{\text{дв длит доп}} = 93,7 \text{ А}$ .

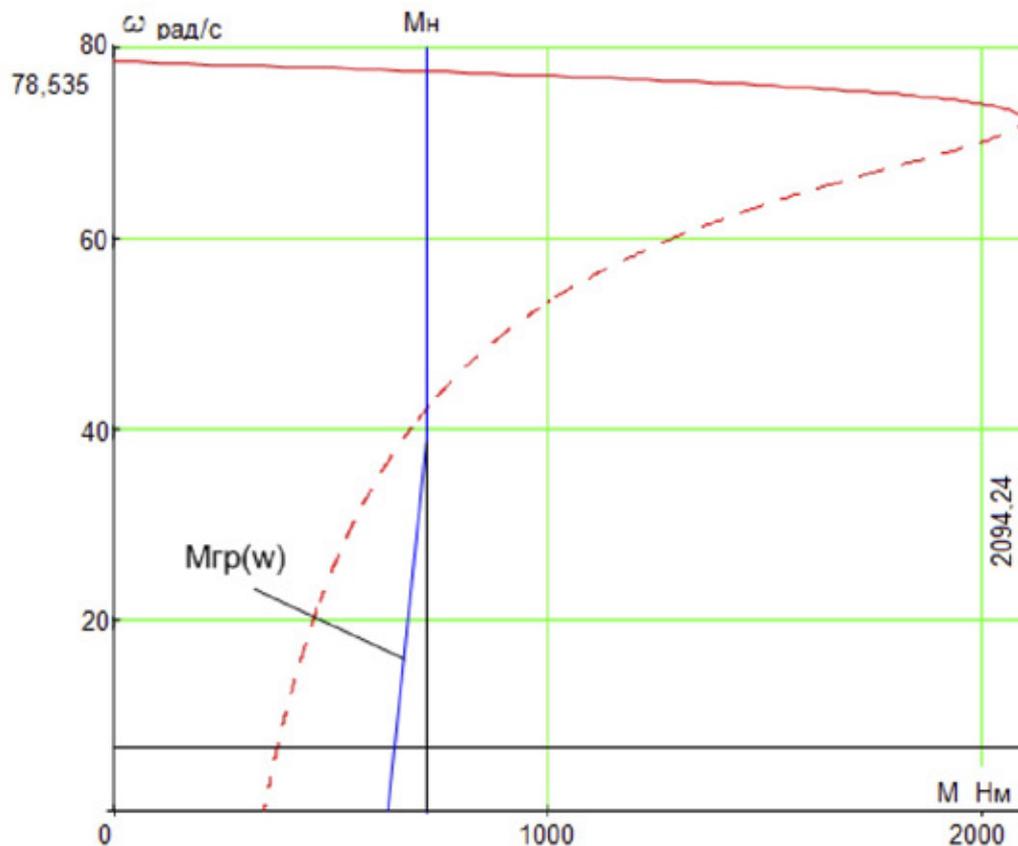


Рисунок 7. Естественная механическая характеристика и граница области допустимой длительной работы  $M_{эм\ длит\ доп}(\omega)$  двигателя

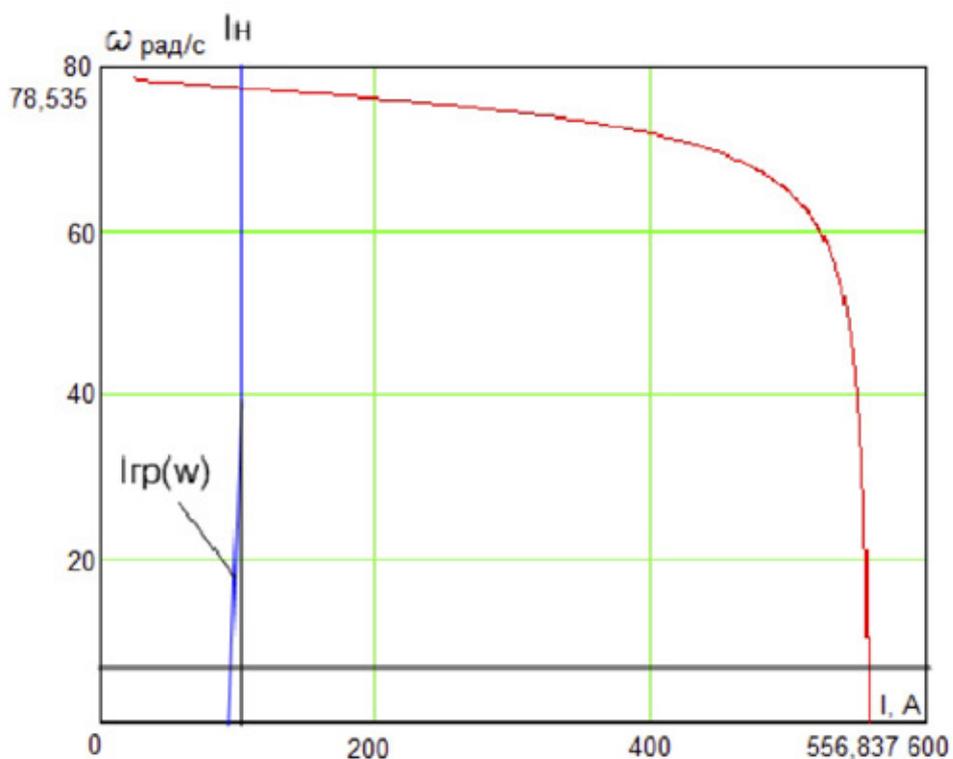


Рисунок 8. Естественная электромеханическая характеристика и граница области допустимой длительной работы  $I_{дв\ длит\ доп}(\omega)$  двигателя

## 2.7. Построение требуемых областей длительной и кратковременной работы двигателя

### 2.7.1 Построение областей работы в плоскости механических характеристиках двигателя

Максимальный статический момент, приложенный к валу двигателя

$$M_{\text{с спуск}} = 466 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Требуемое максимальное значение динамического момента двигателя

$$M_{\text{дин}} = J_{\text{с}} \cdot \varepsilon = 8,93 \cdot 113,77 = 970 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где

$$J_{\text{макс}} = 8,93 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

– эквивалентный момент инерции привода;

$$\varepsilon_{\text{макс}} = \frac{a \cdot \omega_{\text{эл макс}}}{V_{\text{макс}}} = \frac{1,2 \cdot 66,43}{0,734} = 113,77 \text{ рад/с}^2$$

– угловое ускорение привода;

$$V_{\text{макс}} = 0,734 \text{ м/с}$$

– заданная максимальная рабочая скорость движения фурмы;

$$a = 1,2 \text{ м/с}^2$$

– принятое значение ускорения привода.

Максимальный требуемый момент электропривода в пусковом режиме.

$$M_{\text{эл макс}} = M_{\text{с}} + M_{\text{дин}} = 466 + 1016 = 1482 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Найденные значения моментов нанесены на плоскость механических характеристик электродвигателя (рисунок 9).

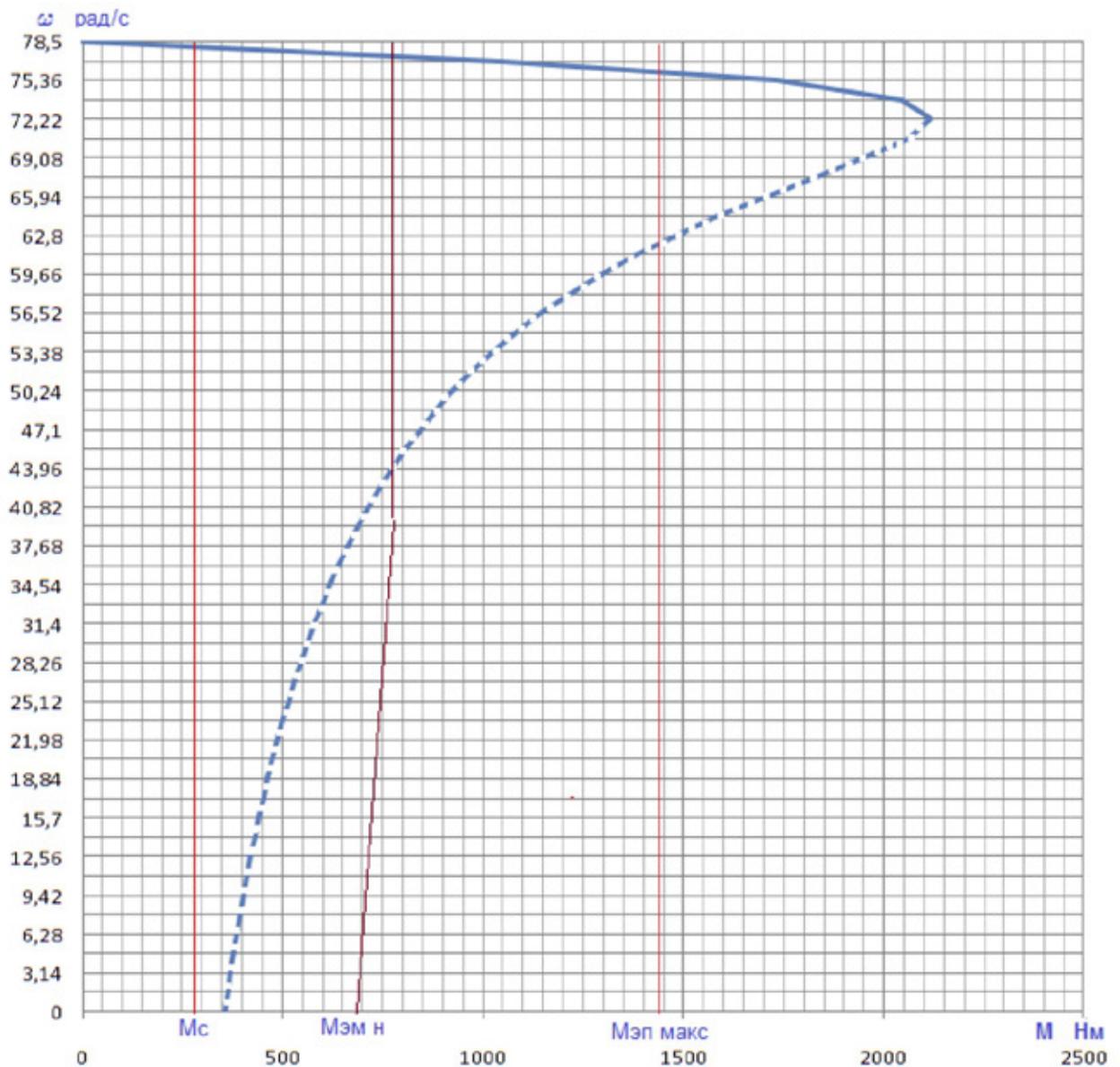


Рисунок 9. Области работы электропривода в плоскости механических характеристик двигателя

### 2.7.2 Построение областей работы электропривода в плоскости электромеханических характеристик двигателя

Используя полученные значения моментов, определим соответствующие им значения токов двигателя. Для этого, с помощью процедуры Given в приложении MathCAD, решая уравнение механической характеристики двигателя  $M(s)$  при заданном значении момента, определяем соответствующее ему скольжение  $s$ . Подставляя полученное значение скольжения в уравнение электромеханической характеристики двигателя  $I(s)$ , определяем значение тока обмотки статора, соответствующее исходному значению момента.

Например, решая уравнение

$$\omega_0 \cdot s \cdot \left[ \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'(s)}{(X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s))^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'(s)}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'(s)}{s \cdot X_{\mu H}}\right)^2} \right] = M_c ,$$

при значении  $M_c = 863 \text{ Н} \cdot \text{м}$  находим значение скольжения  $s = 0,014$  и по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2(s) + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0(s) \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} ,$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'(s)}{s}\right)^2 + [X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s)]^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'(s)}{s \cdot X_{\mu H}}\right)^2}} ;$$

$$I_0(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma}(s) + X_{\mu H})^2}} ;$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'(s)}{s}\right)^2 + [X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s)]^2}}$$

значение тока статора  $I_{c \text{ макс}} = 96 \text{ А}$ .

Поступая аналогично, находим:

– для момента  $M_{\text{эл макс}} = 1482 \text{ Н} \cdot \text{м}$  –  $I_{\text{эл макс}} = 207 \text{ А}$  ;

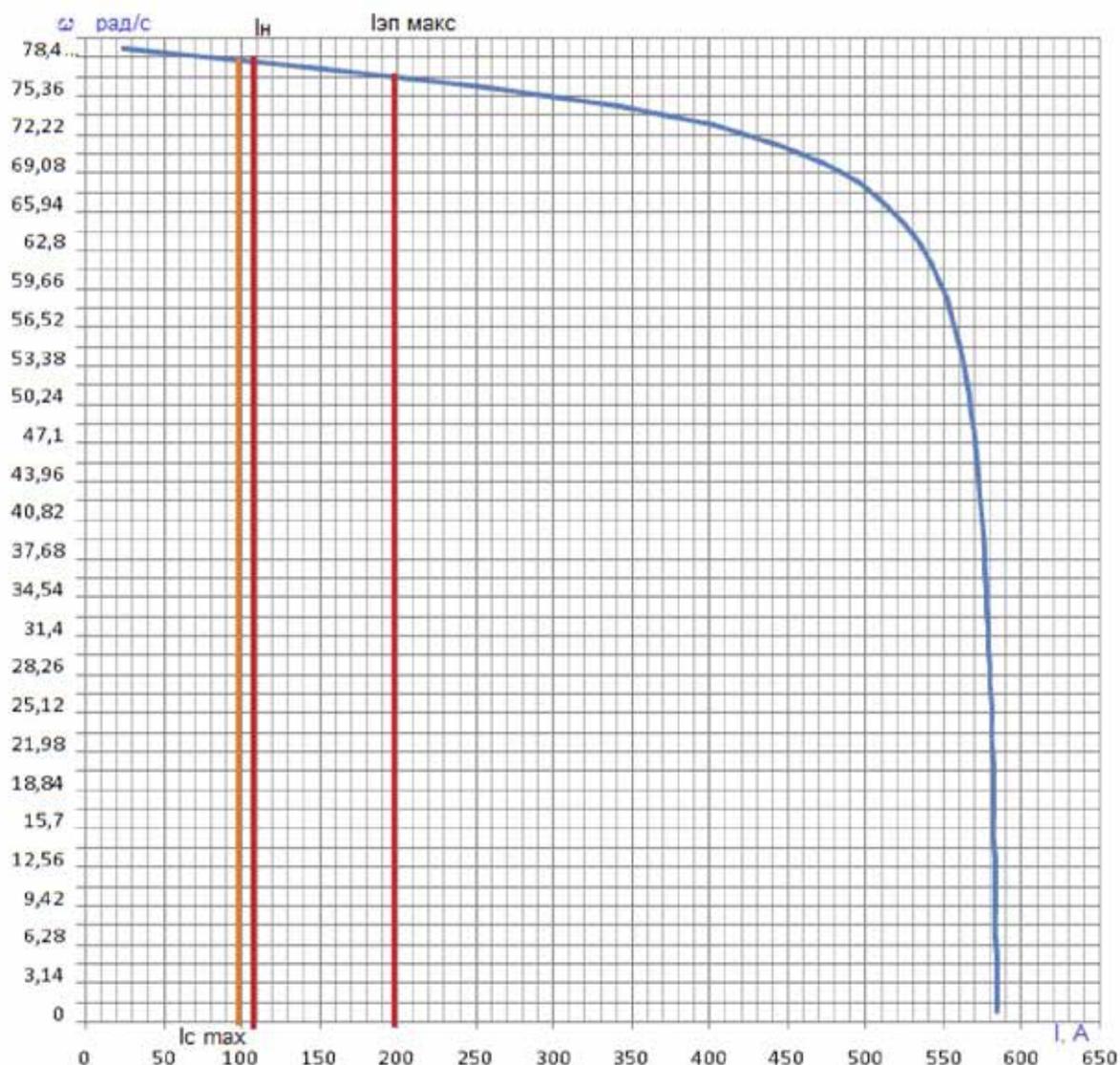


Рисунок 10. Области работы электропривода в плоскости электромеханических характеристик двигателя

## 2.8. Проверка выбранного двигателя по нагреву

Необходимость эквивалентирования режимов работы двигателей по нагреву связана с тем, что реальные режимы работы электроприводов весьма многообразны и вероятность точного совпадения конкретного режима с каким-либо номинальным практически исключена. В то же время выполнение подробных тепловых расчетов для каждого случая выбора двигателя является, как правило, трудно реализуемым путем проверки двигателей по нагреву в связи с отсутствием необходимых данных и неоправданной сложностью расчетов. Поэтому в процессе развития электропривода были созданы эффективные косвенные методы проверки двигателей по нагреву. Наиболее

общие из них вошли составной частью в теорию электропривода, причем основной этих методов является так называемый метод средник потерь.

Эти методы учитывают, что тепловые процессы в двигателях в нормальных условиях работы благодаря большой тепловой инерции протекают замедленно, поэтому быстрые изменения нагрузки двигателя и, соответственно, тепловыделения фильтруются тепловой инерцией и зависимость  $\tau(t)$  сглаживается тем в большей степени, чем меньше время цикла в сравнении с постоянной времени нагрева  $T_n$ . При работе в повторно-кратковременном или перемежающемся режимах условие  $t_{ц} < T_n$  выполняется по определению, как выше было отмечено, через некоторое время после начала работы наступает установившийся тепловой режим, при котором превышение температуры колеблется относительно среднего значения  $t_{ср}$  в узких пределах.

Произведём проверку выбранного двигателя по нагреву, с использованием метода эквивалентного момента:

Время цикла:

$$t_{ц} = 3 \text{ мин} = 180 \text{ сек},$$

Время работы.

$$t_p = 59,23 \text{ сек}$$

Продолжительность включения:

$$ПВ_{расч} = \frac{t_p}{t_{ц}} \cdot 100\% = \frac{59,23}{180} \cdot 100\% = 32,9$$

Эквивалентный момент за цикл работы:

$$M_{экр} = \sqrt{\frac{ПВ_{расч}}{ПВ_{ст}} \cdot \frac{\sum M_i^2 \cdot t_{pi}}{\sum t_{pi}}} = \sqrt{\frac{32,9}{25} \cdot \frac{11628476,92}{59,23}} = 568 \text{ Н} \cdot \text{м где,}$$

$$\sum M_i^2 \cdot t_{pi} = 1482^2 \cdot 0,6 + 466^2 \cdot 33,93 + 331^2 \cdot 0,6 + 643^2 \cdot 0,6 + 282,4^2 \cdot 22,9 + 1208,4^2 \cdot 0,6 = 11628476,92$$

$$\sum M_i^2 \cdot t_{pi} = 0,6 + 33,93 + 0,6 + 0,6 + 22,9 + 0,6 = 59,23$$

Эквивалентная мощность двигателя:

$$P_{экр} = M_{экр} \cdot \omega_{макс} \cdot k_3 = 568 \cdot 66,43 \cdot 1,3 = 49052 \text{ Вт}$$

где  $k_3 = 1,3$  – коэффициент, учитывающий отличие нагрузочной диаграммы механизма от нагрузочной диаграммы двигателя.

Т.к. требования

$$55 \text{ кВт} = P_n \geq P_{экр} = 49,052 \text{ кВт}$$

выполнены, двигатель по нагреву проходит.

## 2.9 Преобразователь частоты

### 2.9.1 Выбор преобразователя частоты

Тип преобразователя частоты в общем случае выбирается из следующих условий: длительный ток нагрузки, ток кратковременной перегрузки, напряжение питающей сети и двигателя, диапазон регулирования выходной частоты, способы и законы частотного управления, набор комплектующих устройств (дополнительных блоков, расширяющих возможности привода), условия эксплуатации.

Сложность выбора преобразователя частоты для совместной работы с электродвигателем заключается в том, что номинальные режимы работы электродвигателей (S1 – S8), основанные на постоянной времени нагрева двигателя (десятками минут), не приемлемы для преобразователей, постоянная времени нагрева которых определяется десятками секунд.

Преобразователи частоты спроектированы для продолжительной работы с номинальным током инвертора  $I_{ин}$ . Если номинальный ток протекает длительное время (более 60 с), то рабочая температура блока достигает максимально допустимого значения. Выше этого значения срабатывает защита ( $I^2 \cdot t$ ), что не позволяет перегружать преобразователь по току даже кратковременно (рисунок 11).

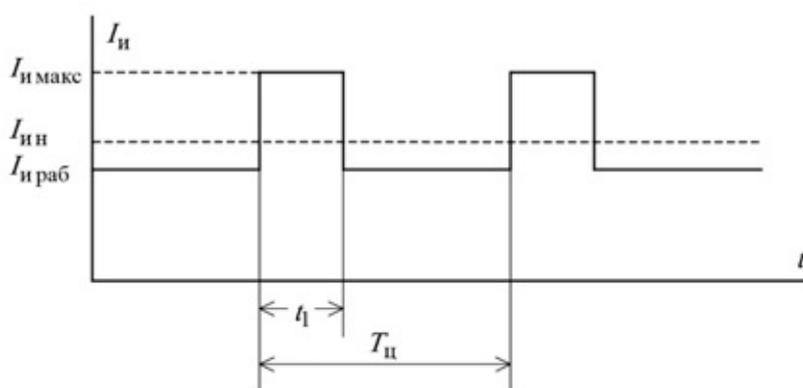


Рисунок 11

По этой причине преобразователи частоты в системах электропривода, имеющих кратковременные перегрузки двигателя, связанные с периодическими изменениями скорости или технологическими изменениями момента нагрузки, должны работать с эквивалентным за цикл работы током, не превышающим номинальный ток инвертора

$$I_{ин} \geq I_{иэ}$$

Предварительно преобразователь частоты выбираем исходя из следующих условий.

Питающая сеть: 3-х фазная 380В, 50Гц;

Параметры нагрузки:

- 3-х фазная;
- максимальное выходное линейное напряжение 380В;
- максимальная частота

$$f_{\text{макс}} > 50 \cdot \frac{\omega_{\text{Эп макс}}}{\omega_0 \cdot (1 - s_k)}, \text{ Гц.}$$

– номинальный ток инвертора должен удовлетворять условию

$$I_{\text{нн}} > I_{\text{с макс}} = 96 \text{ А};$$

– максимальный ток инвертора должен удовлетворять условию

$$I_{\text{н макс}} > I_{\text{Эп макс}} = 207 \text{ А}.$$

Условия выбора преобразователя по току должны быть выполнены с учетом фактических значений высоты над уровнем моря и температуры окружающей среды места установки преобразователя. Длительность перегрузки двигателя не должна превышать значение допустимого времени протекания максимального тока инвертора, а длительность фактического рабочего цикла электропривода не должна быть меньше времени предельного цикла инвертора;

Исходя из перечисленных условий выбираем преобразователь частоты типа MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS шкафного исполнения.

Функциональные особенности

- Векторное регулирование без датчика скорости
- Регулирование потока (FCC) для улучшения динамических характеристик и повышения качества регулирования электродвигателя
  - Мгновенное ограничение тока (FCL) для работы без отключения двигателя
  - Встроенное динамическое торможение постоянным током
  - Комбинированное торможение для улучшения возможностей торможения
- Времена ускорения и торможения с программируемым сглаживанием

- Использование замкнутого PID регулятора с автоподстройкой
- Встроенный прерыватель тормоза
- Выбираемая интенсивность разгона и остановки
- 4-х точечная интенсивность сглаживания
- Многоточечная V/f характеристика, задаваемая пользователем
- Установленные параметры могут быть перенесены на другие устройства

аналогичных процессов

Особенности защиты

- Защита от повышенного и пониженного напряжений
- Защита преобразователя от перегрева
- Защита от замыкания на землю
- Защита от короткого замыкания
- Защита от перегрева двигателя по потерям  $I^2 t$
- Защита двигателя по термисторам PTC/KTY

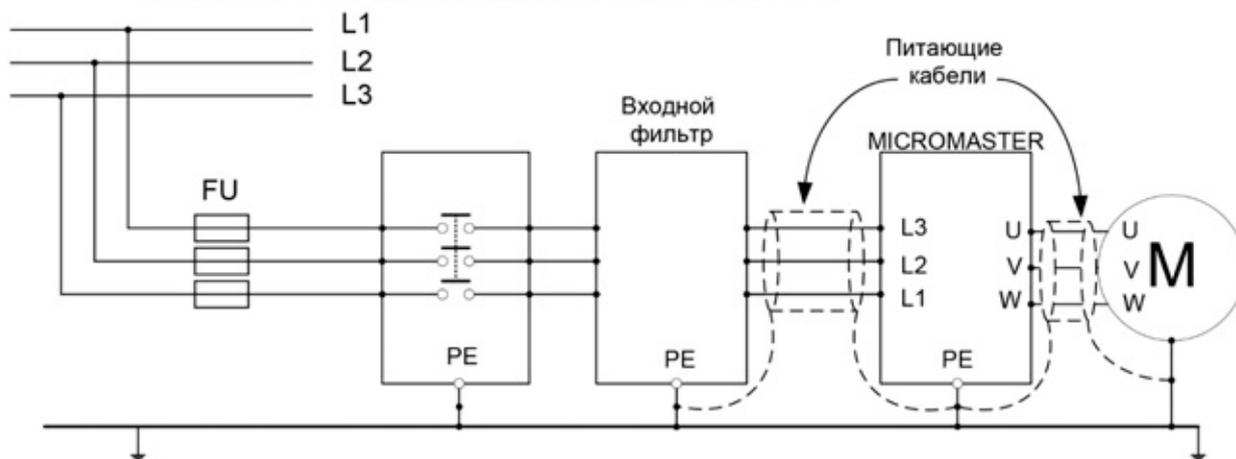


Рисунок 12 Подключение питающей сети и двигателя

Технические данные преобразователя частоты приведены в таблице 4.

Таблица 4 Технические данные преобразователя частоты MICROMASTER 440

$P_{\text{пр н}}$ , кВт	$U_{\text{пр н}}$ , В	$I_{\text{пр н}}$ , А	$I_{\text{пр макс}}$ , А
75	460	145	217.5

Функциональная схема преобразователя представлена на рисунке 13

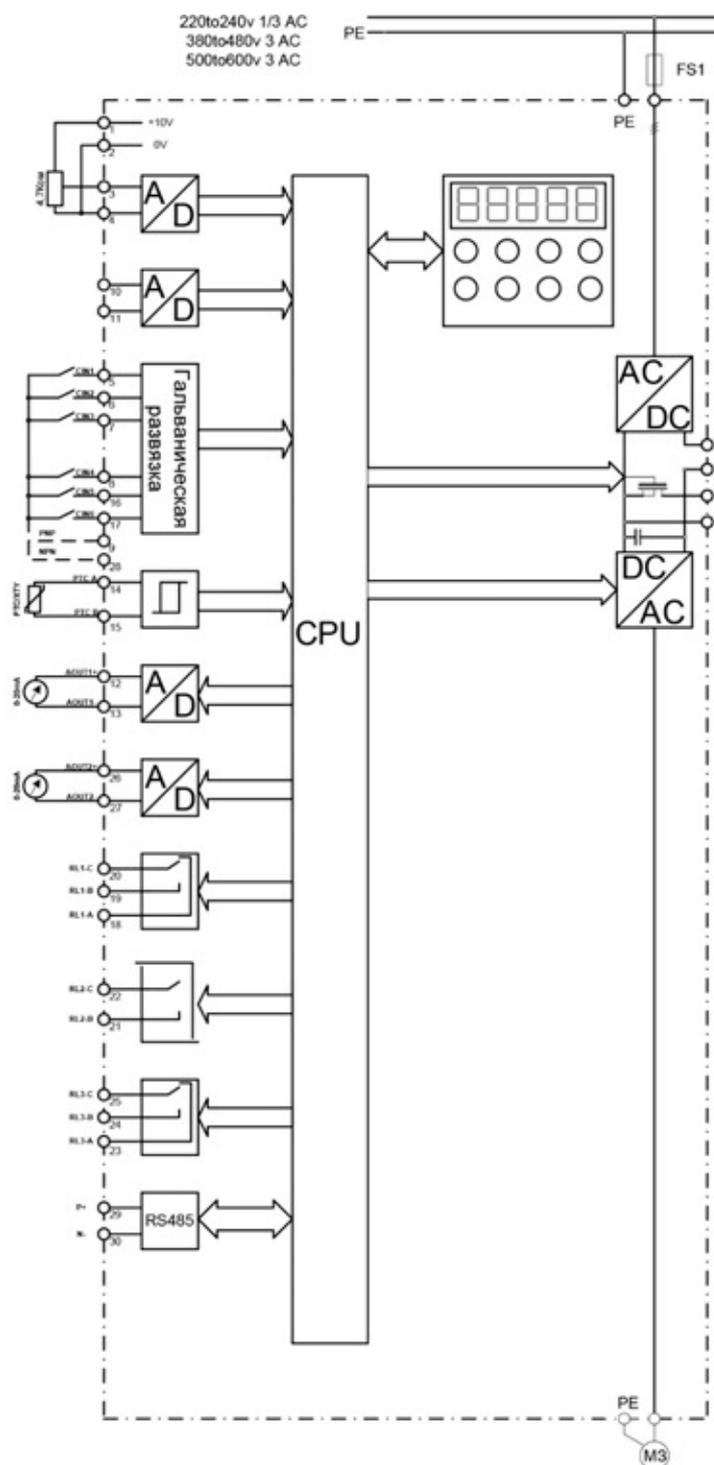


Рисунок 13 Функциональная схема преобразователя.

## 2.10. Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель

Структурная схема силового канала системы ПЧ – АД во вращающейся двухфазной системе координат  $d q$ , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, и компенсацией внутренних обратных связей представлена на рисунке 14.

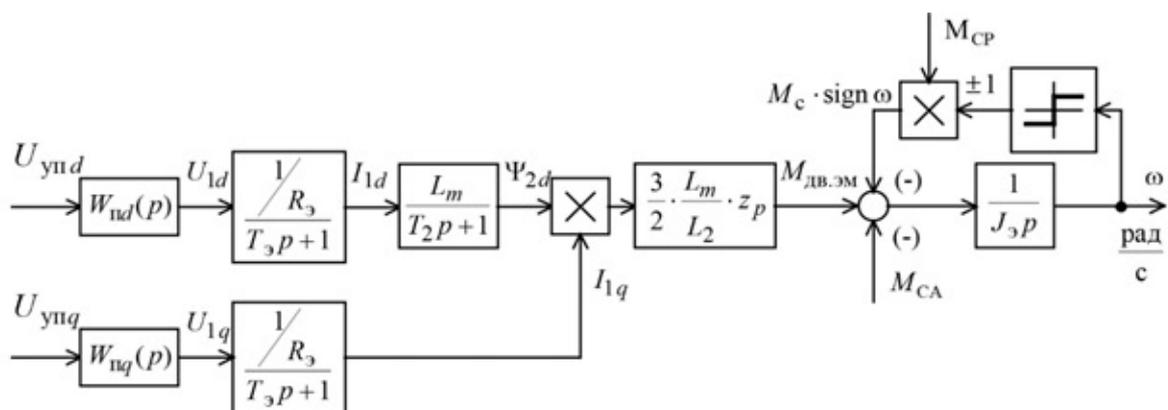


Рисунок 14 Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель во вращающейся двухфазной системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора и компенсацией внутренних обратных связей

Управляющими сигналами на входе преобразователя структурной схемы силового канала являются напряжения постоянного тока. Выходные напряжения преобразователя представляют собой составляющие напряжения статора  $U_{1d}$  и  $U_{1q}$  в ортогональной системе координат  $d, q$ , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора  $\Psi_{2d}$ .

В системе ПЧ – АД предполагается применить частотное векторное управление с обратной связью по скорости (с датчиком или без датчика). Характерной особенностью частотно-регулируемых электроприводов переменного тока является относительно большая инерционность в цепях обратных связей контуров регулирования тока, потокосцепления и скорости. Структурная схема силового канала асинхронного частотно-регулируемого электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 15.

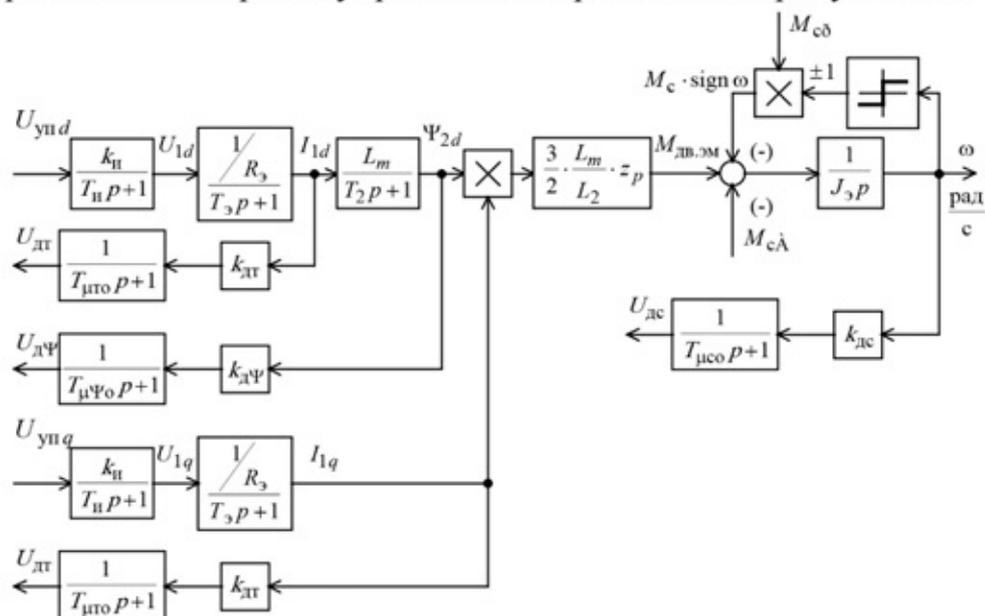


Рисунок 15 Структурная схема силового канала электропривода подъёмника

## 2.10.1 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода

### *Расчёт параметров преобразователя*

Максимальный коэффициент усиления преобразователя

$$k_{и} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{I\Phi H}}{U_{уп\ макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,11,$$

где  $U_{уп\ макс} = 10$  В – принятое максимальное значение напряжения управления.

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_{и} = \frac{0,5}{f_{шим}} = \frac{0,5}{6 \cdot 10^3} = 0,0833 \cdot 10^{-3} \text{ с},$$

где  $f_{шим} = 6$  кГц – несущая частота инвертора.

### *Расчет параметров двигателя*

Эквивалентная индуктивность обмотки статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0,545 \cdot 10^{-3} + 27,33 \cdot 10^{-3} = 27,88 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Эквивалентная индуктивность обмотки ротора

$$L_2 = L'_{2\sigma} + L_m = 0,739 \cdot 10^{-3} + 27,33 \cdot 10^{-3} = 28,07 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Эквивалентное сопротивление силовой цепи преобразователь-двигатель

$$R_3 = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2} = 0,032 + 0,032 \cdot \frac{(27,33 \cdot 10^{-3})^2}{(28,07 \cdot 10^{-3})^2} = 0,0623 \text{ Ом.}$$

Эквивалентная электромагнитная постоянная времени силовой цепи

$$T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3} = \frac{0,0456 \cdot 27,88 \cdot 10^{-3}}{0,0623} = 20,4 \cdot 10^{-3} \text{ с},$$

где

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{(27,33 \cdot 10^{-3})^2}{27,88 \cdot 10^{-3} \cdot 28,07 \cdot 10^{-3}} = 0,0456$$

– коэффициент рассеяния.

Электромагнитная постоянная времени цепи ротора

$$T_2 = \frac{L_2}{R'_2} = \frac{28,07 \cdot 10^{-3}}{0,032} = 0,8772 \text{ с.}$$

## 2.11. Структурная схема линеаризованной САУ электропривода

Регулирование скорости электропривода фурмы производится в первой зоне регулирования скорости приводных двигателей с номинальным значением потокосцеплений. При частотном векторном управлении асинхронным электродвигателем потокосцепление двигателя может поддерживаться постоянным равным по значению номинальному. Это позволяет обеспечить постоянную жесткость рабочего участка механических характеристик двигателя и сохранить его перегрузочную способность.

Структурная схема линеаризованной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 16.

На схеме рисунка 16 обозначены:

$W(p)_{рТ}$ ,  $W(p)_{р\psi}$ ,  $W(p)_{рс}$  - соответственно передаточные функции регуляторов тока, потокосцепления и скорости;

$k_T$  - коэффициент обратной связи по току;

$k_\psi$  - коэффициент обратной связи по потокосцеплению;

$k_c$  - коэффициент обратной связи по скорости;

$T_{\mu то}$  - малая постоянная времени цепи обратной связи по току;

$T_{\mu \psi о}$  - малая постоянная времени цепи обратной связи по потокосцеплению;

$T_{\mu со}$  - малая постоянная времени цепи обратной связи по скорости.

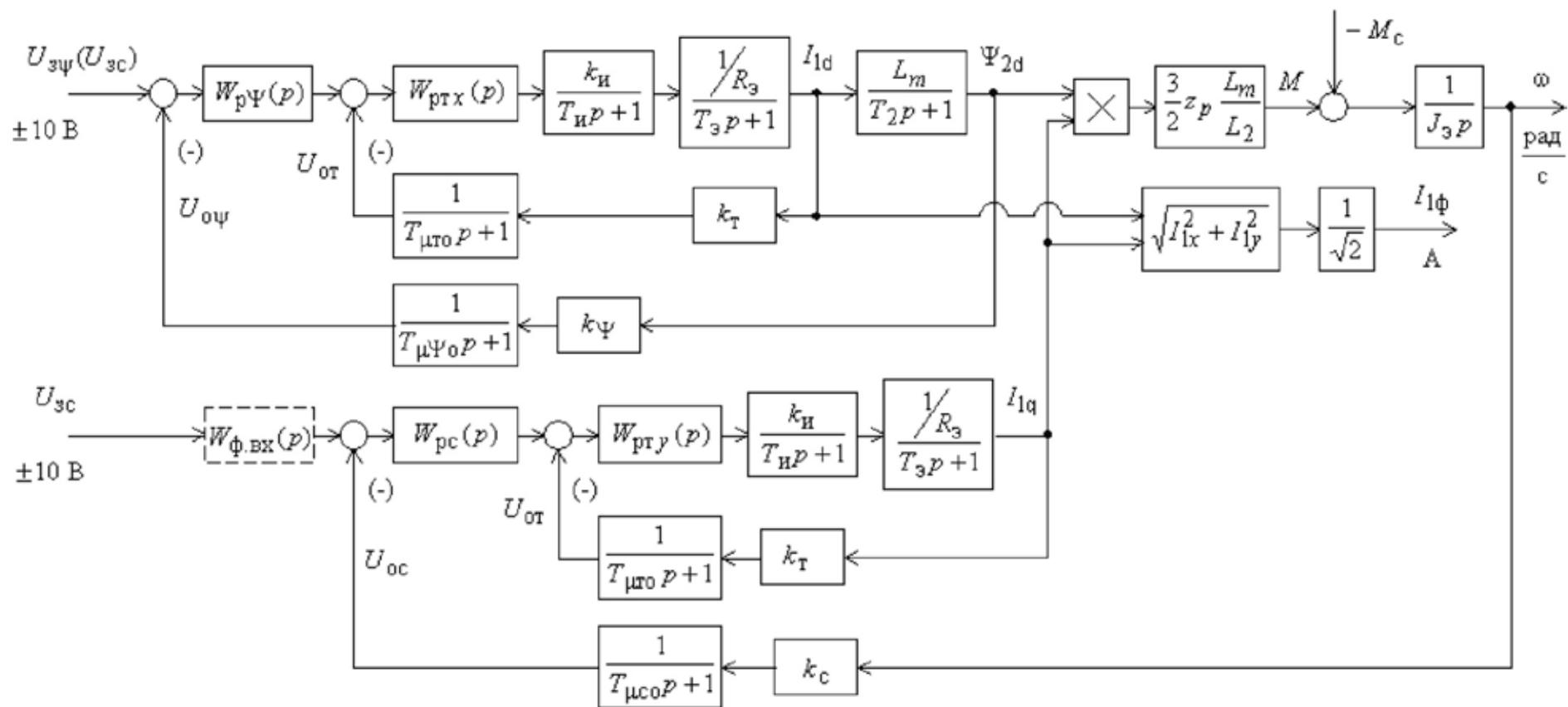


Рисунок 16 Структурная схема линейризованной САУ электропривода

Малая постоянная времени цепи обратной связи по току.

$$T_{\mu \text{ то}} = \frac{T_{\text{ст}}}{3} = \frac{0,00133}{3} = 0,000444 \text{ с},$$

где

$$T_{\text{ст}} = \frac{1}{f_{\text{шим}}} \cdot n_T = \frac{1}{6 \cdot 10^3} \cdot 8 = 0,00133 \text{ с}$$

– период сглаживания результатов измерения тока;

$n_T = 8$  – количество периодов модуляции для измерения тока.

Малая постоянная времени цепи обратной связи по потокосцеплению

$$T_{\mu \Psi_0} = \frac{T_{\text{с}\Psi}}{3} = \frac{0,0133}{3} = 0,00444 \text{ с},$$

где

$$T_{\text{с}\Psi} = 16 \cdot \frac{1}{f_{\text{шим}}} \cdot n_{\Psi} = 16 \cdot \frac{1}{6 \cdot 10^3} \cdot 5 = 0,0133 \text{ с}$$

– период расчёта потокосцепления;

$n_{\Psi} = 5$  – количество периодов модуляции для измерения

потокосцепления.

Малая постоянная времени цепи обратной связи по скорости

$$T_{\mu \text{ со}} = \frac{T_{\text{сс}}}{3} = \frac{0,0133}{3} = 0,00444 \text{ с},$$

где

$$T_{\text{сс}} = 16 \cdot \frac{1}{f_{\text{шим}}} \cdot n_c = 16 \cdot \frac{1}{6 \cdot 10^3} \cdot 5 = 0,0133 \text{ с}$$

– период расчёта потокосцепления;

$n_c = 5$

– количество периодов модуляции для измерения скорости.

Обеспечим адекватность параметров модели, справочных и полученных расчетных параметров электродвигателя. Параметры двигателя, соответствующие справочным данным:  $I_{\text{дв н}} = I_{1\phi \text{ н}} = 102 \text{ А}$ ;  $M_{\text{дв н}} = 710 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Параметры двигателя расчетные:  $I_0 = 25,131 \text{ А}$ ;  $I_{\text{н}} = I_1(s_{\text{н}}) = 94,823 \text{ А}$ ;  $M_{\text{эм н}} = 716,23 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . За основные параметры электродвигателя примем значения номинального тока  $I_{1\phi \text{ н}} = 102 \text{ А}$  и

номинального электромагнитного момента  $M_{эмн} = 716,23 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Решив совместно систему уравнений

$$\Psi_{2н} = \frac{M_{эмн}}{\frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \left(\frac{L_m}{L_2}\right) \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1фн}^2 - I_0^2}} = \frac{716,23}{\frac{3}{2} \cdot 4 \cdot \frac{0,02733}{0,02807} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{102^2 - I_0^2}},$$

$$\Psi_{2н} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 0,02733 \cdot I_0$$

относительно тока  $I_0$ , определим значение тока намагничивания  $I_0^* = 22,55 \text{ А}$ , соответствующее параметрам структурной схемы. Значение последнего существенно не отличаться от значения расчетного тока намагничивания  $I_0$ . Рассчитываем параметры структурной схемы, необходимые для оптимизации контуров регулирования:

– значение номинального потокосцепления двигателя, Вб

$$\Psi_{2дн}^* = \Psi_{2н}^* = \sqrt{2} \cdot L_m \cdot I_0^* = \sqrt{2} \cdot 0,02733 \cdot 22,55 = 0,872 \text{ Вб};$$

– значение номинального тока  $I_{1д}$ , А

$$I_{1дн}^* = \sqrt{2} \cdot I_0^* = \sqrt{2} \cdot 22,55 = 31,89 \text{ А}$$

– значение номинального тока  $I_{1q}$ , А

$$I_{1qn}^* = \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1фн}^2 - (I_0^*)^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{102^2 - 22,55^2} = 140,68 \text{ А};$$

– максимально допустимое значение тока  $I_{1q}$

$$I_{1q\text{макс}}^* = \frac{M_{эм\text{макс}}}{\frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \left(\frac{L_m}{L_2}\right) \cdot \Psi_{2н}^*} = \frac{1482}{\frac{3}{2} \cdot 4 \cdot \frac{0,02733}{0,02807} \cdot 0,872} = 290,93 \text{ А},$$

где  $M_{эм\text{макс}} = 1482 \text{ Н} \cdot \text{м}$  – максимальный момент электропривода.

## 2.12. Оптимизация контуров регулирования САР электропривода

Основным воздействием на электропривод подъёмника является управляющее воздействие. Оптимизация контуров регулирования электропривода по управляющему воздействию выполнена по методике, изложенной в учебном пособии [3].

### Оптимизация контура тока

Структурная схема контура тока с инерционной обратной связью и полной компенсацией внутренней отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя приведена на рисунке 17. Контурные токи  $I_{1d}$  и  $I_{1q}$  идентичные.

Контур тока характеризуется одной большой постоянной времени в прямом канале  $T_3 = 0.0204$  с и двумя малыми постоянными времени в прямом канале  $T_{\text{мтп}} = T_{\text{и}} = 0.0000833$  с и в цепи обратной связи  $T_{\text{мто}} = 0.00043$  с.

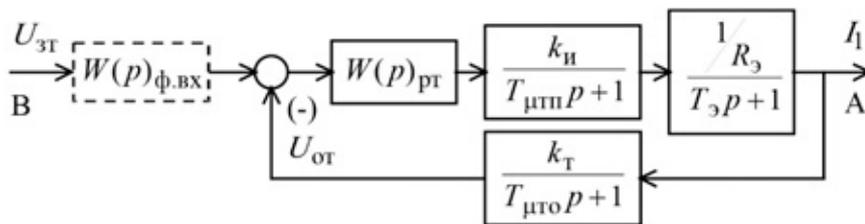


Рисунок 17 Структурная схема контура тока

В качестве регулятора тока принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией

$$W_{\text{рт}}(p) = k_{\text{рт}} \cdot \frac{T_{\text{рт}} \cdot p + 1}{T_{\text{рт}} \cdot p}$$

и настраиваем контур тока на модульный оптимум (МО):

$$k_{\text{рт}} = \frac{T_3 \cdot R_э}{k_{\text{и}} \cdot k_{\text{т}} \cdot a_{\text{т}} \cdot T_{\text{мтэ}}} = \frac{0.0204 \cdot 0.0623}{31.11 \cdot 0.0344 \cdot 2 \cdot 0.0005273} = 1,13$$

– коэффициент усиления регулятора тока,

где

$$T_{\text{мтэ}} = T_{\text{мтп}} + T_{\text{мто}} = 0.0000833 + 0.000444 = 0.0005273 \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени контура тока;

$$k_T = \frac{U_{зт\max}}{I_{lq\max}} = \frac{10}{290,93} = 0.0344 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

– коэффициент обратной связи по току;

$U_{зт\max} = 10 \text{ В}$  – принятое максимальное значение напряжения

задания на входе контура тока;

$a_T = 2$  – коэффициент оптимизации контура тока.

$T_{рТ} = T_3 = 0.0204 \text{ с}$  – постоянная времени регулятора тока

Передаточная функция замкнутого контура тока имеет следующий вид

$$W(p)_{Т\text{ зам}} = \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\text{ТО}} \cdot p + 1)}{a_T T_{\mu\text{ТП}} T_{\mu\text{ТО}} T_{\mu\text{ТЭ}} p^3 + a_T T_{\mu\text{ТЭ}}^2 p^2 + a_T T_{\mu\text{ТЭ}} p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\text{ТО}} \cdot p + 1)}{a_T \cdot T_{\mu\text{ТЭ}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} \cdot p + 1} = \frac{1}{0.0344} \cdot \frac{(0.000444 \cdot p + 1)}{5.5609^{-7} \cdot p^2 + 1.0546^{-3} \cdot p + 1}$$

Настройка контура тока близка к настройке на МО системы 2-го порядка. Однако показатели качества работы оптимизированного контура тока по управлению зависят от отношения малых постоянных времени  $T_{\mu\text{ТП}}$  и  $T_{\mu\text{ТО}}$ . Поскольку контур тока является внутренним контуром, то для уменьшения перерегулирования в нем на входе контура устанавливаем сглаживающий фильтр с передаточной функцией

$$W(p)_{\text{Ф ВХ}} = \frac{1}{T_{\text{Ф ВХ}} \cdot p + 1},$$

постоянную времени которого выбираем из условия

$$T_{\text{Ф ВХ}} = T_{\text{Ф ВХ Т}} = T_{\mu\text{ТО}} = 0.000444 \text{ с}.$$

Передаточная функция замкнутого оптимизированного контура тока с фильтром на входе имеет следующий вид:

$$W(p)_{\text{Т зам}} = \frac{1}{a_{\text{Т}} \cdot T_{\mu\text{тп}} \cdot T_{\mu\text{то}} \cdot T_{\mu\text{тз}} \cdot p^3 + a_{\text{Т}} \cdot T_{\mu\text{тз}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{Т}} \cdot T_{\mu\text{тз}} \cdot p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{1}{a_{\text{Т}} \cdot T_{\mu\text{тз}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{Т}} \cdot T_{\mu\text{тз}} \cdot p + 1} = \frac{1}{5.5609 \cdot 10^{-7} \cdot p^2 + 1.0546 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1}$$

Контур является астатической системой 1-го порядка по управлению и имеет следующие ожидаемые показатели качества работы по управлению:

– статическая ошибка, А,

$$\Delta I_{\text{уст}} = 0;$$

– полоса пропускания контура по фазе и модулю

$$\omega_{\text{п}}^{(\phi)} = \omega_{\text{п}}^{(м)} \approx \frac{0.71}{T_{\mu\text{тз}}} = \frac{0.71}{0.0005273} = 1346.48 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

или

$$f_{\text{п}}^{(\phi)} = f_{\text{п}}^{(м)} = \frac{\omega_{\text{п}}^{(\phi)}}{2\pi} \approx \frac{1346.482}{2 \cdot 3.1415} = 214.3 \text{ Гц};$$

– перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5% зону установившегося значения тока при отработке ступенчатого задания

$$\sigma \approx 4.3 \%,$$

$$t_{\text{ру1}}^{(5)} = t_{\text{ру2}}^{(5)} \approx 4.1 \cdot T_{\mu\text{тз}} = 4.1 \cdot 0.0005273 = 0.002162 \text{ с}.$$

#### **Оптимизация контура потокосцепления**

При оптимизации контура потокосцепления внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представим усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{Т зам}} \approx \frac{1}{T_{\text{Т}} \cdot p + 1},$$

где

$$T_T = a_T \cdot T_{\mu T \Sigma} = 2 \cdot 0.0005273 = 0.0010546 \text{ с}$$

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Структурная схема контура потокосцепления приведена на рисунке 18.

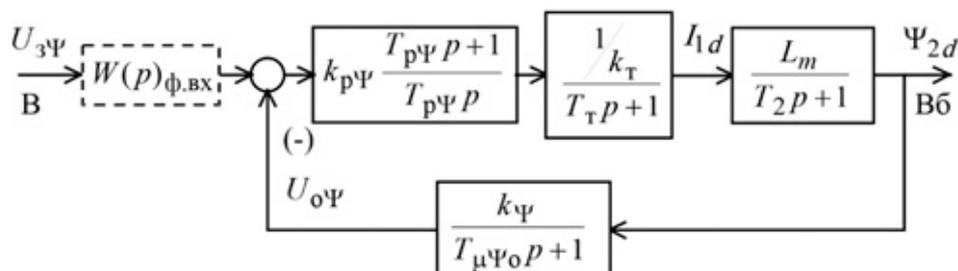


Рисунок 18 Структурная схема контура потокосцепления

Контур потокосцепления характеризуется одной большой постоянной времени в прямом канале  $T_2 = 0.8772 \text{ с}$  и малыми постоянными времени в прямом канале  $T_T = 0.0010546 \text{ с}$  и в цепи обратной связи  $T_{\mu\Psi_0} = 0.00444 \text{ с}$ .

В качестве регулятора потокосцепления принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией

$$W(p)_{p\Psi} = k_{p\Psi} \cdot \frac{T_{p\Psi} \cdot p + 1}{T_{p\Psi} \cdot p}$$

и настраиваем контур потокосцепления на модульный оптимум:

$$T_{p\Psi} = T_2 = 0.8772 \text{ с}$$

– постоянная времени регулятора потокосцепления;

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_{\Psi}} \cdot \frac{1}{a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi \Sigma}} = \frac{0.8772 \cdot 0.0344}{0,02733 \cdot 11,468} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0.005495} = 8,76$$

– коэффициент усиления регулятора потокосцепления,

где

$$T_{\mu\Psi \Sigma} = T_T + T_{\mu\Psi_0} = 0.0010546 + 0.00444 = 0.005495 \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура;

$$k_{\Psi} = \frac{U_{3\Psi \text{ макс}}}{\Psi_{2н}} = \frac{10}{0,872} = 11,468 \frac{\text{В}}{\text{Вб}}$$

– коэффициент обратной связи по потокосцеплению;

$U_{з\psi \text{ макс}} = 10 \text{ В}$  – принятое максимальное значение напряжения

задания на входе контура потокосцепления;

$a_{\psi} = 2$  – коэффициент оптимизации контура потокосцепления.

Передаточная функция замкнутого контура потокосцепления по управлению имеет следующий вид

$$W(p)_{\psi \text{ зам}} = \frac{\frac{1}{k_{\psi}} \cdot (T_{\mu\psi_0} \cdot p + 1)}{a_{\psi} \cdot T_{\tau} \cdot T_{\mu\psi_0} \cdot T_{\mu\psi_3} \cdot p^3 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi_3}^2 \cdot p^2 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi_3} \cdot p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_{\psi}} \cdot (T_{\mu\psi_0} \cdot p + 1)}{a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi_3}^2 \cdot p^2 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi_3} \cdot p + 1} = \frac{\frac{1}{11,468} \cdot (4,44 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1)}{6,039 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0,01099 \cdot p + 1},$$

Настройка контура близка к настройке на МО системы 2-го порядка. Контур является астатической системой регулирования 1-го порядка по управлению и обеспечивает нулевую установившуюся ошибку,  $\Delta\psi_{уст} = 0$ .

В зависимости от соотношения малых постоянных времени в прямом канале  $T_{\mu\psi_{п}}$  и в цепи обратной связи  $T_{\mu\psi_0}$  контур имеет следующие динамические показатели качества работы:

– полоса пропускания по модулю

$$\omega_{п}^{(м)} = \frac{(0,71 \div 0,9)}{T_{\mu\psi_3}} = \frac{(0,71 \div 0,9)}{0,005495} = (129,21 \div 163,785) \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

или

$$f_{п}^{(м)} = \frac{\omega_{п}^{(м)}}{2\pi} \approx \frac{(129,21 \div 163,785)}{2 \cdot 3,1415} = (20,565 \div 26,068) \text{ Гц};$$

– перерегулирование и время первого вхождения в 5 % зону установившегося значения потокосцепления при отработке ступенчатого управляющего воздействия

$$\sigma = (4,3 \div 6,7) \%,$$

$$t_{ру1}^{(5)} = (4,1 \div 2,75) \cdot T_{\mu\psi_3} = (4,1 \div 2,75) \cdot 0,005495 = (0,02253 \div 0,0151) \text{ с}.$$

При полученных значениях перерегулирования в контуре потокосцепления установка на входе контура фильтра нецелесообразна.

### Оптимизация контур скорости

При оптимизации контура скорости внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представим усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{Т зам}} \approx \frac{1}{k_{\text{T}} \cdot T_{\text{T}} \cdot p + 1},$$

где

$$T_{\text{T}} = a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{TЭ}} = 2 \cdot 0.0005273 = 0.0010546 \text{ с}$$

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока, с.

Структурная схема контура скорости приведена на рисунке 19.

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости

$$W(p)_{\text{pc}} = k_{\text{pc}} \cdot \frac{T_{\text{pc}} p + 1}{T_{\text{pc}} \cdot p}.$$

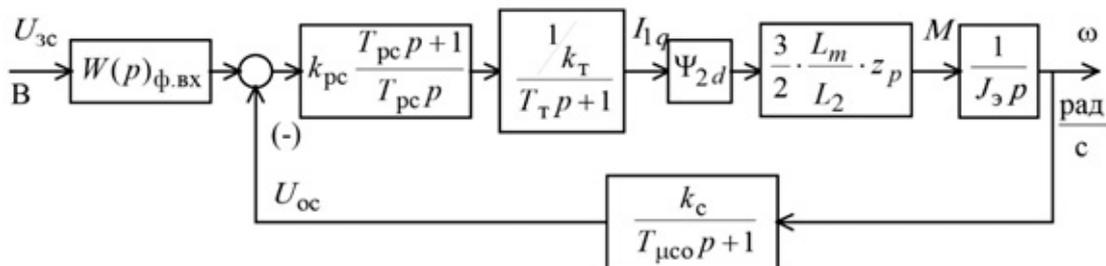


Рисунок 19 Структурная схема контура скорости

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости определяются по выражениям:

$$k_{\text{pc}} = \frac{(J_{\text{э}}) \cdot k_{\text{T}}}{\Psi_{2\text{н}} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot k_c} \cdot \frac{1}{a_c \cdot T_{\mu\text{сэ}}} =$$

$$= \frac{9,746 \cdot 0.0344}{0.872 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,02733}{0,02807} \cdot 4 \cdot 0.1496} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0.005495} = 40,03 ;$$

$$T_{\text{pc}} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu\text{сэ}} = 2 \cdot 2 \cdot 0.005495 = 0.022 \text{ с},$$

где

$$T_{\mu c3} = T_T + T_{\mu c0} = 0.0010546 + 0.00444 = 0.0054495 \text{ c}$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура;

$$k_c = \frac{U_{\text{зс макс}}}{\omega_{\text{эп макс}}} = \frac{10}{66,84} = 0,1496 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$$

– коэффициент обратной связи по скорости;

$$\omega_{\text{эп макс}} = 66,84 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ – требуемое максимальное значение скорости}$$

электропривода;

$U_{\text{зс макс}} = 10 \text{ В}$  – принятое максимальное значение напряжения задания на входе контура скорости;

$b_c = a_c = 2$  – коэффициенты оптимизации контура скорости.

Для фиксации механизма подъема в крайних положения или задаваемых промежуточных предполагается реализация технологического контура положения с импульсным датчиком положения, установленным на валу понижающего редуктора. Поскольку контур скорости является внутренним контуром для контура положения, имеющего безынерционную обратную связь, то на его входе устанавливаем два сглаживающих фильтра с передаточными функциями вида

$$W(p)_{\text{ф.вх}} = \frac{1}{T_{\text{ф.вх}} \cdot p + 1}$$

и постоянными времени, соответственно, равными

$$T_{\text{ф.вх}} = T_{\text{ф.вх с1}} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c3} = 2 \cdot 2 \cdot 0.0054495 = 0.022 \text{ с},$$

$$T_{\text{ф.вх}} = T_{\text{ф.вх т2}} = T_{\mu c0} = 0.00444 \text{ с}.$$

Контур скорости с адаптивным ПИ-регулятором ( $k_{\text{рс}} = f(J_3)$ ) имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{с раз}} = \frac{b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c3} \cdot p + 1}{b_c \cdot a_c^2 \cdot T_T \cdot T_{\mu c0} \cdot T_{\mu c3}^2 \cdot p^4 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu c3}^3 \cdot p^3 + b_c \cdot a_c^2 \cdot T_{\mu c3}^2 \cdot p^2} =$$

– замкнутого контура по управлению

$$W(p)_{\text{с зам}} = \frac{\frac{1}{k_c}}{b_c a_c^2 T_T T_{\mu\text{сo}} T_{\mu\text{сз}}^2 p^4 + b_c a_c^2 T_{\mu\text{сз}}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\mu\text{сз}}^2 p^2 + b_c a_c T_{\mu\text{сз}} p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_c}}{b_c a_c^2 T_{\mu\text{сз}}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\mu\text{сз}}^2 p^2 + b_c a_c T_{\mu\text{сз}} p + 1} =$$

$$\frac{7.876}{1.327373 \cdot 10^{-6} \cdot p^3 + 2.4156 \cdot 10^{-4} \cdot p^2 + 0.022 \cdot p + 1}$$

Настройка контура скорости с двумя фильтрами на входе близка к точной настройке на МО системы 3-го порядка. Контур скорости представляет собой астатическую систему 1-го порядка по управлению и обеспечивает точную отработку заданного значения скорости. Показатели качества работы оптимизированного контура скорости по управлению мало зависят от соотношения малых постоянных времени в прямой цепи и цепи обратной связи  $T_{\mu\text{сп}} = T_T$  и  $T_{\mu\text{со}}$ . Предварительно принимаем следующие значения качественных показателей работы контура скорости:

– статическая ошибка при постоянном значении задающего сигнала  $U_{\text{зс}} = \text{const}$ , рад/с,

$$\Delta\omega_{\text{уст}} = 0;$$

– скоростная ошибка при линейно изменяющемся входном сигнале  $U_{\text{зс}}(t)$

$$\Delta\omega_{\text{ск}} \approx \frac{b_c a_c T_{\mu\text{сз}}}{k_c} \cdot \left( \frac{dU_{\text{зс}}}{dt} \right) = b_c a_c T_{\mu\text{сз}} \cdot \left( \frac{d\omega}{dt} \right)_{\text{зад}} = 0.022 \cdot \left( \frac{d\omega}{dt} \right)_{\text{зад}};$$

– полоса пропускания контура по модулю и по фазе

$$\omega_n^{(м)} \approx \frac{0.5}{T_{\mu\text{сз}}} = \frac{0.5}{0.005495} = 91, \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \text{ или } f_n^{(м)} = \frac{\omega_n^{(м)}}{2\pi} \approx \frac{91}{2 \cdot 3.1415} = 14.5 \text{ Гц},$$

$$\omega_n^{(\phi)} \approx \frac{0.36}{T_{\mu\text{сз}}} = \frac{0.36}{0.005495} = 65.5, \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \text{ или } f_n^{(\phi)} = \frac{\omega_n^{(\phi)}}{2\pi} \approx \frac{65.5}{2 \cdot 3.1415} = 10.43 \text{ Гц};$$

– перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5 % зону установившегося значения скорости при отработке скачка задания

$$\sigma \approx 8.1\%;$$

$$t_{\text{py1}}^{(5)} \approx 7.0 \cdot T_{\text{мсэ}} = 7 \cdot 0.005495 = 0.0385 \text{ с};$$

$$t_{\text{py2}}^{(5)} \approx 12.0 \cdot T_{\text{мсэ}} = 12 \cdot 0.005495 = 0.066 \text{ с}.$$

### **2.13. Имитационные исследования регулируемого электропривода фурмы кислородного конвертора.**

Электропривод фурмы кислородного конвертора работает с постоянным потокосцеплением, равным номинальному значению  $\Psi_{2н}$ , в длительном режиме с постоянной нагрузкой, регулированием скорости и режимами пуска и торможения. Электропривод фурмы требует обеспечения плавности переходных процессов в электроприводе. Для ограничения ускорения (замедления) и рывка на входе регулируемого электропривода предусматриваем установку S-образного задатчика скорости.

С учетом отмеченных особенностей работы электропривода наметим следующие задачи имитационных исследований контуров регулируемого электропривода:

- в контуре потокосцепления статическая ошибка по управлению равна нулю, поэтому оценим только характер переходного процесса и время переходного процесса при отработке ступенчатого задания номинального значения потокосцепления и;

- в контуре скорости с ПИ-регулятором статические ошибки по управления и возмущению равны нулю. Поэтому в процессе имитационных исследований произведем выбор параметров настройки регулятора скорости и оценим работу электропривода в режиме регулирования скорости и в пусковых и тормозных режимах.

#### ***Структурная схема САУ электропривода фурмы кислородного конвертора.***

Учтем следующие основные нелинейности элементов структурной схемы.

- насыщение регулятора скорости, принимаем  $U_{\text{рс макс}} = 10 \text{ В}$ ;

- насыщение регулятора тока, принимаем  $U_{\text{рТ макс}} = 10 \text{ В}$ ;
- ограничение напряжения на выходе инвертора  $E_{\text{и макс}} = 311 \text{ В}$ ;
- реактивный характер момента трения  $M_c(\omega) = M_c \cdot \text{sign } \omega$ .
- насыщение регулятора потокосцепления, принимаем  $U_{\text{рΨ макс}} = 10 \text{ В}$ ;

Структурная схема приведена на рисунке 20. Параметры элементов структурной схемы сведены в таблице 5.

По структурной схеме в программной среде MATLAB набирается имитационная модель, представленная на рисунке 21.

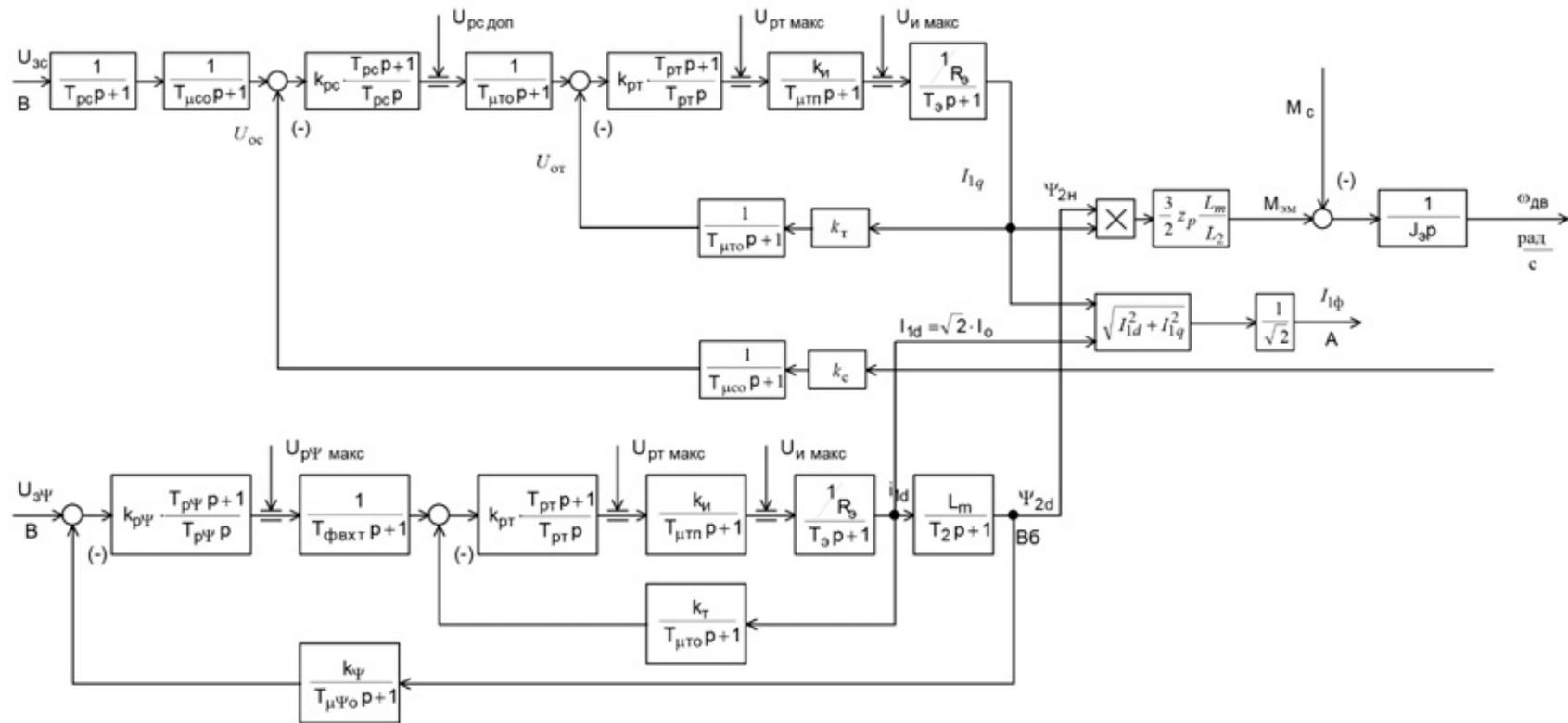


Рисунок 20 Структурная схема САУ электропривода фурмы кислородного конвертора.



В состав имитационной модели рисунке 21 входят суперблоки:

- контура тока (рисунок 22);
- регулятора тока (рисунок 23);
- регулятора скорости (рисунок 24);
- регулятора потокосцепления (рисунок 25).
- механической системы приемного устройства (рисунок 26).

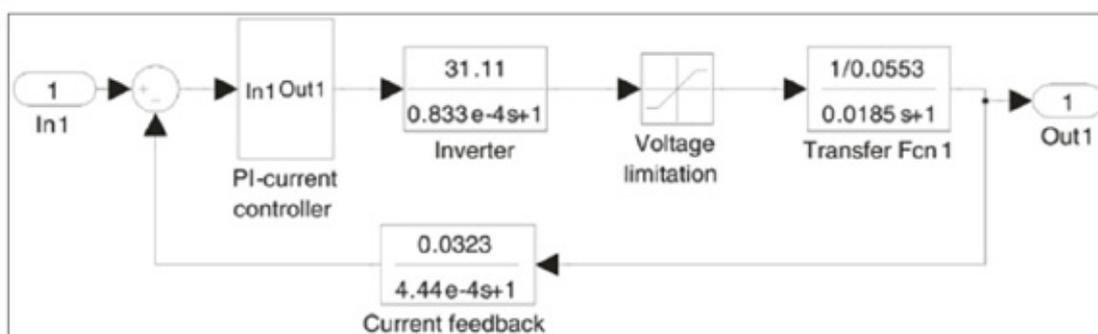


Рисунок 22 Схема набора имитационной модели контура тока

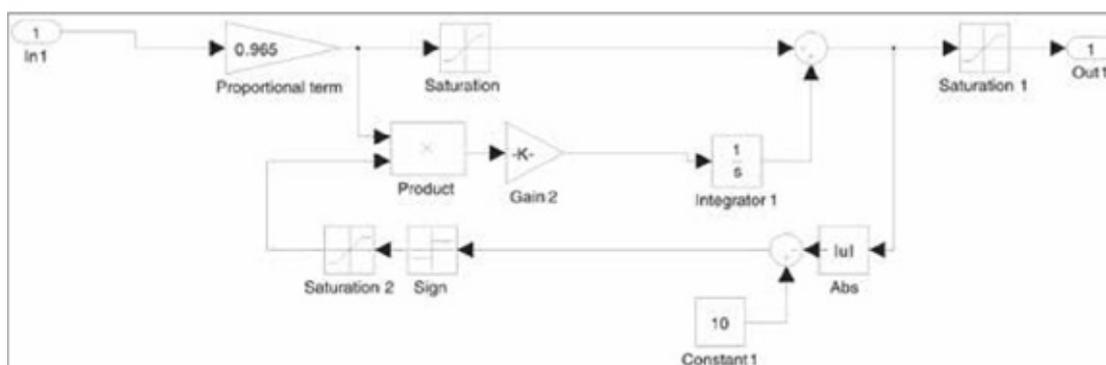


Рисунок 23 Схема набора имитационной модели регулятора тока

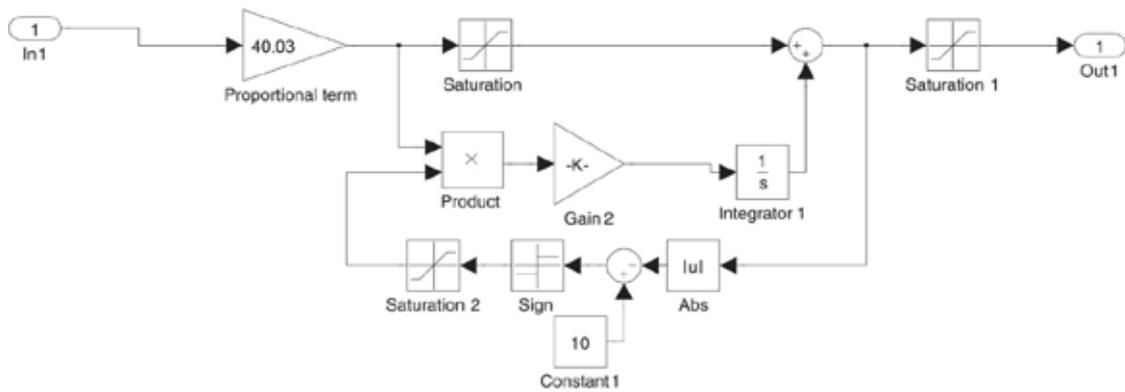


Рисунок 24 Схема набора имитационной модели регулятора скорости

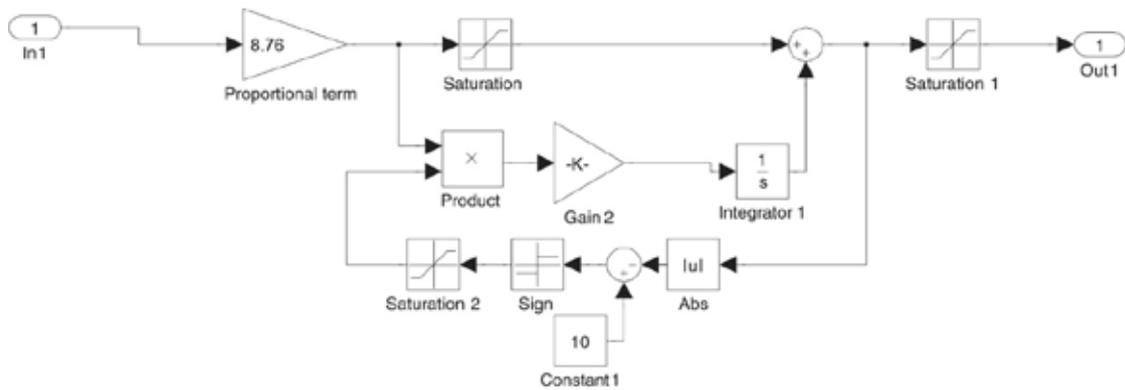


Рисунок 25 Схема набора имитационной модели регулятора потокосцепления

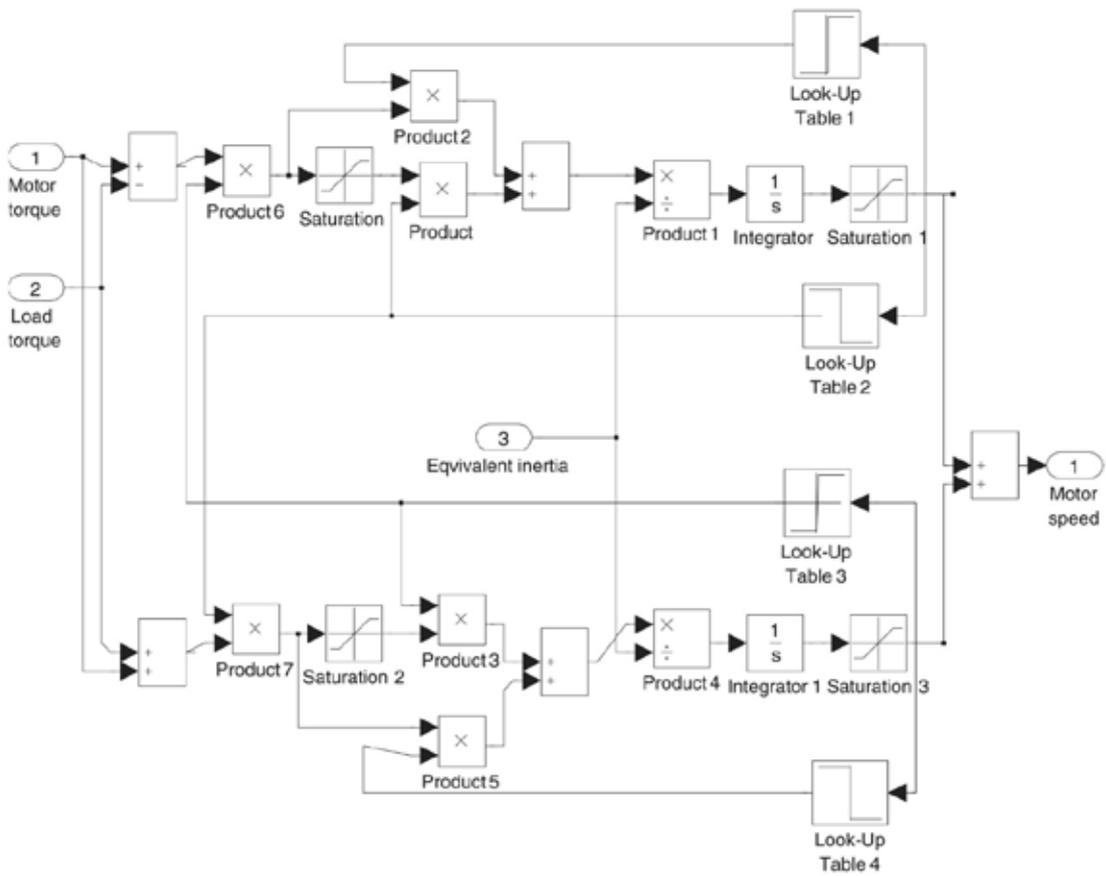


Рисунок 26 Схема набора имитационной модели механической системы

Таблица 5 Параметры элементов структурной схемы

$U_{3\Psi}, \text{ В}$	$k_{p\Psi}$	$T_{p\Psi}, \text{ с}$	$k_{\Psi}, \frac{\text{В}}{\text{Вб}}$	$T_{\mu\Psi_0}, \text{ с}$	$T_{\Phi \text{ вх Т}}, \text{ с}$	$k_{pT}$	$T_{pT}, \text{ с}$	$k_T, \frac{\text{В}}{\text{А}}$	$T_{\mu\tau_0}, \text{ с}$	$k_{\text{И}}$	$T_{\mu\text{тп}}, \text{ с}$	$R_3, \text{ Ом}$
10	8,76	0,8772	11,468	0,00444	0,000444	1,13	0,0204	0,0344	0,000444	31,11	0,0000833	0,0623

Продолжение таблицы 5

$T_3, \text{ с}$	$L_m, \text{ Гн}$	$T_2, \text{ с}$	$\Psi_{2\text{дл}}, \text{ Вб}$	$U_{p\Psi \text{ макс}}, \text{ В}$	$U_{pT \text{ макс}}, \text{ В}$	$T_{\Phi \text{ вх с1}}, \text{ с}$	$T_{\Phi \text{ вх с2}}, \text{ с}$	$k_{pc}$
0,0204	0,02733	0,8772	0,872	$\pm 10$	$\pm 10$	0,022	0,00444	40,03

Продолжение таблицы 5

$T_{pc}, \text{ с}$	$k_c, \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$	$T_{\mu\text{co}}, \text{ с}$	$T_{\Phi \text{ вх Т}}, \text{ с}$	$k_{pT}$	$T_{pT}, \text{ с}$	$k_T, \frac{\text{В}}{\text{А}}$	$L_2, \text{ Гн}$	$z_p$	$J_3^*, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	$\omega_{\text{макс}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$I_{1q \text{ макс}}, \text{ А}$	$U_{\text{и макс}}, \text{ В}$
0,022	0,1496	0,00444	0,000444	1,13	0,0204	0,0344	0,000739	4	8,93	66,43	290,93	311

## Программа имитационных исследований контура потокосцепления

Программа имитационных исследований контура потокосцепления включает в себя оценку процесса формирования номинального значения потокосцепления двигателя.

Структурная схема контура потокосцепления приведена на рисунке 27

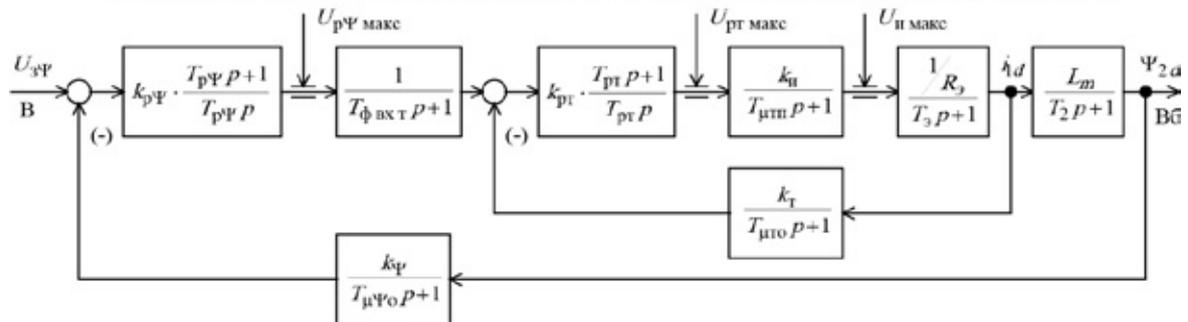


Рисунок 27 Структурная схема контура регулирования потокосцепления

По структурной схеме рисунка 27 набираем имитационную модель контура потокосцепления (рисунок 28).

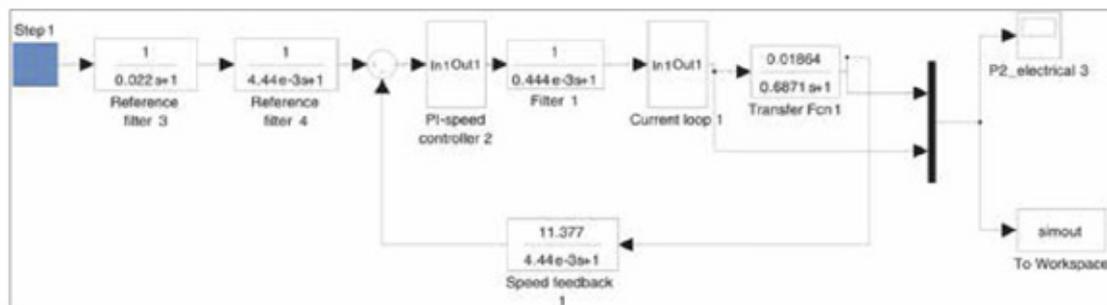


Рисунок 28 Схема набора имитационной модели контура потокосцепления

На рисунке 29 приведены временные диаграммы изменения тока намагничивания  $I_{1d}(t)$  и потокосцепления  $\Psi_{2d}(t)$  при ступенчатом задании управления на входе контура  $U_{3\Psi} = 10 \text{ В}$ .

Процесс формирования потокосцепления двигателя характеризуется следующими количественными показателями:

- установившееся значение потокосцепления  $\Psi_{2d} = \Psi_{2н} = 0.879$  Вб;
- статическая ошибка отработки заданного значения потокосцепления  $\Delta\Psi_{уст} = 0$ ;
- время достижения значения  $0.95 \cdot \Psi_{2d\text{ уст}}$   $t_1^{(s)} \approx 0.115$  с.

Внутренний контур тока обеспечивает ограничение максимального значения тока на уровне  $I_{ld\text{ макс}} = I_{lq\text{ макс}} = 311$  А и установившееся значение тока равное  $I_{ld\text{ уст}} = 47,16$  А.

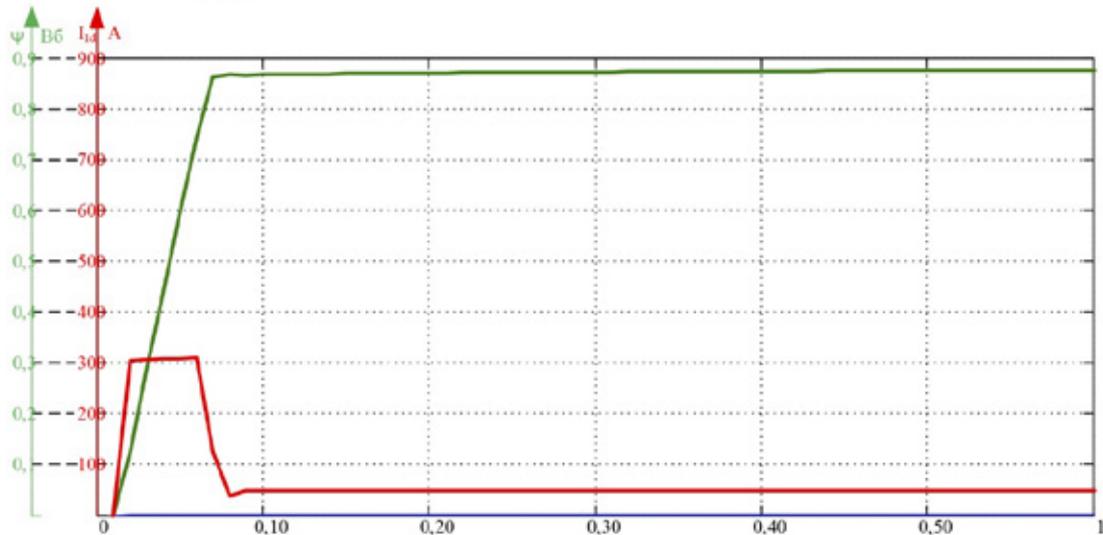


Рисунок 29 Переходные процессы в контуре потокосцепления при  $U_{3\Psi} = 10$  В

### Задатчик интенсивности скорости

Для обеспечения требуемой повышенной плавности движения с ограниченными значениями ускорения и рывка (второй производной скорости). С этой целью на входе регулируемого электропривода установлен S-образный задатчик скорости, формирующий на входе контура скорости управляющие сигналы с ограниченными значениями первой и второй производными. Форма выходной сигнала задатчика скорости представлена на рисунке 30. Схема набора имитационной модели S-образного задатчика скорости приведена на рисунке 31.

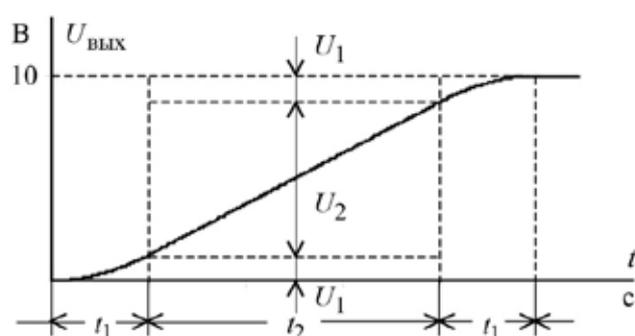


Рисунок 30 Временная характеристика S-образного задатчика скорости

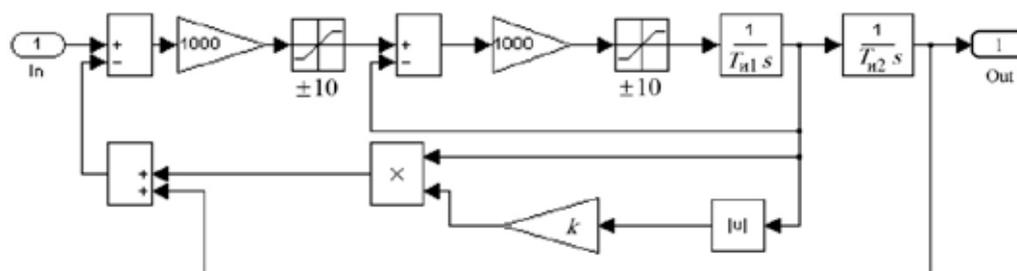


Рисунок 31 Схема набора имитационной модели задатчика скорости

Настройка задатчика интенсивности скорости осуществлена из условия времени пуска привода на максимальную скорость, соответствующую максимальной скорости подъёма (спуска)  $V_{\text{макс}} = 0,734 \text{ м/с}$ ,

$$t_2 + 2 \cdot t_1 = 1 \text{ с.}$$

Интервалы времени сглаживания ( $t_1$ ) приняты равными 0,2 секунды, тогда  $t_2 = 0,6$  с.

Параметры настройки задатчика интенсивности скорости:

$$T_{и1} = t_1 = 0,2 \text{ с}; \quad T_{и2} = t_2 + t_1 = 0,6 + 0,2 = 0,8 \text{ с};$$

$$k = 0,05 \cdot \frac{t_1}{t_2 + t_1} = 0,05 \cdot \frac{0,2}{0,6 + 0,2} = 0,0125.$$

#### **2.14. Расчет переходных процессов**

Расчет переходных процессов в электроприводе проведен на ПК с использованием прикладной программы MATLAB. Расчет переходных процессов произведен для фурмы режимов опускания, всего цикла и наброс двукратной нагрузки на противовес (заклинивание). Исходные данные для расчета по программе MATLAB представлены в таблице 5. Схема набора имитационной модели согласно рисунка21.

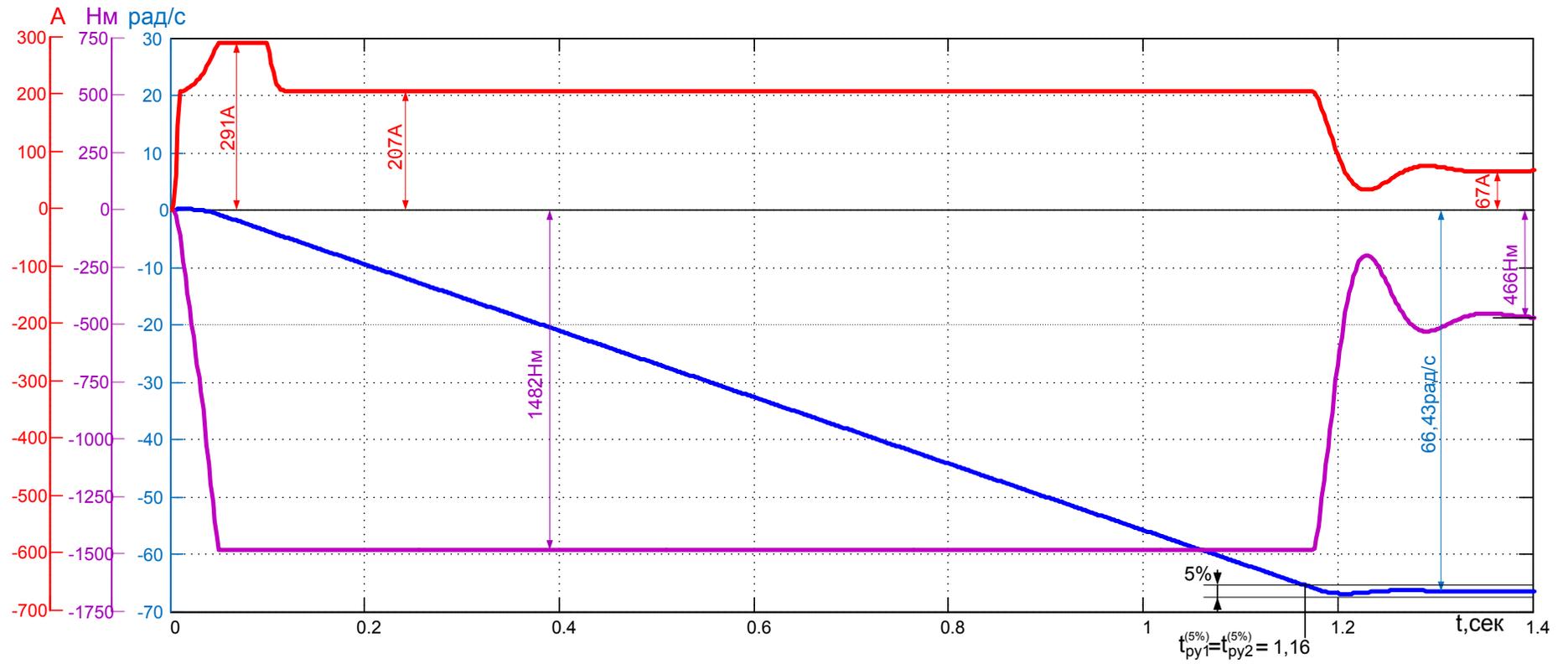


Рисунок 32 График переходных процессов при спуске фурмы

Задание

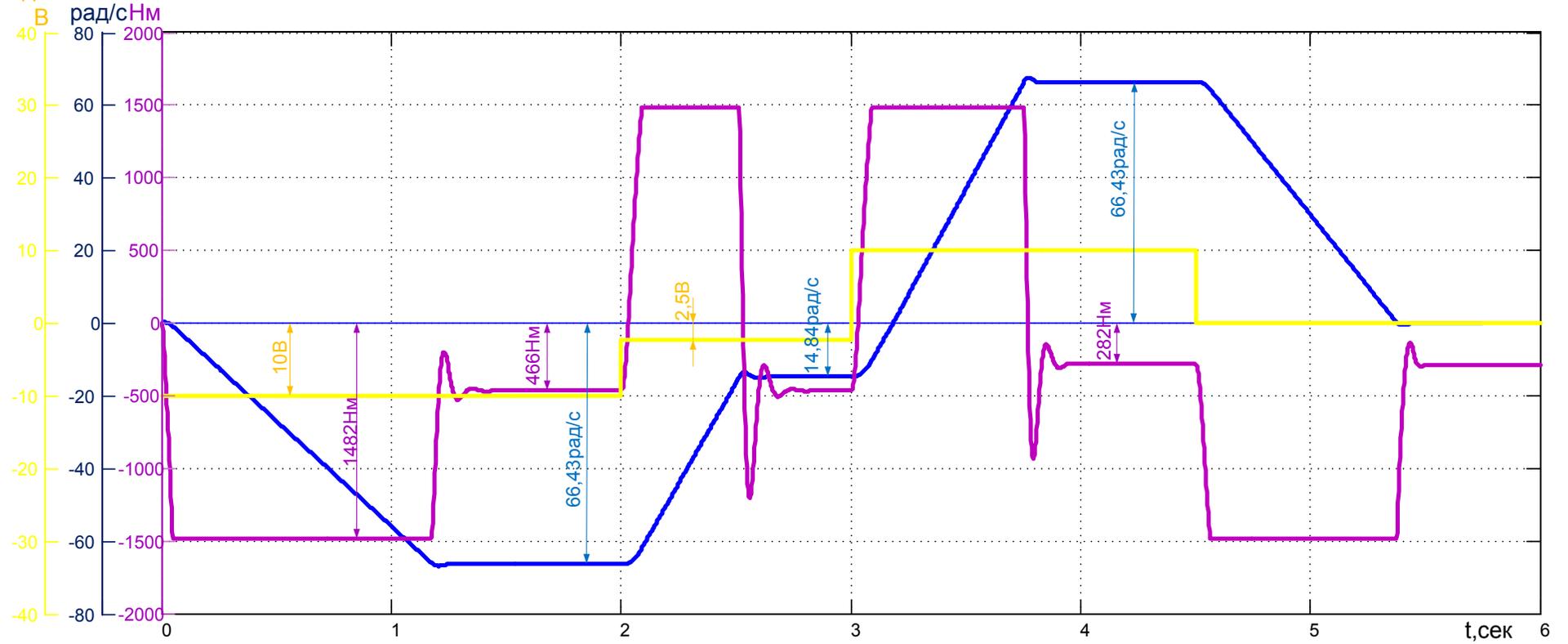


Рисунок 33 График переходных процессов цикла работы фуры

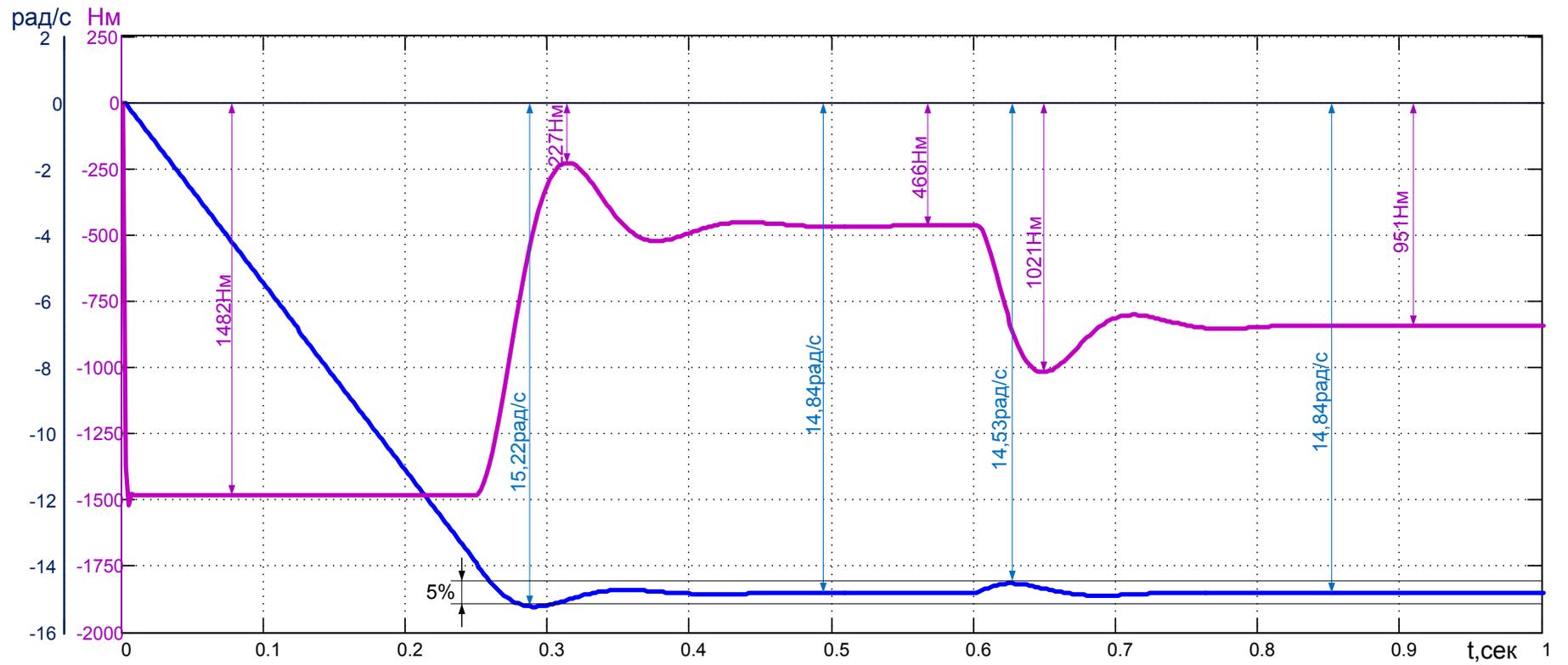


Рисунок 34 График переходных процессов при двукратном набросе нагрузки. Скорость не выходит из 5% зоны.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г2Б1	Баеву Антону Игоревичу

<b>Институт</b>	Институт электронного обучения (ИнЭО)	<b>Кафедра</b>	ЭПЭО
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
<i>1. Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	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.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления по страховым взносам – 30 %

<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	1. Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование, 1.1 Потенциальные потребители результатов НТП. 1.2 SWOT-анализ. 1.3 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
<i>2. Планирование и формирование бюджета</i>	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 электропровода.
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования</i>	3.1 Интегральный финансовый показатель. 3.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности. 3.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

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

1. Диаграмма Ганта
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко Аркадий Альбертович	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Г2Б1	Баев Антон Игоревич		

### **3. 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.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является оценка эффективности проекта, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- 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.

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

#### **3.1.1 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.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты (см. табл. 6).

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

### 3.1.2 SWOT-анализ

SWOT– Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для проведения комплексного анализа проводимого исследования выделим несколько этапов:

1. Описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта.

Таблица 6. Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны проекта:</b> 1. Универсальность применения разрабатываемых математических моделей; 2. Наличие опытного научного-руководителя; 3. Актуальность проводимого исследования.	<b>Слабые стороны проекта:</b> 1. Возможность появления новых методов; 2. Требуется тщательного сбора исходных данных; 3. Многостадийность методики. 4. Требуется уникального оборудования
	4. Невысокая стоимость проекта относительно иностранных компаний при конкурентной надежности разработки 5. Широкая сфера применения	5. Иностранные конкуренты обеспечивают чуть более высокие показатели эффективности

<p><b>Возможности:</b></p> <p>1. Возможность создания партнерских отношений с рядом производственных металлургических предприятий;</p> <p>2. Большой потенциал применения метода математического моделирования динамических процессов;</p> <p>3. Большая стоимость конкурентных разработок;</p> <p>4. Рост потребности в обеспечении безопасности технологического процесса и сокращения экономических издержек.</p> <p>5. Возможность доработки проекта и изменения его под конкретные нужды потребителя</p>	<p>1. Актуальность разработки, дает возможность сотрудничать с рядом производственных металлургических предприятий;</p> <p>2. Рост потребности в обеспечении безопасности технологического производственного процесса и сокращения экономических издержек возможен за счет принципиально новой методики.</p>	<p>1. Появление новых методов может снизить коммерческий потенциал использования результатов проектирования и метода математического моделирования динамических процессов.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>1. Развитая конкуренция в сфере математического моделирования технологических процессов металлургических производств</p> <p>2. Захват внутреннего рынка иностранными компаниями</p>	<p>1. Универсальность применения разрабатываемых математических моделей и обширная сфера применения программного комплекса минимизируют влияния развитой конкуренции в обозначенной сфере</p>	
<p>3. Малые скорости внедрения</p> <p>4. Несвоевременное финансовое обеспечение</p> <p>5. Вероятность доработки проекта для получения необходимых показателей работы</p>	<p>дителя обеспечивают выход на внутренний рынок</p>	

2. Выявление соответствия сильных и слабых сторон научно – исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Таблица 7. Интерактивная матрица проекта (возможности – сильные стороны)

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	+	+	0	0	+
	B3	-	-	+	+	+
	B4	0	-	+	0	+
	B5	0	+	+	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: B1C1C2C3C4C5, B2C1C2C5, B3C3C4C5, B4C3C5, B5C2C3.

Таблица 8. Интерактивная матрица проекта (возможности – слабые стороны)

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	0	-	-	+
	B2	+	-	-	-	-
	B3	0	-	0	-	0
	B4	0	-	-	0	-
	B5	0	0	0	0	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B1Сл1Сл5, B2Сл1, B5Сл5

Таблица 9. Интерактивная матрица проекта (Угрозы – сильные стороны)

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	+	0	0	-	0
	У2	+	0	-	+	0
	У3	0	-	0	0	0
	У4	0	-	0	+	0
	У5	0	+	0	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и угроз: У1С1, У2С1С4, У4С4, У5С2.

Таблица 10. Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	0	-	0	-
	У2	-	-	0	-	-
	У3	-	0	0	0	0
	У4	0	-	-	-	-
	У5	-	-	0	0	0

Коррелирующие слабые стороны и угрозы не выявлены.

Вывод: заявленная методика имеет большой потенциал, широкий круг потенциальных потребителей, а также возможность выхода на внутренний рынок.

### **3.1.3 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-четыре 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 автомат. 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 DIN EN ISO 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

<b>Характеристики</b>	<b>MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS</b>
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, E, 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/BGV A3;
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.

### **3.2. Планирование и формирование бюджета проектной работы**

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

#### **3.2.1 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				Исполните ли
	$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	$T_p$ , 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. Технико-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:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min i} + 2 \cdot t_{max i}}{5},$$

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

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

$t_{max i}$  - 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 (построен в форме диаграммы Ганта) ДР на февраль

Этап	Содержание работ	Исполнит.	t-емкость дн.		Февраль																																			
			Раб	Кален	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	26	27	28	29							
1	Разработка ТЗ	Рук.проект	2	2	█																																			
		Инженер	2	2	█																																			
2	Разраб.плана работ и технико-экон-е обоснование проекта	Рук.проект	2	2			█																																	
		Инженер	2	2			█																																	
3	Описание объекта автоматизации	Инженер	8	12					█																															
4	Кинематическая схема механизма	Инженер	7	13																																				

- Выходные дни  
 - Праздничные дни





Таблица 16. Календарный план – график ДР на апрель -май

Эт ап	Содержание работ	Исполнит.	t-емкость дн.		Апрель Май																																	
			Раб	Кален	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3				
				.	9	0										0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	
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																																		

-  - Выходные дни
-  - Праздничные дни

### **3.4. 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 подсчёт объёма 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 налаживаемого объекта.

Цены на проведение ПНР определены, исходя из сложности серийно выпускаемых, освоенных промышленностью электрических устройств, в соответствии с требованиями 3 части СНиП 3.01.01-85 "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

<b>№</b>	<b>Состав работы</b>	<b>Стоимость ПНР (%) от общей сметной стоимости</b>
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

<b>Основные этапы</b>	<b>№ раб</b>	<b>Содержание работ</b>	<b>Должность исполнителя</b>
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

<b>Основные этапы</b>	<b>№ раб</b>	<b>Содержание работ</b>	<b>Должность исполнителя</b>
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

<b>Основные этапы</b>	<b>№ раб</b>	<b>Содержание работ</b>	<b>Должность исполнителя</b>
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

### 3.4.1 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		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	
		Рабочие	Кален.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0											0	1	2	3	4
				ие	.	п	в	с	ч	п	с	в	п	в	с	ч	п	с	в	п	в	с	ч	п	с	в	п	в	с
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

### 3.4.2 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	Прибыль	20722,35	8% от п.4
6	Цена ПНР	279751,69	п.4+п.5

Продолжение таблицы 24. Общая стоимость затрат на проведение ПНР

№	Наименование статей	Плановые расходы (руб)	Примечание
7	НДС	50355,30	18% от п.6
8	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 апреля 2016 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.

### 3.5 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

#### 3.5.1 Расчет стоимости силовой электроэнергии

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

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

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:

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

где  $C_э=3,52$  руб. – стоимость одного кВт-часа электроэнергии для промышленных предприятий.

### 3.5.2 Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации:

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

где  $K$  – капитальные вложения в электрооборудование;

$H_A$  – проценты отчислений на амортизацию

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

### 3.5.3 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:

$$Z_{нал} = \frac{(1,4 \cdot 1,3 \cdot Z_T + H_{над}) \cdot P_k}{F_d},$$

где  $Z_T$  – оклад в месяц;

$H_{над}$  – надбавка за сложность, равная 3000 руб.;

$P_k$  – коэффициент, учитывающий районное регулирование, равен 1,3;

$F_d$  – 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:

$$Z_{\text{осн}} = Z \cdot \dot{t}_p ;$$

где  $\dot{t}_p$  – период рабочего времени»;

$\dot{t}_p = 247$  – период рабочего времени – 1 год ( в 2016 году 247 рабочих дней);

Рассчитываем основную заработную плату за год:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{нал}} \cdot \dot{t}_p = 1155,94 \cdot 247 = 285517,18 \text{руб.};$$

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%:

$$\text{Страховые взносы} = 30\% \cdot Z_{\text{сум}} = 0,30 \cdot 328344,76 = 98503,43 \text{ руб.};$$

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

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

### 3.5.4 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).

## 3.6 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.

### 3.6.1 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.

### 3.6.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определяется следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

Где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$  – го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$  – го варианта исполнения разработки;

$b_i', b_i''$  – бальная оценка  $i$  – го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 27).

Таблица 27. Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	3	3
3. Помехоустойчивость	0,15	4	3	5
4. Энергосбережение	0,20	5	5	5
5. Надежность	0,25	5	4	5
6. Материалоемкость	0,15	5	5	3
ИТОГО	1	4,85	4,15	4,4

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 4,85$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 4,15$$

$$I_{p-исп3} = 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 = 4,4$$

### 3.6.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

$I_{истi}$  определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр1}} = \frac{4,85}{0,91} = 5,33;$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр2}} = \frac{4,15}{1} = 4,15;$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{I_{p-\text{исп3}}}{I_{\text{финр}}} = \frac{4,4}{0,98} = 4,49;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл.27) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ ):

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{I_{\text{исп1}}}{I_{\text{исп1}}} = \frac{5,33}{5,33} = 1;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср2}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}} = \frac{4,15}{5,33} = 0,78;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср3}} = \frac{I_{\text{исп3}}}{I_{\text{исп1}}} = \frac{4,49}{5,33} = 0,84;$$

Таблица 28. Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,91	1,0	0,98
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,85	4,15	4,4
3	Интегральный показатель эффективности	5,33	4,15	4,49
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,0	0,78	0,84

Сравнение значений с позиции финансовой и ресурсной эффективности указывает на первый вариант - преобразователь частоты фирмы SIEMENS модель MICROMASTER 440, двигатель асинхронный фирмы SIEMENS серии 1LG4253-4AA-Z - исполнения, как наиболее эффективный.

## **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.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г2Б1	Баев Антон Игоревич

<b>Институт</b>	<b>ИнЭО</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭПЭО</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	140400/140610.65

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	«Регулируемый электропривод системы подачи кислорода в конвертер» на предприятии ОАО ЗСМК. - область применения - Сталеплавильное производство. - конвертерный цех.
--	---

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- показатели микроклимата;</li> <li>- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>- действие фактора на организм человека;</li> <li>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>- предлагаемые средства защиты;</li> <li>- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).</li> </ul>	<p>Анализ вредных факторов:</p> <p><b>1. Микроклимат</b> (ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»; СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- температура воздуха <math>t = 25^{\circ}\text{C}</math>;</li> <li>- относительная влажность воздуха <math>\phi = 75\%</math>;</li> <li>- скорость движения воздуха 1 м/с.</li> </ul> <p><b>2. Шум</b> (ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности»): не превышает 85 дБ. СИЗ: наушники, противoshумные каски</p> <p><b>3. Вибрация</b> (ГОСТ 12.1.012 – 90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования», Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»): не превышает 92 дБ. Защита: наблюдение за оборудованием и своевременное его обслуживание.</p> <p><b>4. Электромагнитное излучение</b> (ГОСТ 12.1.002 – 84 "Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах"): не более 5 кВ/м (в пределах нормы).</p> <p><b>5. Освещенность рабочей зоны</b> (ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений»): 200 лк, (разряд IV, подразряд "в"). Применение местного освещения в случае необходимости.</p> <p>Анализ опасных факторов:</p> <p><b>1. Механические травмы</b> («Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок») ПОТРМ-016-2001; РД 153 -34,0-03,150-00).</p> <p><b>2. Термическая опасность:</b> отсутствует.</p> <p><b>3. Электробезопасность</b> (ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»; ПУЭ; Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»). Защита: ограждения, сигнализация, плакаты, экраны. СИЗ: боты, перчатки, ковры, клещи, шанги.</p>
--	---

<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p><b>1. Воздействие на селитебную зону</b> (СанПиН 2.2.1/21.1-1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»): отсутствует.</p> <p><b>2. Воздействие на атмосферу</b> (ГН 2.1.5.2280-07 «ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования»): отсутствуют.</p> <p><b>3. Воздействия объекта на гидросферу</b> (ГОСТ 17.1.3.06-82 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод»): выбросы теплоты в водоемы, изменение условий ледостава и зимнего гидрологического режима.</p> <p><b>4. Воздействия на литосферу</b> (ГОСТ 30772-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения»): потребление ресурсов литосферы, золоотвалы.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого цеха является пожар (Федеральный закон от 22.07.2013 г. №213-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»). Для обеспечения безопасности приняты меры:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- установлена автоматическая пожарная сигнализация и система автоматического пожаротушения;</li> <li>- разработана инструкция по пожарной безопасности для работников;</li> <li>- помещения оснащены первичными средствами пожаротушения;</li> <li>- разработан план эвакуации работников при пожаре;</li> <li>- назначено ответственное лицо при возникновении ЧС.</li> </ul>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций»;</li> <li>- Правило внутреннего трудового распорядка предприятия;</li> <li>- Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны (ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности и настоящего стандарта»; ГОСТ 12.2.049-80 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.»).</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	к.х.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Баев Антон Игоревич		

## 4 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.

Работы, выполняемые при установке и последующей эксплуатации электропривода MICROMASTER 440 механизма подъема кислородной фурмы можно условно разделить на следующие группы:

- монтаж электропривода MICROMASTER 440;
- настройка электропривода MICROMASTER 440;
- работы по техническому обслуживанию электропривода;
- работы по ликвидации аварий и устранению неисправностей.

Кроме того, проводятся планово–предупредительные ремонты электрооборудования, выполняемые в сроки ремонтов основного технологического электрооборудования по составленным и утвержденным графикам ППР.

## 4.1 Производственная безопасность

Перечень опасных и вредных производственных факторов, характерные для конвертерного цеха представим в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Опасные и вредные производственные факторы при выполнении работ в рассматриваемом цехе:

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<p>Виды работ:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Техническое обслуживание;</li> <li>2. Осмотры электрооборудования и электроаппаратуры;</li> <li>3. Испытания</li> <li>4. Текущий ремонт и капитальный ремонт электрооборудования и электроаппаратуры</li> </ol> <p>Источники факторов:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Электрооборудование и электроаппаратура</li> <li>2. Станки различного назначения</li> <li>3. Кран-балки</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>2. Повышенный уровень электромагнитных излучений;</li> <li>3. Повышенный уровень шума на рабочем месте;</li> <li>4. Повышенный уровень вибрации;</li> <li>5. Отклонение показателей микроклимата.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы;</li> <li>2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>3. Пожар.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [14]</li> <li>2. ПУЭ [15]</li> <li>3. Приказ №328 [16]</li> <li>4. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [17]</li> <li>5. ПОТ Р М-016-2001 [18]</li> <li>6. РД 153-34.0-03.150-00 [19]</li> <li>7. ГОСТ 12.2.003-91 [20]</li> <li>8. СанПиН 2.2.4.548-96 [21]</li> <li>9. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [22]</li> <li>10. СНИП 41-01-2003 [23]</li> <li>11. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ [24]</li> <li>12. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ [25]</li> <li>13. СН 2.2.4/2.1.8.556 [26]</li> <li>14. СанПиН 2.2.4.1191-03 [27]</li> <li>15. СП 51.13330.2011 [28]</li> <li>16. ГОСТ 17.1.3.13-86 [29]</li> <li>17. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [30]</li> <li>18. ГН 2.2.5.2308-07 [31]</li> <li>19. ГОСТ Р 22.0.07-95 [32]</li> <li>20. ФЗ № 68-ФЗ [33]</li> <li>21. ГОСТ Р 22.3.03-94 [34]</li> <li>22. ФЗ №213-ФЗ [35]</li> <li>23. РД 153-34.0-03.301-00 [36]</li> <li>24. ПП №188 [37]</li> <li>25. ФЗ №426-ФЗ [38]</li> </ol>

## 4.2 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.

Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [21].

Показателями, характеризующими микроклимат, являются:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Человек постоянно находится в процессе теплового взаимодействия с окружающей средой. Для того чтобы физиологические процессы в его организме протекали нормально, тепло должно отводиться в окружающую среду. В условиях у человека не возникает беспокоящих его тепловых ощущений – перегрева или переохлаждения.

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 8.2 [21].

Таблица 8.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	IIa (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
Теплый	IIa (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2

Допустимые макроклиматические условия установлены по критериям 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 показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенные в таблице 8.3 [21].

Таблица 8.3 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптим. вел.	Диапазон выше оптим. вел.			Для диапазона темпер. воздуха ниже оптим. вел., не более	Для диапазона темпер. воздуха выше оптим. вел., не более
Холодный	IIa (175-232)	17-18,9	21,1-23	16-24	15-75	0,1	0,3
Теплый	IIa (175-232)	18-19,9	22,1-27	17-28	15-75	0,1	0,4

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 таблице 8.4 [21].

Таблица 8.4 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников

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

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.) не должны превышать 140 Вт/м<sup>2</sup>. При этом облучению не должно подвергаться более 25 % поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Мероприятия по созданию условий для нормальной терморегуляции организма:

1. Механизация и автоматизация производств.
2. Теплоизоляция и экранизация.
3. Естественная и искусственная вентиляция производственных помещений.
4. Рациональный питьевой режим, кратковременные перерывы в работе, спецодежда.
5. Вентиляция и отопление.

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 [22] В рассматриваемом цехе используются малоопасные вредные вещества (ПДК > 10 мг/м<sup>3</sup>). Основной мерой борьбы с вредными веществами является применение системы вентиляции.

Нормы производственной вентиляции установлены согласно СНиП 41-01- 2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [23].

На рабочем месте предусматривается искусственная приточно-вытяжная общеобменная вентиляция с расходом воздуха на одного работающего не менее 60 м<sup>3</sup>/ч.

### ***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 (например, при проверке органами надзора, выявлении необходимости осуществления мер по шумоглушению и др.) допускается в качестве характеристики постоянного

широкополосного шума на рабочих местах принимать уровень звука значение которого приведено в ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности» [24].

Допустимый уровень звукового давления для цеха 75 дБ в октавных полосах со среднегеометрической частотой 1000 Гц и уровень звука 80 дБА [24].

В механических устройствах часто причинами не допустимого шума являются износ подшипников, неточная сборка деталей при ремонтах и т. п. Поэтому в процессе эксплуатации всех видов машин и механизмов следует точно выполнять все требования Правил технической эксплуатации.

ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Квалификация» [25]. предусматривает следующие меры для снижения уровня шума:

- Устройство кратковременных перерывов в работе.
- Установка в помещениях звукопоглощающих конструкций и экранов.
- Качественное изготовление деталей станков и машин.
- Звукоизоляция ограждающих конструкций.
- Укрытия в кожухи источников шума.
- Применение средств индивидуальной защиты (беруши, против шумные наушники, шлемофоны и др.).

### ***Повышенный уровень вибрации***

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием СН 2.2.4/2.1.8.556 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [26].

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.

Физические вибрации характеризуются частотой (Гц, 1/с), амплитудой виброперемещения (м), виброскоростью и виброускорением.

Таблица 8.5 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест

Вид вибрации:	Среднегеометрические частоты, Гц.					
	2	4	8	16	32,5	63
Технологическая						
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. Применение средств индивидуальной защиты: рукавицы с прокладкой на ладонной поверхности и обувь на толстой мягкой подошве.

### ***Повышенный уровень электромагнитных излучений***

Нормирование ЭМП промышленной частоты осуществляется по предельно допустимым уровням напряженности электрического и магнитного поля частотой 50 Гц в зависимости от времени пребывания в нем СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» [27].

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].

К основным методам защиты относятся:

- выбор рациональных режимов работы оборудования;
- ограничение места и времени нахождения работающих в ЭМП;
- защита расстоянием;
- рациональное размещение в рабочем помещении оборудования;
- уменьшение мощности источника излучений;
- использование поглощающих или отражающих экранов;

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***

К современному производственному освещению предъявляют высокие требования гигиенического и технико-экономического характера. Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое воздействие на рабочих, содействует повышению производительности труда.

Искусственное освещение в производственных помещениях должно удовлетворять нормам СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» [28].

Для безопасного продолжения работы или выхода людей из помещений при внезапном отключении, должно быть предусмотрено аварийное освещение. Длительное снижение напряжения у наиболее удаленной лампы не должно быть более 5%. Питание аварийного освещения должно быть надежным и от независимого источника. Для аварийного освещения должны применяться светильники, отличающиеся от светильников рабочего освещения типом или размером, или на них должны быть нанесены специальные знаки [28].

В цехе предусмотрено четыре системы освещения: общее, аварийное, эвакуационное и ремонтное. Норма освещенности для рассматриваемого цеха приведена в таблице 8.6 [28].

Таблица 8.6 – Норма освещенности для рассматриваемого цеха

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. Данные светильники оборудованы аккумуляторными батареями и приборами автоматики, так что при исчезновении напряжения в сети, автоматически включаются с помощью собственного источника питания.

Ремонтное освещение предусматривается в технических помещениях, и осуществлено переносными светильниками напряжением питания 36 В. Светильники подключаются с помощью штепсельной розетки, которая размещена в отдельном корпусе вместе с трансформатором 220/36В.

### 4.3 Анализ выявленных опасных факторов

#### *Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека*

Настоящий стандарт ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» [14] устанавливает предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека, предназначенные для проектирования способов и средств защиты людей, при взаимодействии их с электроустановками производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц, ПУЭ [15], Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328 н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» [16].

В отношении опасности поражения электрическим током рассматриваемый цех относится к помещению с повышенной опасностью. В цехе присутствует токопроводящая пыль, и есть 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 [15]. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов установлены для путей тока от одной руки к другой и от руки к ногам [14].

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 8.7 [14].

Таблица 8.7 – Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки

Род тока	U, В	I, мА
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Основные факторы, определяющие опасность поражения электрическим током:

- электрическое сопротивление тела человека;
- величина напряжения и тока;
- продолжительность воздействия электрического тока;
- условия внешней среды и состояние человека;
- род и частота электрического тока;
- пути тока через тело человека.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1000 В с глухозаземленной или изолированной нейтралью и выше 1000 В с изолированной нейтралью не должны превышать значений, указанных в таблице 8.8 [14].

Таблица 8.8 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t, с							
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	Св.1,0
Переменный 50 Гц	U, В	340	135	105	85	75	70	60	20
	I, мА	400	160	125	90	75	65	50	6
Переменный 400 Гц	U, В	500	330	200	140	130	110	100	36
	I, мА								8
Постоянный	U, В	500	350	250	230	220	210	200	40
	I, мА								15

Защиту человека от воздействия напряжений прикосновения и токов обеспечивают конструкция электроустановок, технические способы и средства защиты, организационные и технические мероприятия по ГОСТ Р 12.1.019-2009 [17].

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства [16]:

- защитные оболочки;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляцию токоведущих частей (рабочую, дополнительную, усиленную, двойную);
- изоляцию рабочего места;
- малое напряжение;
- защитное отключение;
- предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы [16]:

- защитное заземление;
- зануление;
- выравнивание потенциала;
- систему защитных проводов;
- защитное отключение;
- изоляцию нетоковедущих частей;
- электрическое разделение сети;
- малое напряжение;
- контроль изоляции;
- компенсация токов замыкания на землю;
- средства индивидуальной защиты.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Трансформаторную подстанцию, питающую цех, необходимо обеспечить защитными средствами.

1. Для работы с электроустановками выше 1000 В применяются [16].

Основные защитные средства:

- изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, устройства и приспособления для ремонтных работ;
- изолирующие устройства и приспособления для работ на ВЛ с непосредственным прикосновением электромонтера к токоведущим частям (изолирующие лестницы, площадки, изолирующие тяги, канаты, корзины телескопических вышек, кабины для работы у провода и др.).

Дополнительные защитные средства:

- диэлектрические перчатки;
- диэлектрические боты;
- диэлектрические ковры;
- индивидуальные экранирующие комплекты;
- изолирующие подставки и накладки;
- диэлектрические колпаки;
- переносные заземления;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

2. Для работы с электроустановками ниже 1000 В применяются [16]:

Основные защитные средства:

- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- указатели напряжения;
- диэлектрические перчатки;
- слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками.

Дополнительные защитные средства:

- диэлектрические боты;
- диэлектрические ковры;
- переносные заземления;
- изолирующие подставки и накладки;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

Каждая подстанция должна иметь комплект предупредительных плакатов.

На рабочем месте дежурного персонала находится полный комплект рабочих инструкций и инструкций по технике безопасности [16]:

1. Должностная инструкция дежурного данного района обслуживания.

2. Инструкция по производству оперативных переключений на подстанции данного района.

3. Инструкция действий оперативного персонала в случае аварии.

4. Инструкция по отысканию однофазных замыканий на землю в данном районе подстанций.

5. Инструкция дежурного персонала по технике безопасности.

6. Оперативный журнал.

7. Журнал производства работ.

8. Журнал телефонограмм.

9. Журнал закороток.

На подстанции имеется список лиц административно – технического персонала утвержденный главным энергетиком предприятия, имеющих право единоличного осмотра подстанций [16].

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

Безопасные условия работы обеспечиваются правильной организацией работ, постоянным надзором за работающими со стороны производителя работ и соблюдением рабочими техники безопасности и регламентируются ПОТ Р М-016-2001 [18]; РД 153-34.0-03.150-00 «Межотраслевыми правилами по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок» [19].

Правила распространяются на работников организаций независимо от форм собственности и организационно-правовых форм и других физических лиц, занятых техническим обслуживанием электроустановок, проводящих в них оперативные переключения, организующих и выполняющих строительные, монтажные, наладочные, ремонтные работы, испытания и измерения [19].

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 [19].

Настоящий стандарт ГОСТ 12.2.003-91 [20] распространяется на производственное оборудование, применяемое во всех отраслях народного хозяйства, и устанавливает общие требования безопасности, являющиеся основой для установления требований безопасности в стандартах, технических условиях, эксплуатационных и других конструкторских документах на производственное оборудование конкретных групп, видов, моделей (марок).

Каждый технологический комплекс и автономно используемое производственное оборудование должны укомплектовываться эксплуатационной документацией, содержащей требования (правила), предотвращающие возникновение опасных ситуаций при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации [20].

Материалы конструкции производственного оборудования не должны оказывать опасное и вредное воздействие на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также создавать пожаровзрывоопасные ситуации [20].

Части производственного оборудования (предохранительные клапаны, кабели и др.), механическое повреждение которых может вызвать возникновение опасности, должны быть защищены ограждениями или расположены так, чтобы предотвратить их случайное повреждение работающими или средствами технического обслуживания [20].

Полное или частичное прекращение энергоснабжения и последующее его восстановление, а также повреждение цепи управления энергоснабжением не должны приводить к возниканию опасных ситуаций, в том числе:

- самопроизвольному пуску при восстановлении энергоснабжения;
- невыполнению уже выданной команды на останов;
- падению и выбрасыванию подвижных частей производственного оборудования и закрепленных на нем предметов (например, заготовок, инструмента и т.д.);
- снижению эффективности защитных устройств.

Требования к средствам защиты, входящим в конструкцию, и сигнальным устройствам [20].

Конструкция средств защиты должна обеспечивать возможность контроля выполнения ими своего назначения до начала и (или) в процессе функционирования производственного оборудования.

Средства защиты должны выполнять свое назначение непрерывно в процессе функционирования производственного оборудования или при возникании опасной ситуации.

Действие средств защиты не должно прекращаться раньше, чем закончится действие соответствующего опасного или вредного производственного фактора.

Отказ одного из средств защиты или его элемента не должен приводить к прекращению нормального функционирования других средств защиты.

Производственное оборудование, в состав которого входят средства защиты, требующие их включения до начала функционирования производственного оборудования и (или) выключения после окончания его функционирования, должно иметь устройства, обеспечивающие такую последовательность.

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.

#### **4.4 Экологическая безопасность**

Мероприятия по экологической безопасности регламентируются ГОСТ 17.1.3.13-86. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений» [29], СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» [30], ГН 2.2.5.2308-07. «Ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [31].

Для работающих на промышленных предприятиях, непосредственной

окружающей средой является воздух рабочей зоны.

Для предприятия устанавливается санитарно-защитная зона в соответствии с санитарной классификацией предприятия, 1000 м [30].

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 обеспечивают 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 твёрдые промышленные отходы. Отходы, которые в дальнейшем могут быть использованы в производстве собираются, складываются и по мере их накопления отправляются на переработку. Отходы, не подлежащие переработке и дальнейшему использованию, выносятся на свалки. Твёрдые отходы, которые представляет вторичная упаковка, может сортироваться и отправляться на переработку на картонажно-бумажные фабрики.

Сохранение природы является для предприятия одной из приоритетных задач. Регулярно разрабатываются и внедряются новые проекты, позволяющие сберечь окружающую среду. В структуру компании входит отдел экологии с собственными аккредитованными лабораториями, отслеживающими состояние воды и воздуха, как на территории предприятия, так и за его пределами.

В целях общего улучшения состояния окружающей среды мероприятиями по обеспечению благоприятных условий жизни населения предусматривается:

1. Озеленение и благоустройство территории предприятия;
2. Содержание дорог, тротуаров и прилегающих озелененных территорий в соответствии с санитарными требованиями;
3. Ликвидация несанкционированных свалок отходов;
4. Создание и обустройство санитарно-защитной зоны предприятия.

#### **4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

##### ***Чрезвычайные ситуации. Основные причины и ликвидация последствий***

Мероприятия по безопасности и защите населения и территорий регламентируются ГОСТ Р 22.0.07-95 «Безопасность в ЧС. Источники техногенных ЧС. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их

параметров» [32], ФЗ от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера» [33], ГОСТ Р 22.3.03-94.

«Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения» [34].

К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия. К стихийным бедствиям обычно относят землетрясения, наводнения, селевые потоки, оползни и др. [32].

Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций:

- результат стихийных бедствий;
- воздействие внешних природных факторов, приводящих к старению материалов;
- технико-производственные дефекты сооружений;
- нарушение правил эксплуатации сооружений и технологических процессов;
- нарушение правил техники безопасности при ведении работ и во время технологических процессов.

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 [33]:

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.

Ликвидация последствий стихийных бедствий организуется, как правило, под руководством специально создаваемых чрезвычайных комиссий. Для непосредственного осуществления мероприятий гражданской обороны (ГО) и проведения спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ на всех объектах формируются службы ГО.

На сводные отряды, помимо спасения людей, возлагаются неотложные аварийно-восстановительные работы, тушение пожаров, обеззараживание участков местности, транспорта, техники.

## ***Пожары***

Основы противопожарной защиты определяются Федеральным законом от 22.07.2013 г. №213-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [35].

Основной причиной пожаров на предприятиях является нарушение технологического режима. Пожарная опасность электроустановок обусловлена наличием горючих изоляционных материалов.

На предприятии на основе типовых правил пожарной безопасности для промышленных предприятий разрабатываются объектовые и цеховые противопожарные инструкции. Ответственность за соблюдения необходимого противопожарного режима и своевременное выполнение противопожарных мероприятий возлагается на начальника цеха.

По пожарной и взрывопожарной опасности помещения производственного и складского назначения независимо от их функционального назначения подразделяются на следующие категории НПБ 105-03 «Определение категорий, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»:

- 1) повышенная взрывопожароопасность (А);
- 2) взрывопожароопасность (Б);
- 3) пожароопасность (В1 - В4);
- 4) умеренная пожароопасность (Г);
- 5) пониженная пожароопасность (Д).

Рассматриваемый цех относится к категории В по пожарной опасности помещения производственного и складского назначения.

Пожарная техника в зависимости от назначения и области применения подразделяется на следующие типы [35]:

- 1) первичные средства пожаротушения;
- 2) мобильные средства пожаротушения;
- 3) установки пожаротушения;
- 4) средства пожарной автоматики;
- 5) пожарное оборудование;
- 6) средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре;
- 7) пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный);
- 8) пожарные сигнализация, связь и оповещение.

Для локализации небольших загораний обслуживающий персонал до прибытия передвижных средств пожаротушения должен использовать первичные средства пожаротушения, находящиеся на пожарных щитах. Первичные средства размещаются вблизи мест наиболее вероятного их применения, на виду, в безопасности при пожаре месте, с обеспечением к ним свободного доступа.

В помещении цеха устанавливается пожарный инвентарь, согласно РД 153- 34.0-03.301-00 [36] такие первичные средства пожаротушения, как:

- углекислотные огнетушители ОУ-2 и ОУ-5;

- пенные огнетушители ОП-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.

На площадках предприятия устанавливаются пожарные щиты, оснащенные первичными средствами пожаротушения.

Запрещение курения в неустановленных местах и производства огневых работ в пожароопасных помещениях.

План эвакуации представлен на рисунке 8.2.

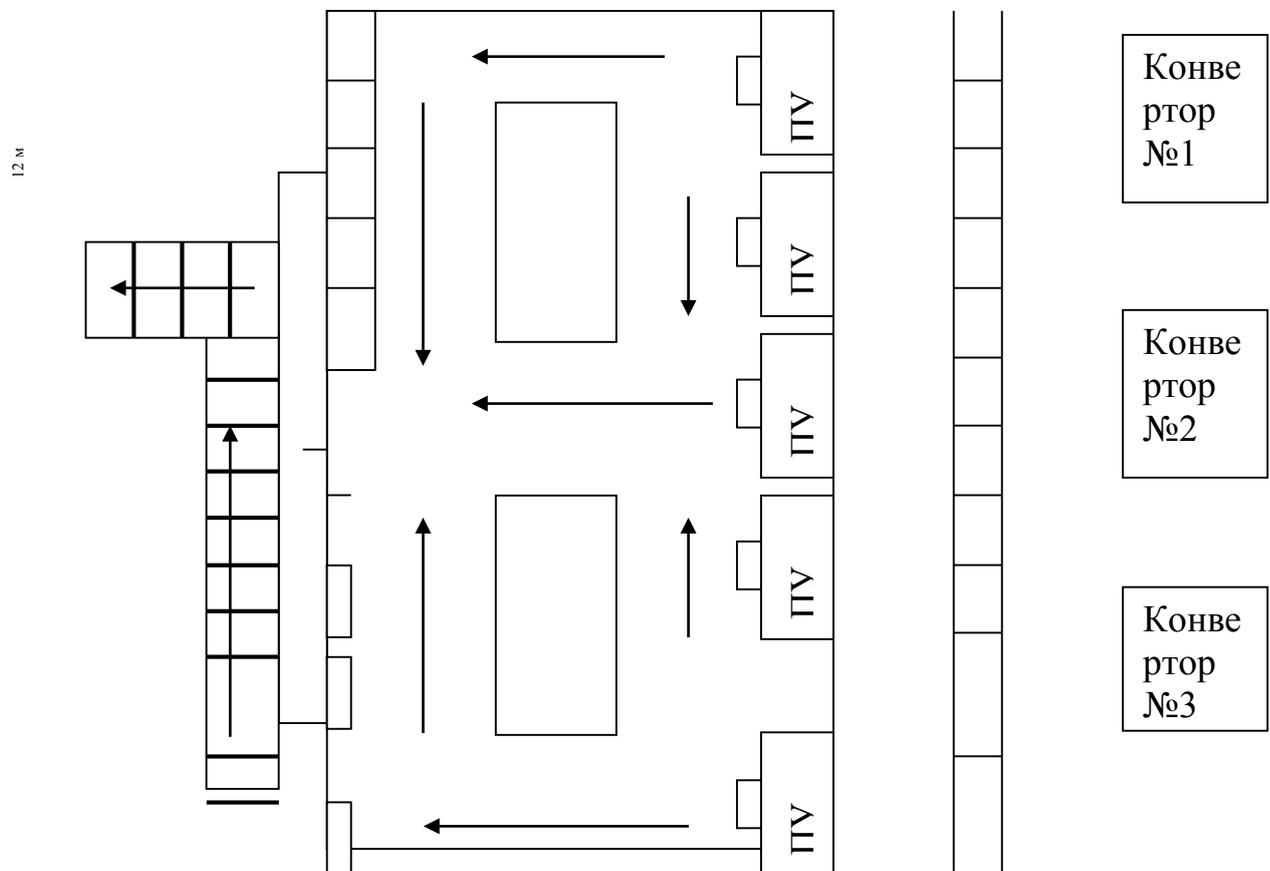


Рисунок 8.2 - План эвакуации.

#### **4.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Под вредными условиями труда следует понимать присутствие на производстве таких факторов, которые наносят ущерб здоровью работников. То есть на рабочих местах не соблюдены определенные гигиенические требования, что может оказывать отрицательное воздействие на дееспособность служащих, а также на здоровье их возможных детей.

Работникам предприятия приходится часто выполнять различные операции, сопряженные с прямым риском здоровью (вредные условия труда). Какие сферы деятельности и специальности связаны с вредными условиями труда, указывается в Постановлении Правительства РФ от 29.03.2002 г. №188 «Об утверждении списков производств, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право гражданам, занятым на работах с химическим оружием, на меры социальной поддержки» [37], Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда» [38].

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

Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливаются на основании статей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия.

Грамотная социальная политика - ключ к успеху предприятия, ведь эффективность работы напрямую зависит от эмоционального комфорта и позитивного настроения коллектива.

Эффективная социальная политика и ответственные, партнерские отношения со своими работниками, являются важнейшими факторами долгосрочного устойчивого развития компании. Максимальная безопасность производства и забота о благосостоянии сотрудников были и остаются основными составляющими социальных программ.

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;
- выплаты ежеквартальной материальной помощи для частичного покрытия расходов по квартплате, коммунальным услугам, приобретению угля на зимний период, а также единовременной материальной помощи на оплату медикаментов и т.д.

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.

К организационным мероприятиям, обеспечивающим, безопасность работ электромонтера согласно Межотраслевым правилам по охране труда относятся:

- инструктаж;
- оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончание работы.

### ***Заключение***

В данном пункте проанализированы опасные и вредные факторы на предприятии, рассмотрена экологическая безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях. Произведен расчет искусственного освещения рассматриваемого цеха. В целом можно сказать, что риск для жизни и здоровья сотрудников предприятия сведен к минимуму.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе проектирования данной выпускной квалификационной работы был разработан электропривод подъема кислородной фурмы.

В систему автоматизированного управления электроприводом подъема кислородной фурмы входят: электродвигатель асинхронный фирмы SIEMENS серии 1LG4310-8AB-Z, преобразователь переменного тока MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS.

По результатам проектирования был разработан электропривод, соответствующий всем требованиям задания технического и процесса технологического.

Были исследованы процессы переходные с помощью программы MATLAB, показатели качества в динамике при отработке воздействий по возмущению и управлению во всех диапазонах регулирования скорости полностью отвечает всем требованиям задания технического. Электропривод подъема кислородной фурмы оснащён системой сигнализации и защит, обеспечивающей безопасную и безаварийную работу.

В экономической части проекта проанализированы вопросы планирования, финансирования и проведение пуско-наладочных работ, расчет количества и трудоемкости ремонтов, расчет и сравнение эксплуатационных расходов, и произведен расчет времени окупаемости капитальных инвестиций электропривода подъема кислородной фурмы. Сделана смета на проведение ПНР и создан линейный график проведения ПНР.

В разделе безопасности и экологичности проекта проанализированы основные вредные и опасные факторы, которые угрожают персоналу обслуживающему и разработаны меры по технике безопасности, санитарии производственной и безопасности пожарной. Проанализированы меры и по охране окружающей среды.

## **THE CONCLUSION**

The purpose of the given degree project is the designing and development of the electric drive for the oxygen tuyere uplift for Oxygen-Converter Shop of “ZSMK”. In the system of automatic control of the electric drive for the oxygen tuyere uplift are composed: the induction motor of SIEMENS 1LG4310-8AB-Z series, AC electric drive MICROMASTER 440 by SIEMENS, systems of transfer and control, which represented together as a complex electromechanical structure.

As a result of designing has been developed the electric drive, which meets the requirements of the technical project and technological process. Transient processes were investigated on the MATLAB software. The dynamic parameters at working out of influences on management and indignation in all range of regulation of speed completely meet the requirements of the technical project. The electric drive for the oxygen tuyere uplift is supplied with system of protection and signal system ensuring trouble-free and safe work.

In an economic part of the project are considered questions of planning, financing and realization of starting-up and adjustment works, calculation and comparison of operating costs, calculation of the number and complexity of repairs and made calculation of payback period of capital investment of the electric drive for the oxygen tuyere uplift. Also has been drawn the estimate and the linear schedule for executing of starting-up and adjustment works.

In sections of project about safety and ecology are analyzed the foundations hazards and injuries, which are threatening to a service personnel and developed measures of safety, industrial hygiene and fire safety. Considered measures to protect the environment.

## Список использованной литературы

1. Электропривод переменного тока. Учебное пособие. А.Ю.Чернышев., И.А.Чернышев: Издательство ТПУ, 2008-217с.
2. Электрический привод. Учебное пособие. Ю.Н.Дементьев.,А.Ю.Чернышев., И.А.Чернышев: Издательство ТПУ, 2008-223с
3. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. ч1,2. Учебное пособие. Томск., 2002-143С.
4. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Системы управления электроприводов. Учебное пособие. Томск., 2007-151с.
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. Л.К.Бурулько., Ю.С.Боровиков. Специальные электроприводы переменного тока. Учебное пособие. Томск., 2007-145с.
7. . Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. ч7.Учебное пособие. Томск., 2007-163с.
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.

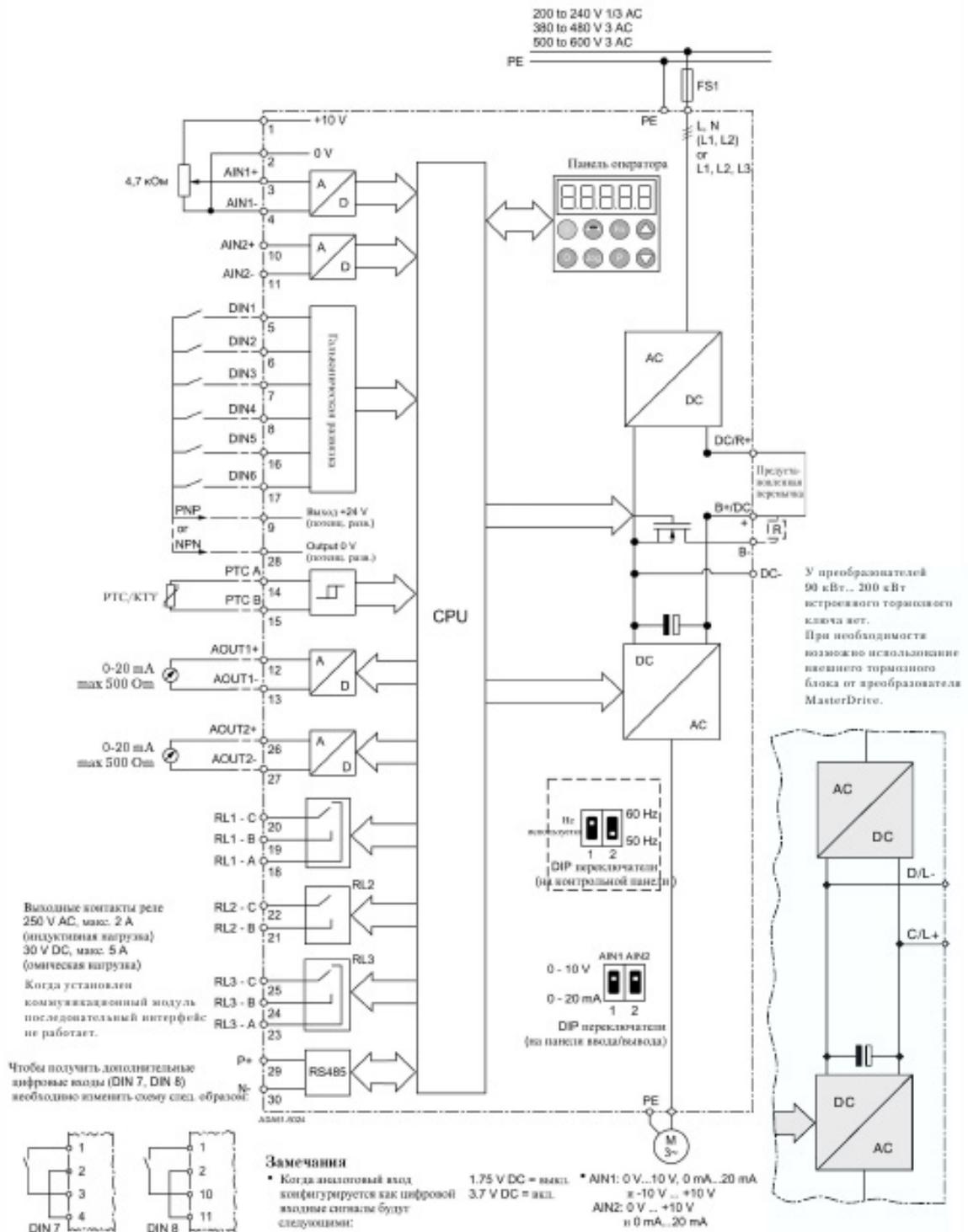


- 31 СанПиН 2.2.4.584-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
- 32 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 33 СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
- 34 ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности»
- 35 ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Квалификация»
- 36 СН 2.2.4/2.1.8.556 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»
- 37 СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»
- 38 СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение»
- 39 ГОСТ 17.1.3.13-86. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений»
- 40 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»
- 41 ГН 2.2.5.2308-07. «Ориентировочна безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»
- 42 ГОСТ Р 22.0.07-95 «Безопасность в ЧС. Источники техногенных ЧС. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров»
- 43 ФЗ от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера»
- 44 ГОСТ Р 22.3.03-94. «Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения»
- 45 Федеральный закон от 22.07.2013 г. №213-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

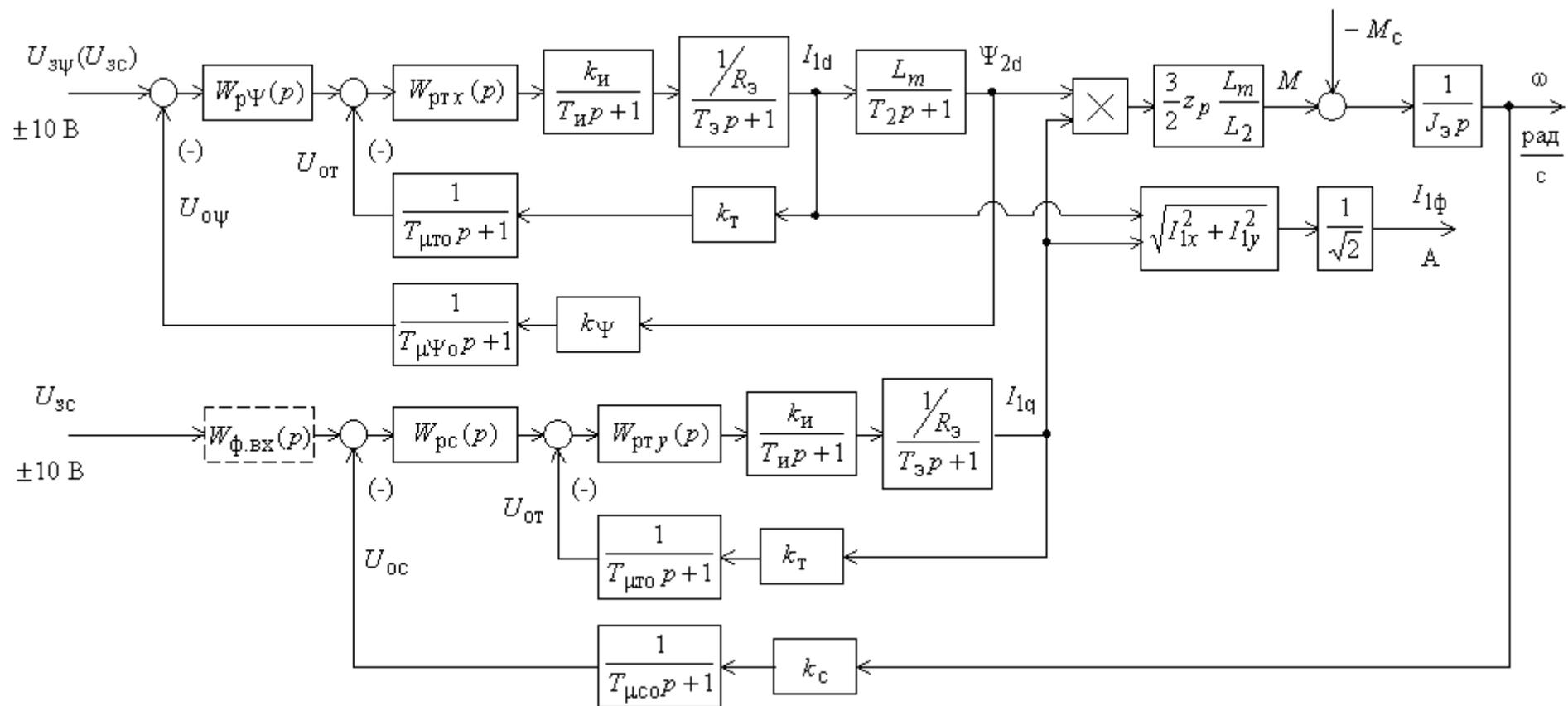
- 46 РД 153-34.0-03.301-00. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий.
- 47 Постановление Правительства РФ от 29.03.2002 г. №188 «Об утверждении списков производств, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право гражданам, занятым на работах с химическим оружием, на меры социальной поддержки»
- 48 Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда»
- 49 О.Б. Назаренко, А.Г. Дашковский. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2001.
- 50 НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

**Приложение А.**  
Графический материал.

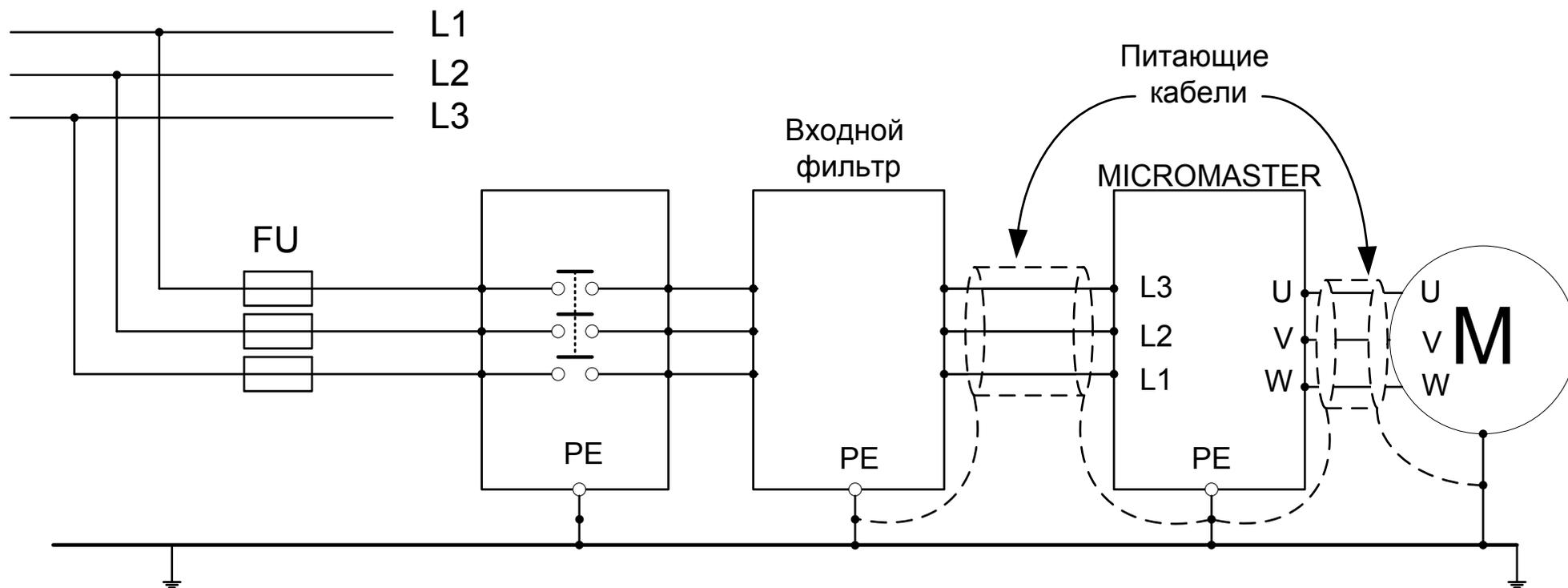




Функциональная схема преобразователя



**Структурная схема линейризованной САУ электропривода**



**Подключение питающей сети и двигателя**

Задание

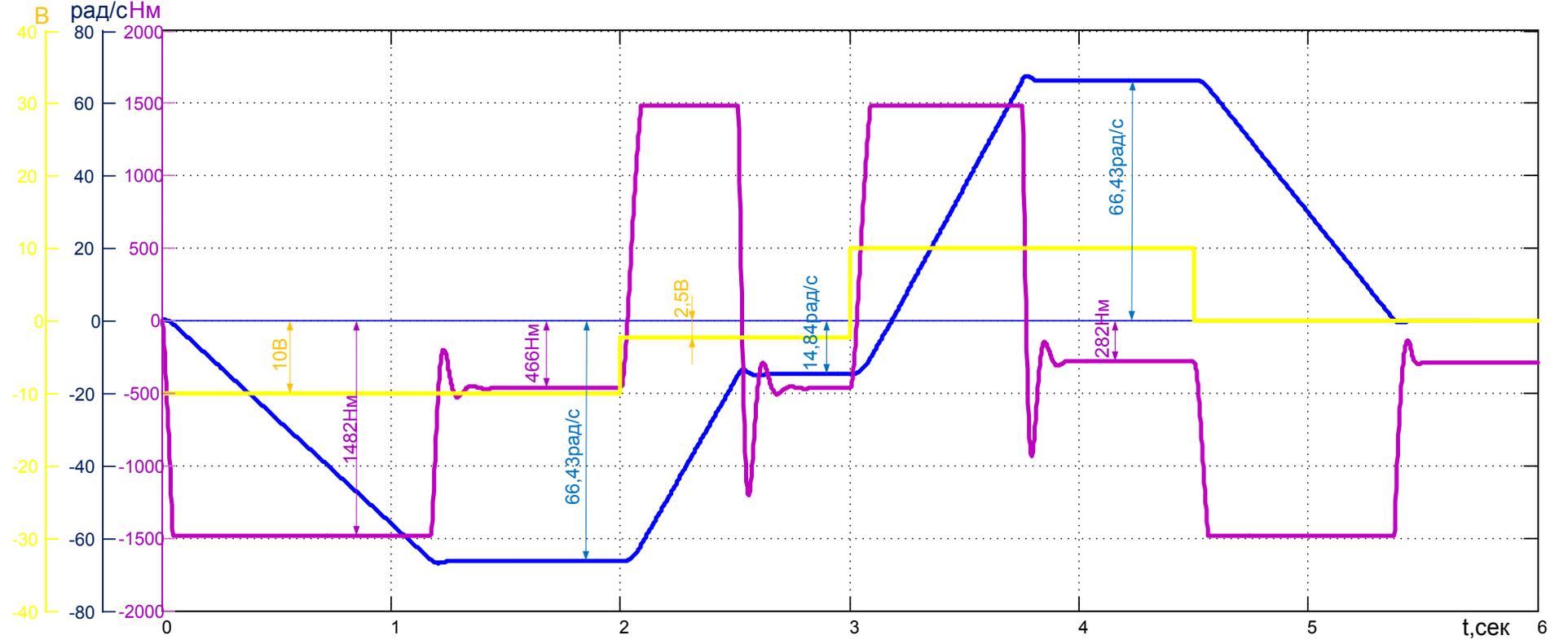


График переходных процессов цикла работы фурмы