

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электрооборудование и электропривод подъема кислородной фурмы

УДК 621.31:669.183.212.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5Б1	Исмоилов Сардор Рахимжон угли		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселева Е.С.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5Б1	Исмоилову Сардору Рахимжон угли

Тема работы:

Электрооборудование и электропривод подъема кислородной фурмы	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№58-27/с от 27.02.2020г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	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.
Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> - схема кинематическая; - схема электрическая принципиальная;

	-схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Елена Станиславовна
Социальная ответственность	Немцова Ольга Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.03.2020г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С.	к.т.н.		20.03.2020г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5Б1	Исмоилов Сардор Рахимжон угли		20.03.2020г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.05.2020	Основная часть	60
15.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
18.05.2020	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 115с, 34 рисунка, 22 таблицы, 45 используемых источников и 1 приложение.

В выпускной квалификационной работе был произведён расчёт и выбор силового оборудования для электропривода подъёма кислородной фурмы. Выполнен расчёт параметров силовой цепи. Результатом расчёта является выбор асинхронного электродвигателя фирмы SIEMENS серии 1LG4310-8AB-Z мощностью 55 кВт; преобразователь частоты типа MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS шкафного исполнения мощностью 75кВт.

Разработаны схемы управления и регулирования. Расчёт переходных процессов в электроприводе произведён на ПК с помощью программ MATLAB.

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

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

Содержание

Введение.....	9
1. ПРОЕКТНО–ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ	11
1.1 Технологический процесс производства стали в конверторе	11
1.2 Технические данные механизма подъёма фурмы.....	18
1.3 Технологические требования к электроприводу механизма.....	20
2. РАСЧЕТНО–ПРОЕКТНАЯ ЧАСТЬ.....	23
2.1 Расчет мощности, выбор приводного электродвигателя.	23
2.2. Расчёт параметров схемы замещения электродвигателя	25
2.3 Естественные механическая и электромеханическая характеристики двигателя	28
2.4 Проверка двигателя по динамической нагрузке.	31
2.5 Механическая система электропривода	32
2.6. Определение области допустимой длительной работы двигателя	36
2.7. Построение требуемых областей длительной и кратковременной работы двигателя	38
2.7.1 Построение областей работы в плоскости механических характеристиках двигателя	38
2.7.2 Построение областей работы электропривода в плоскости электромеханических характеристик двигателя.....	39
2.8. Проверка выбранного двигателя по нагреву.....	41
2.9 Преобразователь частоты	43
2.9.1 Выбор преобразователя частоты	43
2.10. Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель.....	46
2.10.1 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода.....	48
2.11. Структурная схема линеаризованной САУ электропривода.....	49
2.12. Оптимизация контуров регулирования САУ электропривода	53
2.13. Имитационные исследования регулируемого электропривода фурмы кислородного конвертора.....	61
2.14. Расчет переходных процессов	72
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	76
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	77
3.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование.....	78

3.2 Технико-экономическое обоснование и обоснование выбранного оборудования	78
3.3 SWOT-анализ эффективности электропривода подъема кислородной фурмы	79
3.4 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	83
3.5 Планирование научно – исследовательских работ	87
3.6 Пусконаладочные работы.....	94
3.7 Стоимость ПНР	101
3.8 Расчет расходов при эксплуатации электропривода	103
3.9 Расчет стоимости силовой электроэнергии.....	103
3.10 Расчет амортизационных отчислений.....	104
3.11 Заработная плата обслуживающего персонала.....	104
3.12 Общая сумма эксплуатационных расходов.....	106
3.13Определение экономической эффективности исследования	106
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	111
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	113
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	113
4.2. Производственная безопасность.....	115
4.2.1 Анализ возможных опасных и вредных факторов	115
4.3. Экологическая безопасность.....	120
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	121
4.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	121
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	124
THE CONCLUSION	126
Список использованной литературы.....	127
Приложение А.	131

Введение

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

Выпуском стали и чугуна занимаются металлургические комбинаты. В настоящее время ни один из комбинатов не может обойтись без современных электроприводов, неразрывно связанных с повышением эффективности технологических процессов.

Большое значение для увеличения производительности имеет автоматизация и электрификация производств. Автоматизация и электрификация приводит к облегчению труда рабочих. Современное машинное устройство или производственный агрегат состоит из большого числа разнообразных деталей, отдельных машин и аппаратов, выполняющих различные функции. Все они в совокупности совершают работу, направленную на обеспечение отдельного производственного процесса.

Современное металлургическое производство является крупным потребителем электрической энергии. В электрификации черной металлургии особое место занимает электрический привод, так как удельный вес непрерывно растущего потребления электроэнергии на двигательную силу достигает в ней около 80%.

Автоматизация технологических процессов, повышая эффективность производства, увеличивает производительность оборудования, снижает эксплуатационные расходы, создает экономию электроэнергии, сырья, тем самым, обеспечивает экологическую чистоту и улучшение качества всего производства.

Современный автоматизированный электропривод - это высоконадежная и экономичная электромеханическая система, способная полностью обеспечить автоматизацию любого технологического процесса, достигнуть высокого быстродействия и точности при своей работе, улучшить условия труда обслуживающего персонала.

Для приведения в движение рабочих машин основным двигателем является электродвигатель и, следовательно, основным приводом является

электропривод, а на современном уровне техники автоматизированный электропривод (АЭП).

Автоматизированным электроприводом называется электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенного для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением.

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.

1. ПРОЕКТНО–ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1.1 Технологический процесс производства стали в конверторе

Принцип получения стали в конверторе состоит в продувке жидкого чугуна кислородом с использованием ограниченного количества стального лома. Сущность конверторного процесса в том, что в конвертор, представляющий собой футерованный огнеупорным кирпичом грушеобразный сосуд, заливают порцию чугуна 250 т. Сверху в конвертор опускают трубу-фурму, через которую подают чистый кислород. При продувке кислородом происходит окисление углерода и других примесей, содержащихся в чугуне. Повышается температура металла. Расплавляется стальной лом, добавляемый в конвертор. При окислении углерода и других примесей, частично железа, происходит выделение тепла, которое обеспечивает повышение температуры расплава и позволяет расплавлять стальной лом до 25 % от общей массы металла вводимого в конвертор. После выпуска металла в ковш производится окончательная доводка состава металла до заданного.

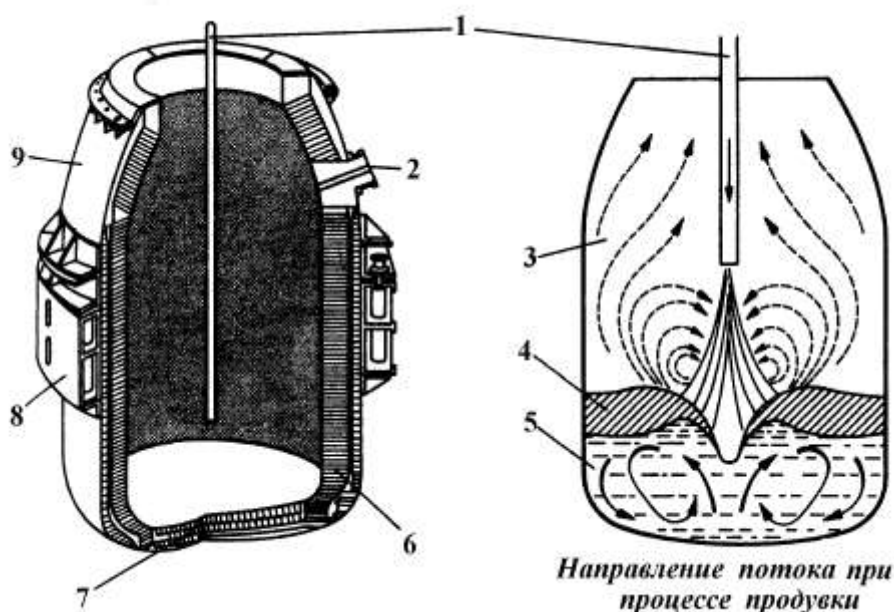


Рисунок 1. Схема кислородного конвертора

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

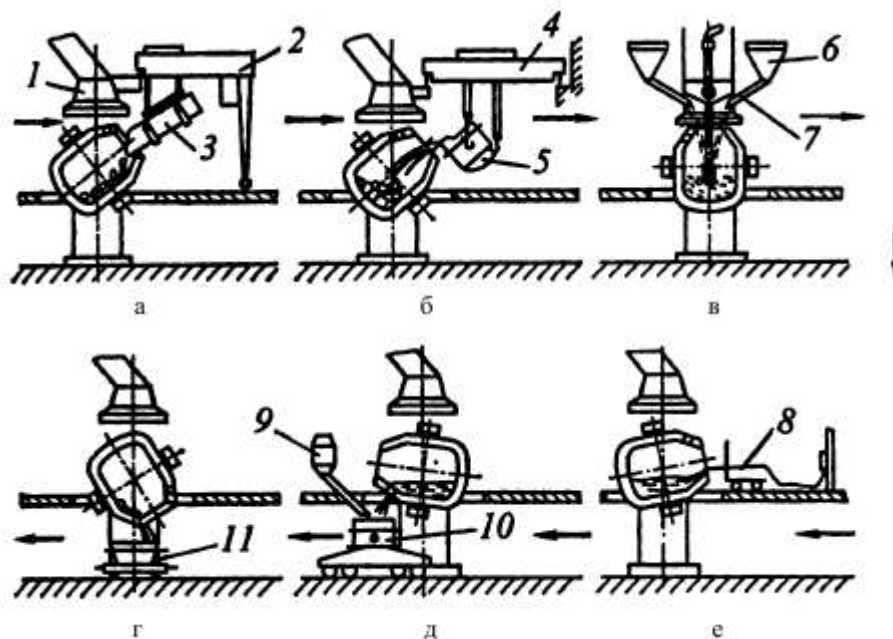


Рисунок 2. Технологическая схема производства стали в конверторах

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(2-3 мин); в- продувка (15-18мин)
 г- отбор проб, замер температуры, ожидание анализа, корректировка (2-9мин);
 д- выпуск (3-7мин); е- слив шлака (2-3мин)

Шихтовка плавки и организация загрузки. Шихтовку, т.е. определение расхода на плавку чугуна и лома, шлакообразующих, ферросплавов и других материалов, в современных цехах проводят с помощью ЭВМ (АСУ ТП) на основании вводимых в нее данных о составе чугуна и других шихтовых материалов, температуре чугуна, параметрах выплавляемой стали и некоторых других. При этом расход лома, являющегося охладителем плавки, определяют на основании расчета теплового баланса плавки, увеличивая или уменьшая расход так, чтобы обеспечивалась заданная температура металла в конце продувки, а расход извести - так, чтобы обеспечивалась требуемая основность шлака (2,7 - 3,6).

Лом загружают в конвертор совками объёмом 20 - 110 м³; их заполняют ломом в шихтовом отделении цеха и доставляют к конверторам рельсовыми тележками. Загрузку ведут через отверстие горловины конвертора, опрокидывая совок с помощью полупортальной машины, либо мостового крана, либо напольной (перемещающейся по рабочей площадке цеха) машины.

Конвертор при загрузке наклонен примерно на 45° с тем, чтобы загружаемые куски лома скользили по футеровке, а не падали бы сверху, разрушая её.

Жидкий чугун заливают в наклоненный конвертор через отверстие горловины с помощью мостового крана из заливочного ковша, который обычно вмещает всю порцию заливаемого чугуна (до 300 т и более). Заливочные ковши с чугуном доставляют к конверторам из миксерного или переливного отделений.

Для загрузки сыпучих шлакообразующих материалов конвертор оборудован индивидуальной автоматизированной системой. Из расположенных над конвертором расходных бункеров, где хранится запас материалов, их с помощью электровибрационных питателей и весовых дозаторов выдают в промежуточный бункер, а из него материалы по наклонной течке (трубе) ссыпаются в конвертор через горловину. При этом система обеспечивает загрузку сыпучих материалов без остановки продувки по программе, которая разработана заранее или задается оператором из пульта управления конвертором.

Периоды плавки.

На процесс рафинирования значительное влияние оказывают положение фурмы (расстояние от конца фурмы до поверхности ванны) и давление подаваемого кислорода. Обычно высота фурмы поддерживается в пределах 1,0 - 3,0 м, давление кислорода 0,9 - 1,4 МПа в зависимости от выплавляемой марки стали. Оптимальное положение фурмы устанавливается экспериментально. При этом необходима высокая скорость обезуглероживания и шлакообразования и ведение продувки без выбросов.

Плавка в кислородном конвертере включает следующие периоды.

1. Загрузка лома. Стальной лом в количестве до 25 - 27% от массы металлической шихты (при использовании специальных технологических приёмов и в большем количестве) загружают в наклоненный конвертор совками. Объём совков достигает 110 м^3 , его рассчитывают так, чтобы загрузка обеспечивалась одним - двумя совками, поскольку при большем числе возрастает длительность загрузки и плавки в целом. Загрузка длится 2-4 мин. Иногда с целью ускорения шлакообразования после загрузки лома или перед ней в конвертор вводят часть расходуемой на плавку извести.

2. Заливка чугуна. Жидкий чугун при температуре от 1300 до 1450 °С заливают в наклоненный конвертор одним ковшом в течение 2-3 мин.

3. Продувка. После заливки чугуна конвертор поворачивают в вертикальное рабочее положение, вводят сверху фурму и включают подачу кислорода, начиная продувку. Фурму в начале продувки для ускорения

шлакообразования устанавливают в повышенном положении (на расстоянии до 4,8 м от уровня ванны в спокойном состоянии), а через 2-4 мин её отпускают до оптимального уровня (1,0 - 2,5 м в зависимости от вместимости конвертора и особенностей технологии)

В течение первой трети длительности продувки двумя - тремя порциями загружают известь; вместе с первой порцией извести, вводимой после начала продувки, дают плавиковый шпат и иногда другие флюсы, железную руду, скатыши, боксит и др. Расход извести рассчитывают так, чтобы шлак получался с основностью от 2,7 до 3,6; обычно расход составляет 6 - 8% от массы стали.

Продувка до получения заданного содержания углерода в металле длится 12-18 мин; она тем больше, чем меньше принятая в том или ином цехе интенсивность подачи кислорода в пределах 2,5 - 5 м³/(т мин).

Правильно организованный режим ведения продувки обеспечивает хорошую циркуляцию металла и его перемешивание со шлаком. Последнее в свою очередь способствует повышению скорости окисления содержащихся в чугуне: кремния, углерода, марганца, фосфора. В течение продувки протекают следующие основные металлургические процессы:

а) окисление составляющих жидкого металла вдуваемым кислородом, окисляется избыточный углерод, а также весь кремний, около 70% марганца и немного (1 - 2%) железа. Окисление примесей в конвертере может происходить непосредственно газообразным кислородом или кислородом, растворенным в металле и шлаке.

В периоды продувки с большой скоростью подачи кислорода процесс окисления лимитируется переносом примесей из объема ванны к поверхности раздела. Происходит полное окисление поверхностных слоев металла. Поскольку примеси не успевают поступать к зоне реакции, то окисление металла происходит с образованием преимущественно оксидов железа, так как содержание железа в металлической ванне близко к 100 %. Окисление металла осуществляется через шлаковую фазу.

Сначала окисляется железо $2\text{Fe} + \text{O}_2 = 2(\text{FeO})$. Образующийся FeO в результате циркуляции переносится в шлак. Процесс обогащения металла кислородом можно записать так: $(\text{FeO}) = \text{Fe} + [\text{O}]$. Растворенный в металле кислород расходуется на окисление примесей чугуна. Содержащийся в шлаке FeO расходуется на раскисление примесей на границе металл-шлак.

На участках продувки где скорости движения газа-окислителя (конечная часть струй пузыри) незначительны, может происходить прямое окисление углерода и других примесей. Окисление углерода в конверторном процессе имеет важное значение, так как влияет на температурный режим плавки,

процесс шлакообразования и рафинирования металла от фосфора, серы, газов и неметаллических включений.

Характерной особенностью конверторного производства является неравномерность окисления углерода как по объему ванны так и в течении продувки. С наибольшей интенсивностью окисляется углерод над поверхностью внедряющегося газового факела. В начале продувки скорость окисления невелика (0,1 - 0,15 %/мин). Это объясняется сравнительно низкой температурой ванны и интенсивным окислением кремния и марганца.

Далее, при снижении в металле кремния и марганца и повышении температуры, зона кипения увеличивается и распространяется на весь объем ванны скорость окисления углерода возрастает. Максимальная скорость окисления углерода достигается в середине плавки, когда температура металла составляет 1400 – 1450 °С. К концу продувки скорость окисления углерода вновь снижается вследствие уменьшения углерода в металле. Более равномерное окисление углерода и газовыделение достигаются применением многосопловых фурм. Газообразные продукты окисления углерода (СО и немного СО₂) удаляются из конвертора через горловину (отходящие конверторные газы), другие оксиды переходят в шлак;

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

С первых секунд продувки начинает формироваться в основном шлак из продуктов окисления составляющих металла (SiO₂, MnO, FeO, Fe₂O₃) и растворяющейся в них извести (CaO), а также из оксидов, вносимых миксерным шлаком, ржавчиной стального лома и растворяющейся футеровкой. Основность шлака по ходу продувки возрастает по мере растворения извести, достигая 2,7 - 3,6.

На процесс шлакообразования и окисления примесей влияет глубина проникновения кислородной струи в металл, которая зависит от давления и расхода кислорода подаваемого через фурму. Из многочисленных исследований известно что, изменяя глубину проникновения кислорода можно управлять распределением кислорода между шлаком и металлом, Так

увеличение глубины проникновения (повышение давления кислорода и уменьшение расстояния между торцом фурмы и металлом) способствует увеличению количества кислорода усваиваемого металлом. Это приводит к ускорению процесса окисления примесей. Вместе с тем уменьшается поступление кислорода в шлак, что отрицательно влияет на растворение извести, затрудняя и шлакообразование. Уменьшение глубины проникновения способствует увеличению поверхности контакта кислорода со шлаком, улучшению условий шлакообразования, но снижает скорость окисления углерода и других элементов;

в) дефосфорация и десульфация. С первых минут продувки одновременно с окислением углерода начинается процесс дефосфации. В образующийся основной шлак удаляется часть содержащихся в шихте вредных примесей - большая часть (до 90%) фосфора и немного (до 30%) серы. Наиболее интенсивное удаление фосфора происходит в первой половине продувки при сравнительно низкой температуре металла, высоком содержании FeO, когда основность шлака и его количество быстро возрастают. Конверторный процесс позволяет получить сталь с содержанием фосфора менее 0,02 %.

Условия удаления серы менее благоприятны, так как шлак содержит значительное количество FeO, а высокая основность достигается лишь во второй половине продувки. Степень десульфации при конверторном процессе находится в пределах 30 - 50 %. Содержание серы в готовой стали, составляет 0,02 - 0,04 %;

г) нагрев металла до требуемой перед выпуском температуры (1600 - 1660°C) за счет тепла, выделяющегося при протекании экзотермических реакций окисления составляющих жидкого металла;

д) расплавление стального лома за счет тепла экзотермических реакций окисления; обычно оно заканчивается в течение первых 2/3 длительности продувки;

е) побочный и нежелательный процесс испарения железа в подфурменной зоне из-за высоких здесь температур (2000 - 2600°C) и унос окисляющихся паров отходящими из конвертора газа, что вызывает потери железа и требует очистки конверторных газов от пыли.

4. Отбор проб, замер температуры, ожидание анализа, корректировка. Продувку необходимо закончить в тот момент, когда углерод будет окислен до нужного в выплавляемой марке стали содержания, к этому времени металл должен быть нагрет до требуемой температуры, а фосфор и сера удалены до допустимых для данной марки стали пределов.

Момент окончания продувки, примерно соответствующий требуемому содержанию углерода в металле, определяют по количеству израсходованного кислорода, по длительности продувки, по показаниям ЭВМ. Окончив продувку, из конвертора выводят фурму, а конвертор поворачивают в горизонтальное положение. Через горловину конвертора отбирают пробу металла, посылая её на анализ, и замеряют температуру термопарой погружения. Если по результатам анализа и замера температуры параметры металла соответствуют заданным, плавку выпускают. В случае несоответствия проводят корректирующие операции: при избыточном содержании углерода проводят кратковременную додувку для его окисления; при недостаточной температуре делают додувку при повышенном положении фурмы, что вызывает окисление железа с выделением тепла, нагревающего ванну, при излишне высокой температуре в конвертор вводят охладители - легковесный лом, руду, известняк и т.п., делая выдержку после их ввода в течение 3-4 мин. По окончании корректировочных операций плавку выпускают.

На отбор и анализ проб затрачивается 2-3 мин; корректировочные операции вызывают дополнительные простои конвертора и поэтому нежелательны.

5. Выпуск. Металл выпускают в сталеразливочный ковш через летку без шлака; это достигается благодаря тому, что в наклоненном конверторе у летки располагается более тяжелый металл, препятствующий попаданию в нее находящегося сверху шлака. Такой выпуск исключает перемешивание металла со шлаком в ковше и переход из шлака в металл фосфора и FeO. Выпуск длится 3-7 мин. В процессе выпуска в ковш из бункеров вводят ферросплавы для раскисления и легирования. При этом в старых цехах загружают все ферросплавы так, чтобы обеспечивалось раскисление и получение в стали требуемого содержания вводимых элементов (Mn и Si, а в легированных сталях и других элементов) В конце выпуска в ковш попадает немного (1-2 %) шлака, который предохраняет металл от быстрого охлаждения.

В новых цехах, где проводят внепечную обработку, в ковш вводят сплавы, содержащие слабоокисляющиеся элементы (Mn, Cr и иногда Si), после чего ковш транспортируют на установку внепечной обработки, где в процессе усредняющей продувки аргоном вводят элементы, обладающие высоким сродством к кислороду (Si, Al, Ti, Ca и др.), что уменьшает их угар. В этом случае в момент слива из конвертора последних порций металла делают "отсечку" шлака, препятствуя попаданию в ковш конверторного шлака, содержащего фосфор, который может переходить в металл, и оксиды железа, которые будут окислять вводимые в металл, в процессе внепечной обработки, элементы. В ковше для защиты металла от охлаждения и окисления создают

шлаковый покров, загружая, например, гранулированный доменный шлак, вермикулит, известь с плавиковым шпатом.

6. Слив шлака. По достижении заданного содержания углерода дутье отключают, фурму поднимают, конвертор наклоняют и металл через летку (для уменьшения перемешивания металла со шлаком) выливают в ковш. Слив шлака в шлаковый ковш (чашку, установленную на самоходном шлаковозе) ведут через горловину, наклоняя конвертор в противоположную от летки сторону (слив через летку недопустим, так как шлак будет растворять футеровку летки). Слив шлака длится 2-3 мин.

Затем происходит доводка металла на установке внепечной обработки стали, после чего ковш с металлом подается в разливочный пролет, где с помощью литейного крана сталь разливается в изложницы. Раскисление и легирование металла производят в ковше. Общая продолжительность плавки в 100 - 350 тонных конверторах составляет 40 - 50 мин.

1.2 Технические данные механизма подъема фурмы

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

Охлаждение фурмы производится водой. Температура отходящей от фурмы воды не должна превышать 40°C. Фурму устанавливают вертикально, строго по оси конвертера. Подъем и опускание производят при помощи механизма заблокированного с механизмом вращения конвертера. Конвертер нельзя наклонить, пока из него не удалена фурма. Конструкция фурмы оказывает большое влияние на работу конвертера и определяет его производительность, стойкость футеровки, выход конвертера из эксплуатации. Технические данные механизма подъема фурмы сведены в таблицу 1.

Таблица 1 Технические данные механизма подъема 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 ²	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

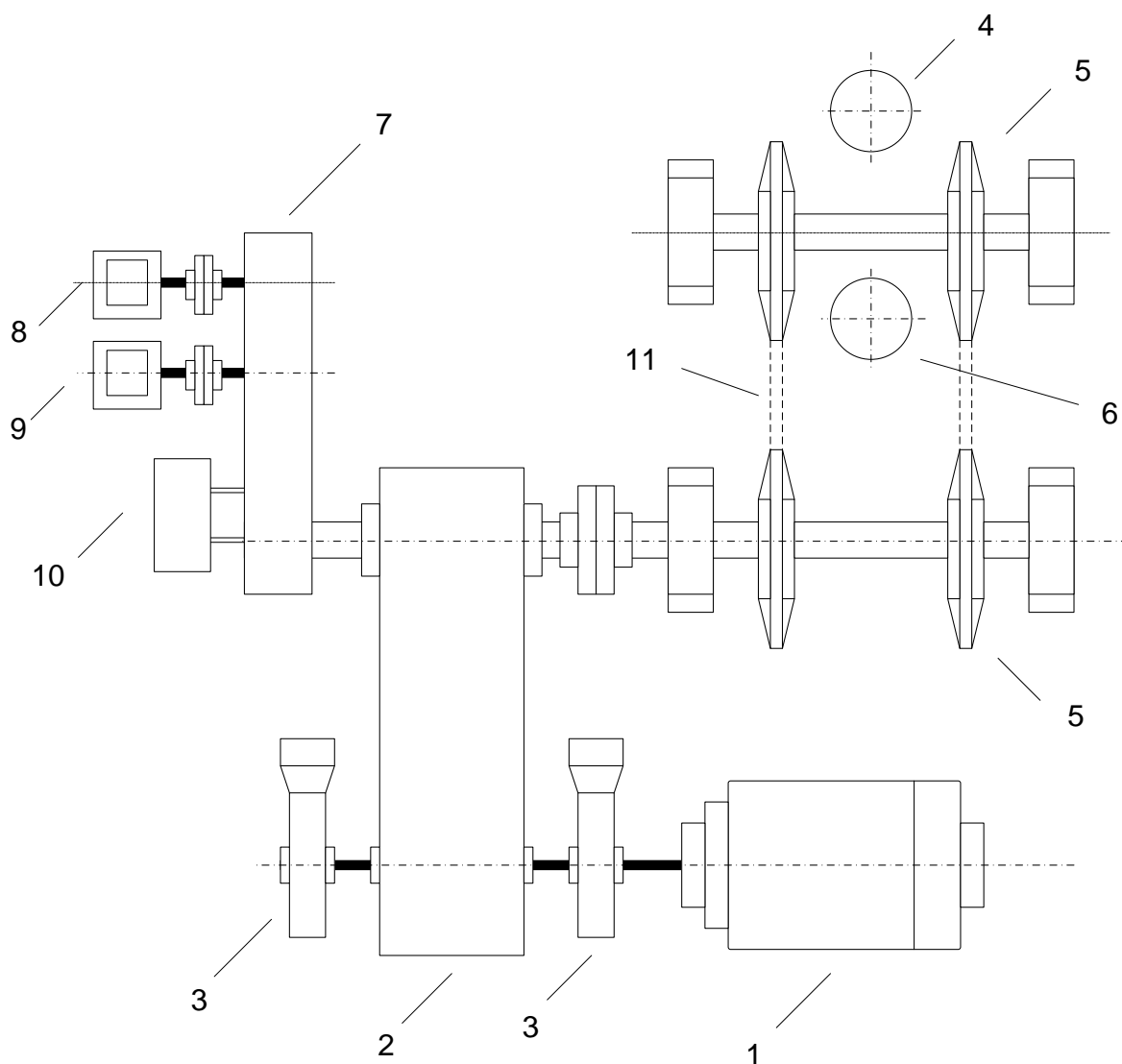


Рисунок 1 Кинематическая схема механизма подъёма фурмы

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: $F = (m_{\text{ГР}} - m_{\text{Ф}}) \cdot g = (8000 - 4445) \cdot 9.8 = 34839 \text{ Н}$ – 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 $r = \frac{V_{\text{Ф}}}{w_{\text{де}}} = \frac{0,734}{66,43} = 0,011 \text{ м}$ – 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	$U_{1лн}$, В	При номинальной нагрузке			
			n_H , об/мин	$I_{1н}$, А	η_H , %	$\cos\varphi_H$
55	750	380	740	102	94,3	0.82
I_{II}/I_H	J , кг·м ²	$\frac{M_{II}}{M_H}$	$\frac{M_{макс}}{M_H}$	$M_{двн}$, 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

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

$$I_{1фн} = I_{1лн} = 102 \text{ А}$$

– при схеме соединения обмоток У.

Максимальный пусковой ток двигателя

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

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.

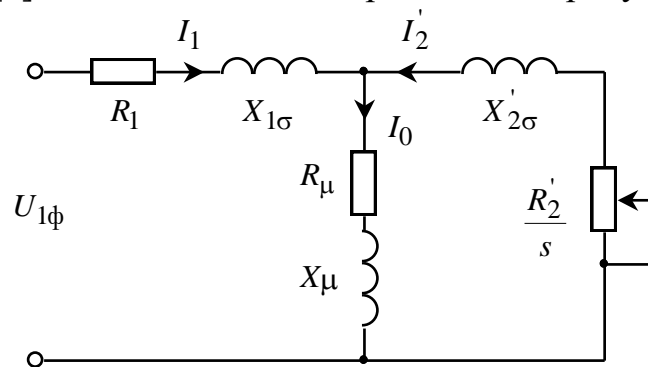


Рисунок 2 Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

Приведённое к обмотке статора сопротивление цепи ротора в номинальном режиме

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

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

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

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

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

$$= 24,112 \text{ А}$$

– ток холостого хода;

$$I_{1p^*} = \frac{p^* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\Phi H} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} = \frac{0,75 \cdot 55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,822 \cdot 0,926} = 82,138 \text{ А}$$

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

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

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

– критическое скольжение двигателя;

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

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

$$X_{кн} = R'_2 \cdot \gamma \cdot c_1 = 0,032 \cdot 12,58 \cdot 1,018 = 0,408 \text{ Ом,}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания

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

где

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\phi H} \cdot \cos \varphi_H - I_{1H} \cdot R_1)^2 + (U_{1\phi H} \cdot \sin \varphi_H - I_{1H} \cdot X_{1\sigma})^2} =$$

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

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

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

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

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

Таблица 3 Дополнительные параметры

Наименование параметра	Буквенное обозначение	Величина	Единицы измерения
Число фаз АД	m_1	3	
Ток пусковой	I_{Π}	642,6	А
Момент пусковой	M_{Π}	1775	Нм
Ток Х.Х. АД	I_0	50,8	А
Скольжение номинальное	S_H	0,013	
Скольжение критическое	S_k	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_{μ}	8,583	Ом
Синхронная угловая скорость	ω_0	78,53	рад/с
Номинальная угловая скорость	ω_H	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:

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

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

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

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

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

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.

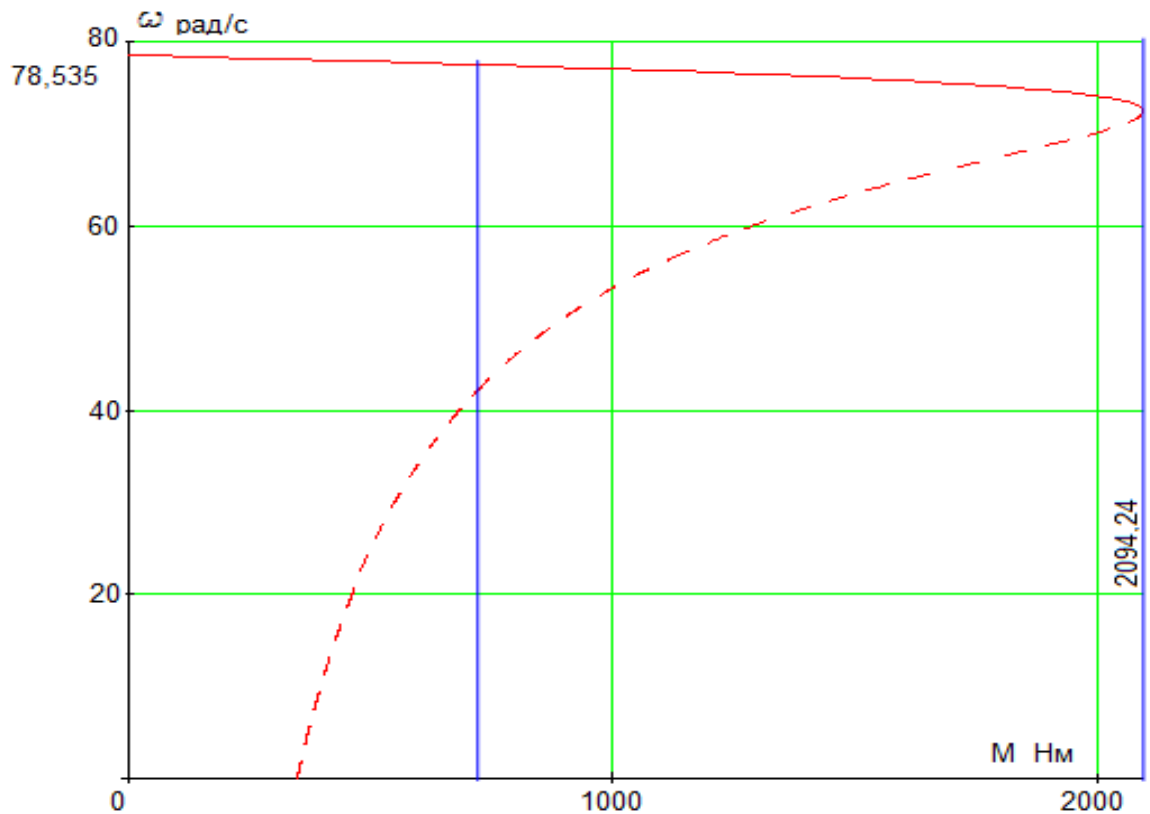


Рисунок 3. Естественная механическая характеристика АД

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

– кратность максимального (критического) момента

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

– критическое скольжение

$$s_{\text{к}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{к}}}{\omega_0} = \frac{78,53 - 73,15}{78,53} = 0,0685 .$$

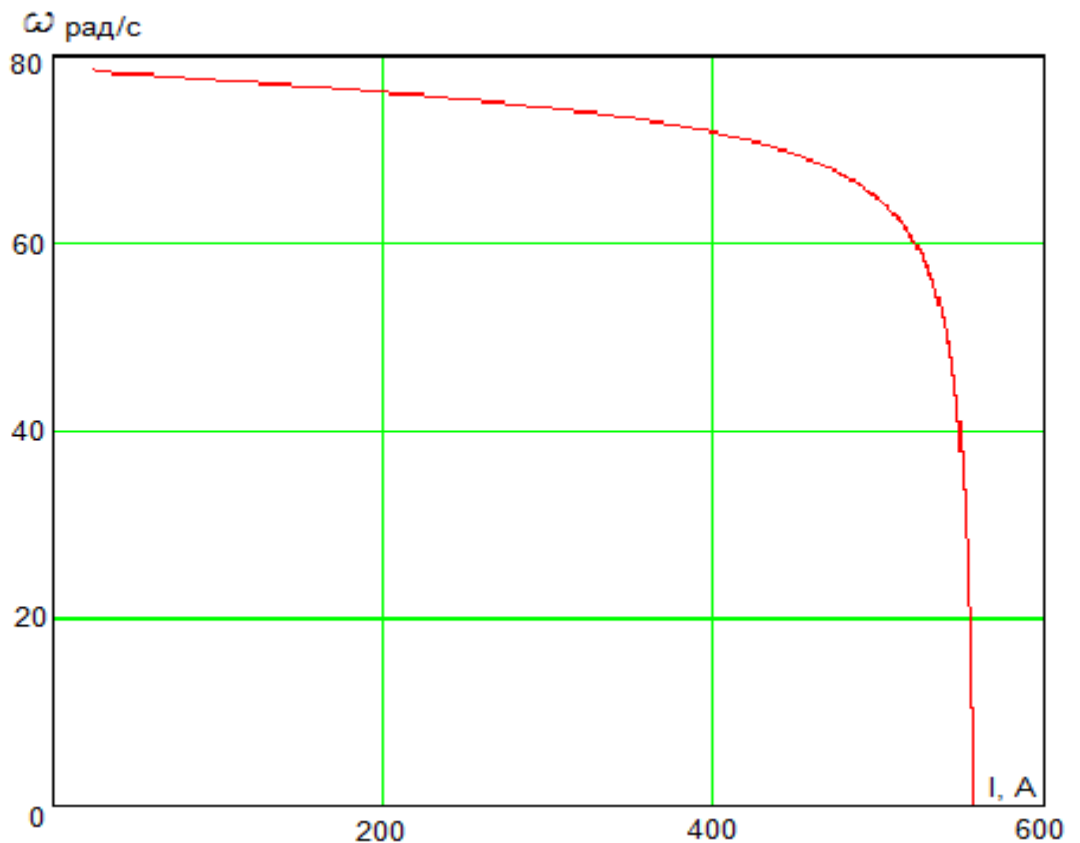


Рисунок 4. Естественная электромеханическая характеристика АД.

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:

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

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

где

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

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

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

$J_{пз} = 4 \cdot m_{пз} \cdot \frac{r_{пз}^2}{2} = 4 \cdot 45 \cdot \frac{0,22^2}{2} = 4,356 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - 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”

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

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:

Параметры при спуске:

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

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

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

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

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

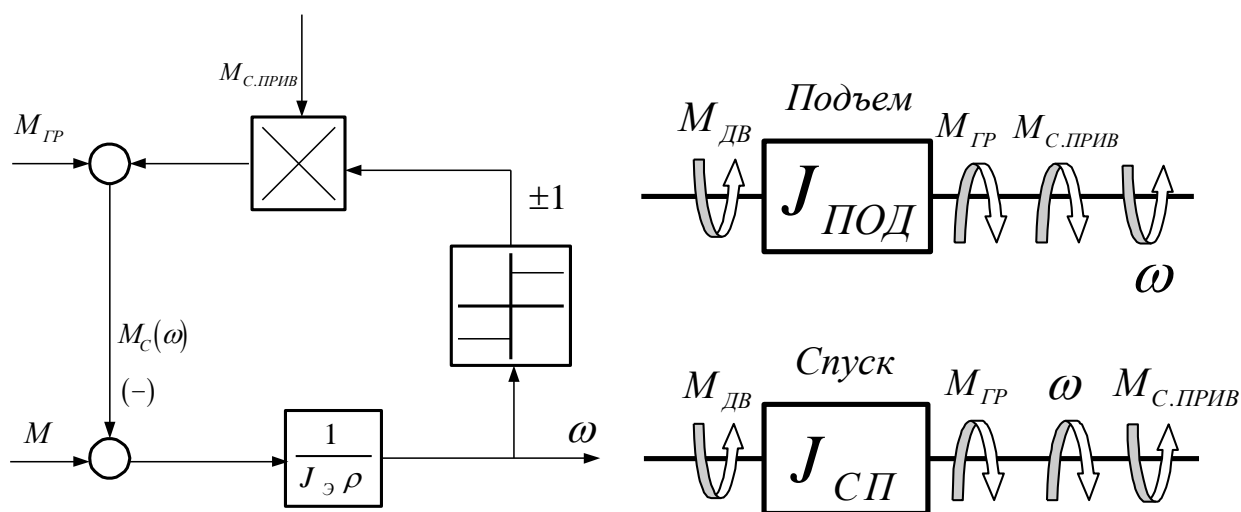


Рисунок 5. Расчетная и структурная схемы механические системы электропривода.

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 $a_{\text{макс}}=1,2 \text{ м/с}^2$, ход фурмы $S_{\text{ф}}=17,25\text{м}$,

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

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

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

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

Время и путь при торможении от $V_{\text{макс}}$ до $V_{\text{мин}}$ при опускании фурмы:

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

0,12м

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

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

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

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

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

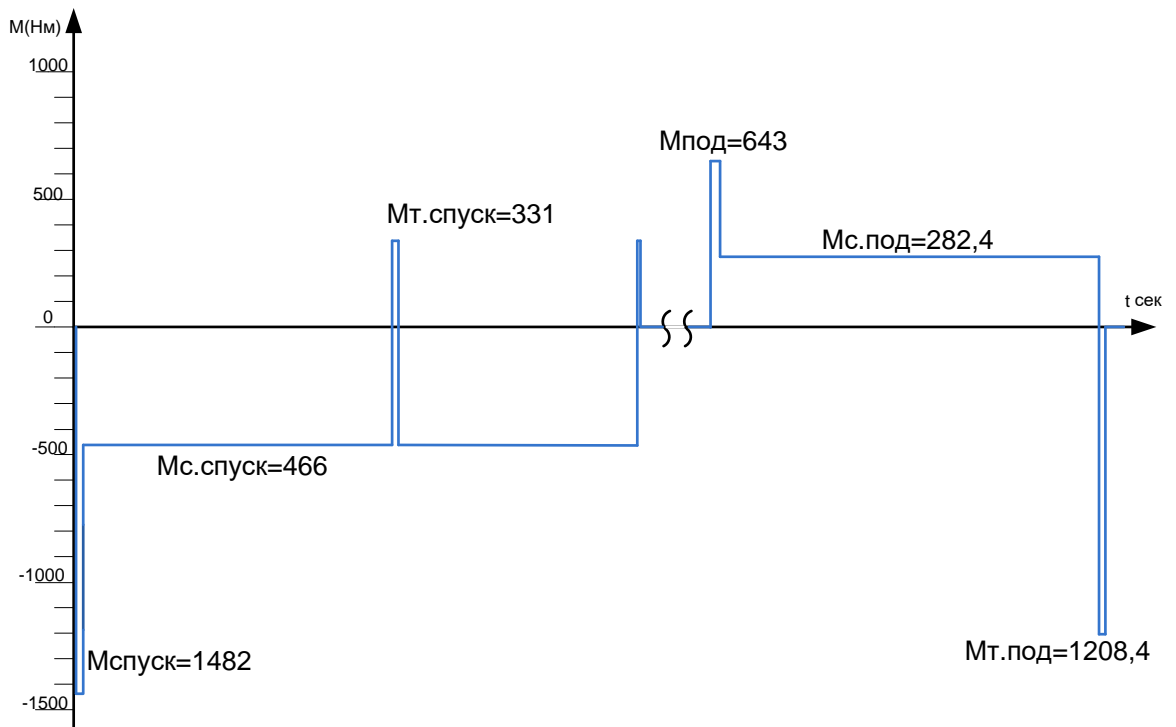
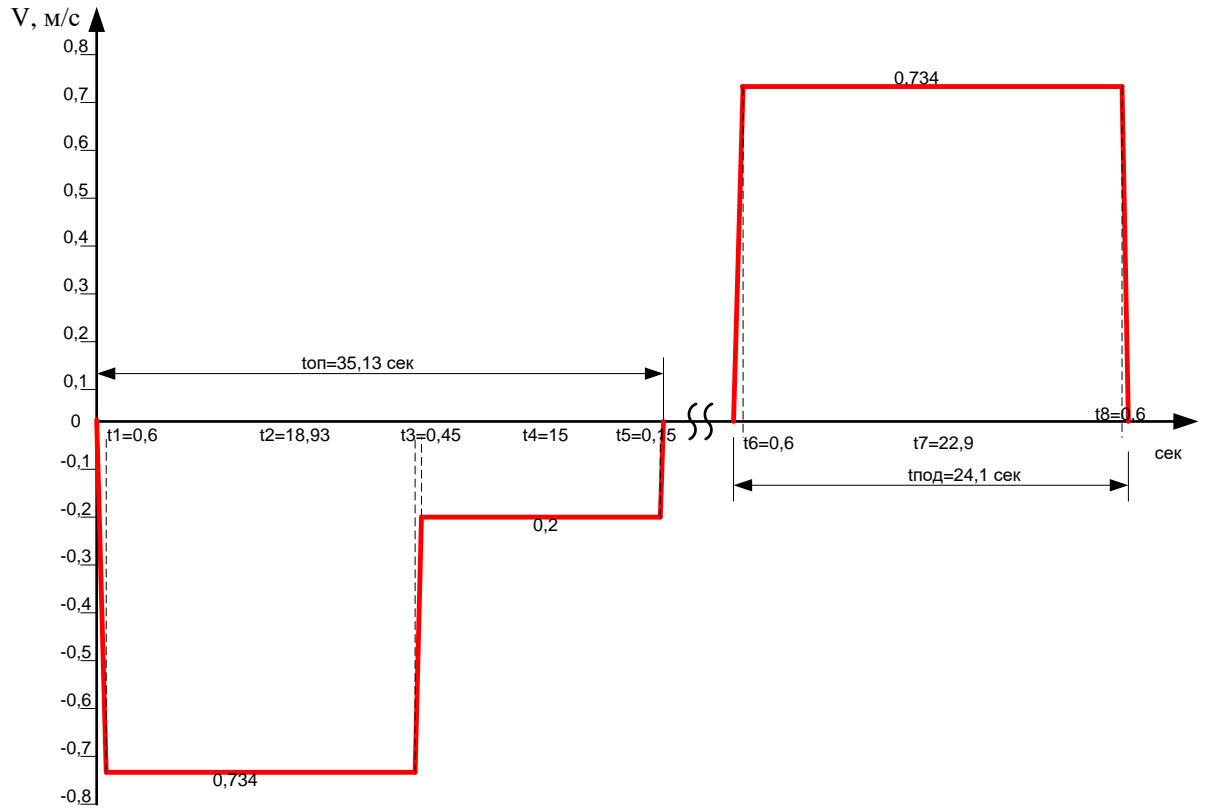


Рисунок 6 Циклограмма электропривода подъёма фурмы.

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

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

– для момента (электромагнитного) двигателя

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

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 $I_{\text{дв длит доп}} = 93,7\text{А}$.

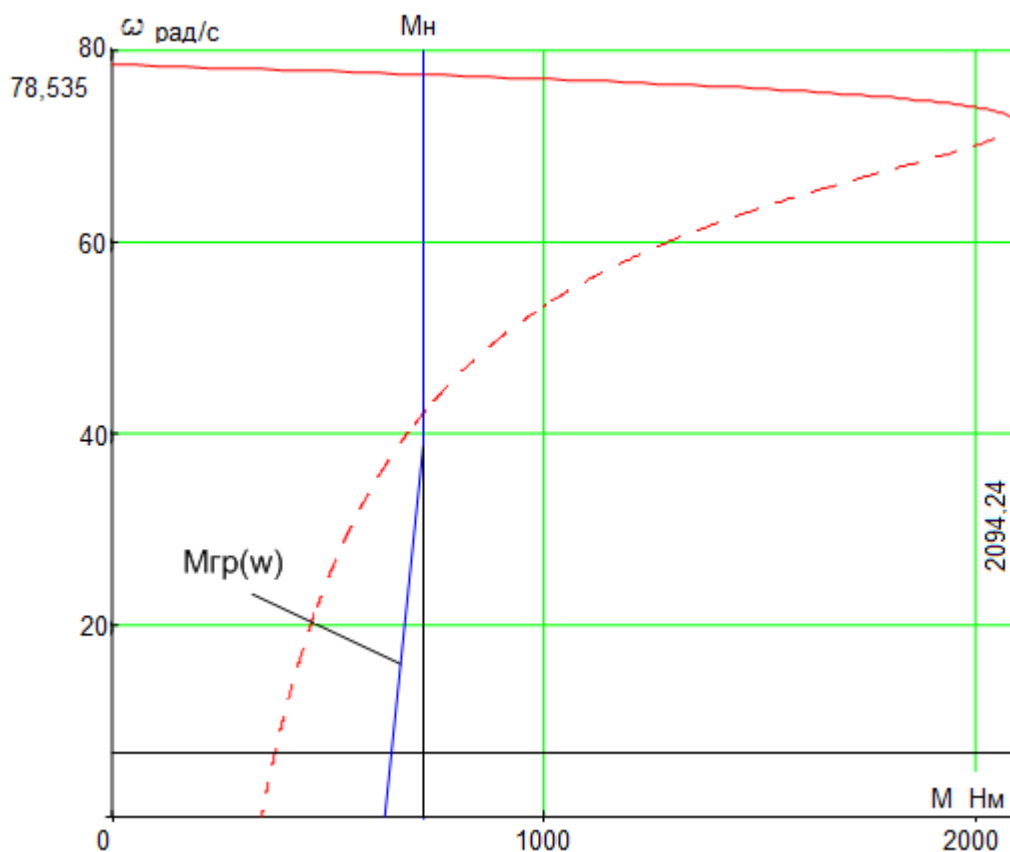


Рисунок 7. Естественная механическая характеристика и граница области допустимой длительной работы $M_{эм\ длит\ доп}(\omega)$ двигателя

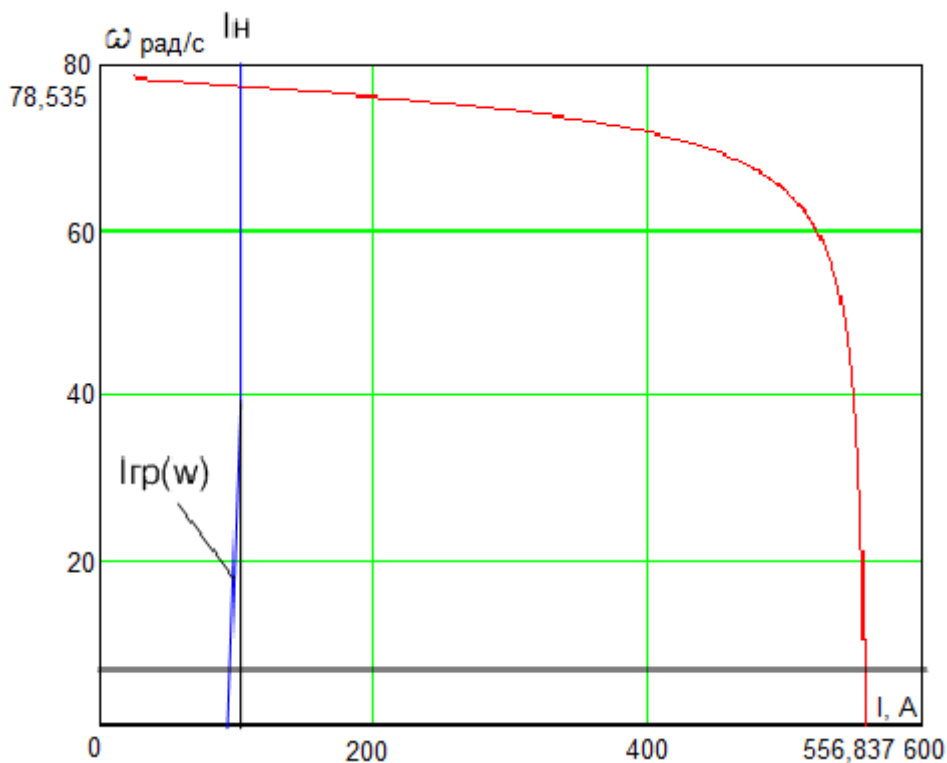


Рисунок 8. Естественная электромеханическая характеристика и граница области допустимой длительной работы $I_{дв\ длит\ доп}(\omega)$ двигателя

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

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

Требуемое максимальное значение динамического момента двигателя

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

где

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

– эквивалентный момент инерции привода;

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

– угловое ускорение привода;

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

– заданная максимальная рабочая скорость движения фурмы;

$$a = 1,2 \text{ м} / \text{с}^2$$

– принятое значение ускорения привода.

Максимальный требуемый момент электропривода в пусковом режиме.

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

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

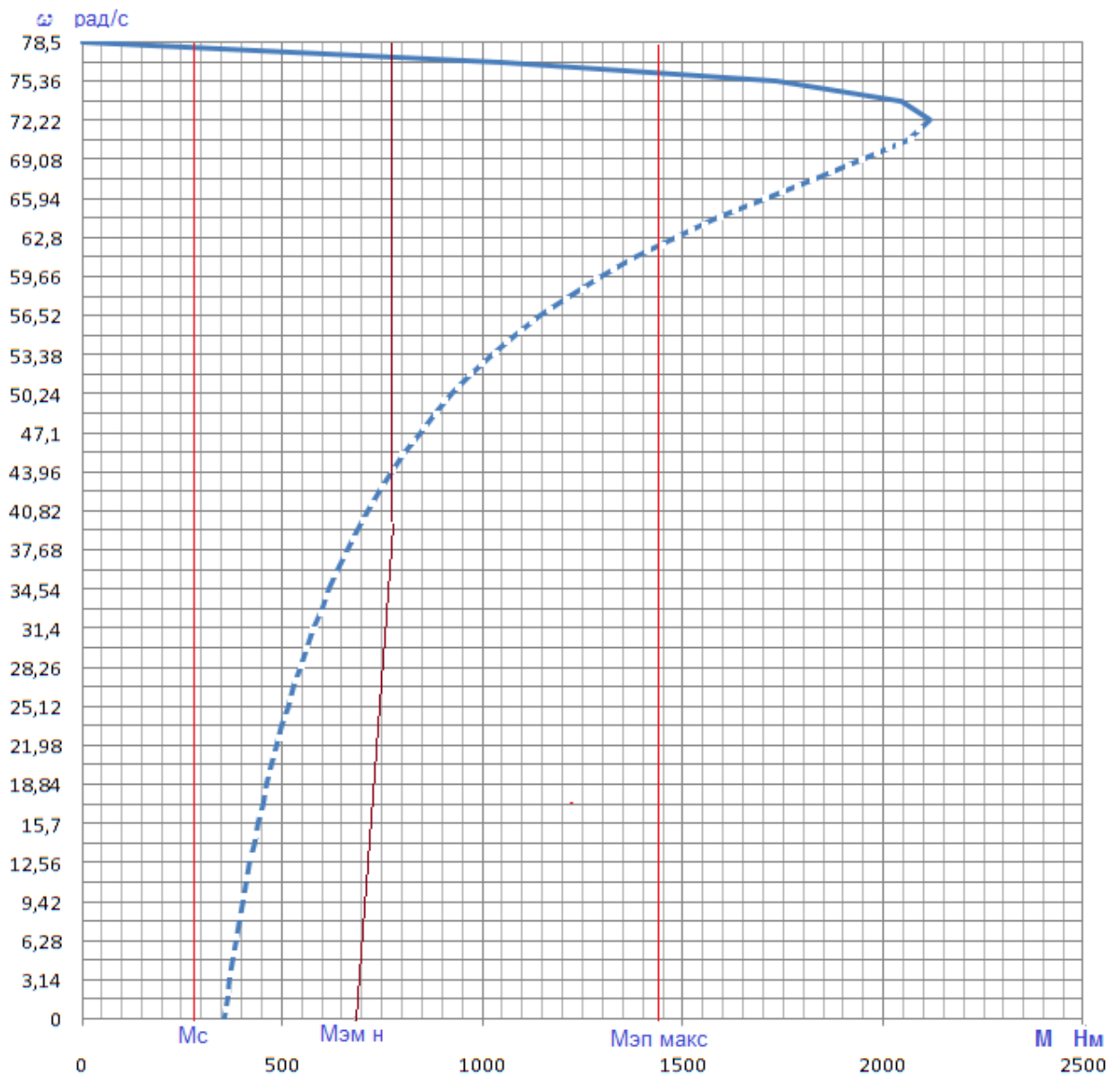


Рисунок 9. Области работы электропривода в плоскости механических характеристик двигателя

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

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

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

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

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

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

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

Поступая аналогично, находим:

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

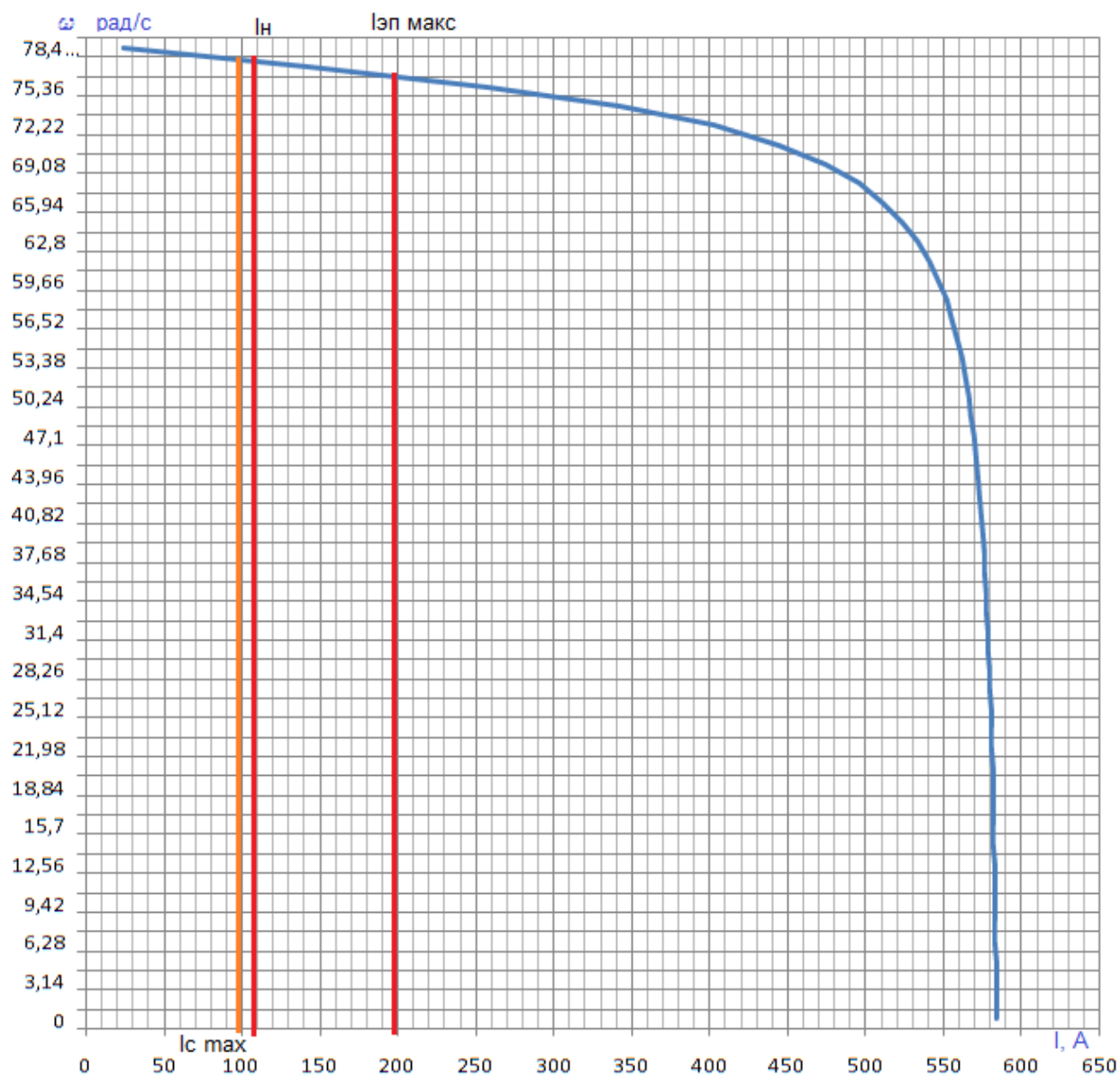


Рисунок 10. Области работы электропривода в плоскости электромеханических характеристик двигателя

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 основой 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 $\tau_{ср}$ 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).

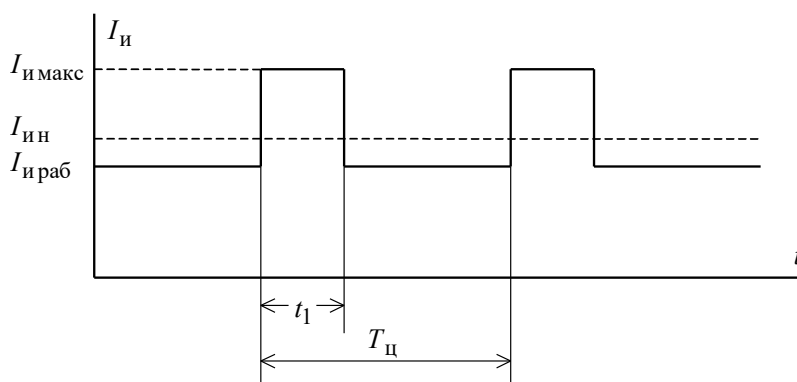


Рисунок 11

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

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

– номинальный ток инвертора должен удовлетворять условию

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

– максимальный ток инвертора должен удовлетворять условию

$$I_{\text{и макс}} > I_{\text{ЭП макс}} = 207 \text{ А}.$$

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 РТС/КТУ

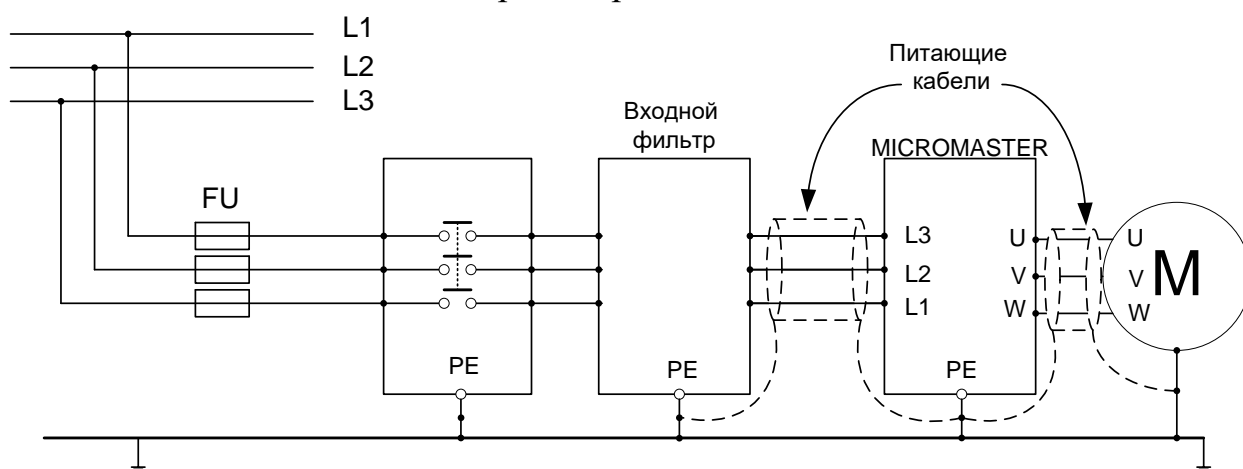


Рисунок 12 Подключение питающей сети и двигателя

Технические данные преобразователя частоты приведены в таблице 4.

Таблица 4 Технические данные преобразователя частоты MICROMASTER 440

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

Функциональная схема преобразователя представлена на рисунке 13

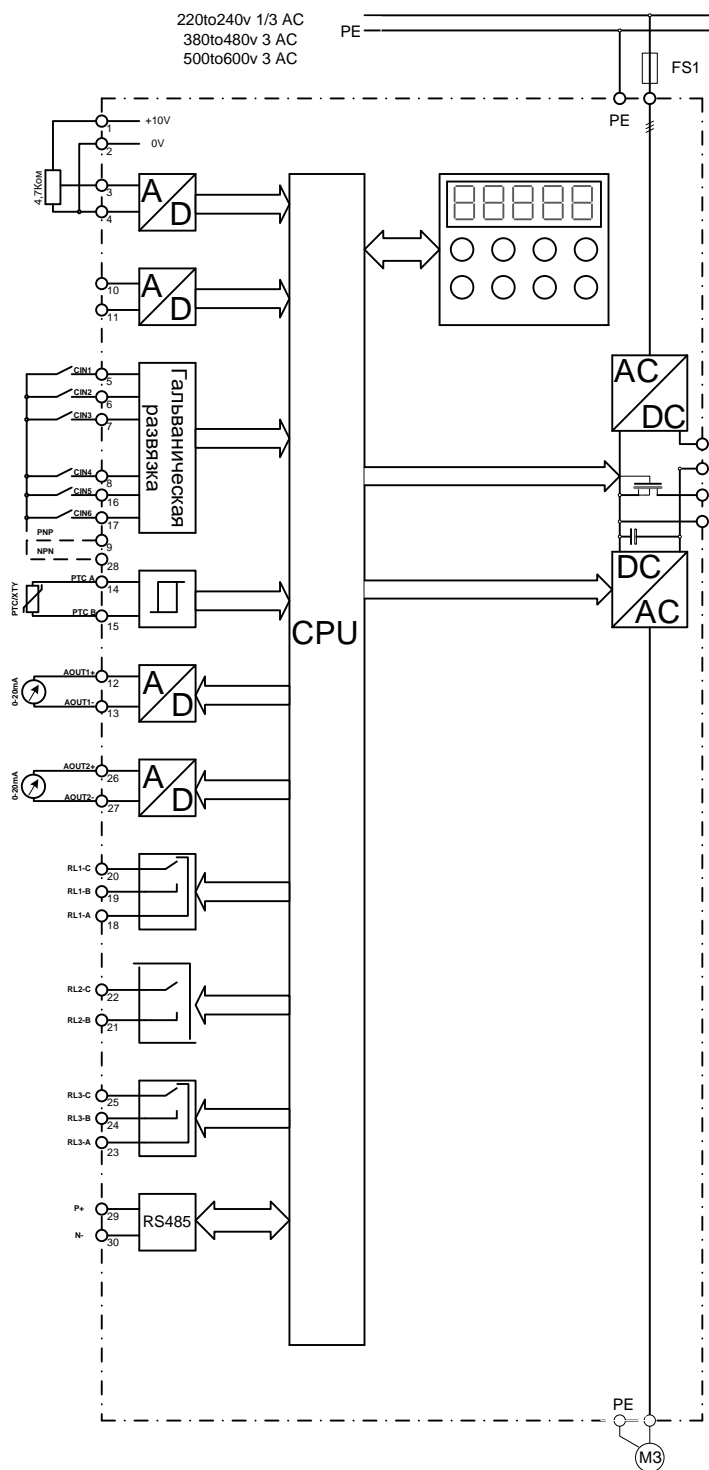


Рисунок 13 Функциональная схема преобразователя.

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.

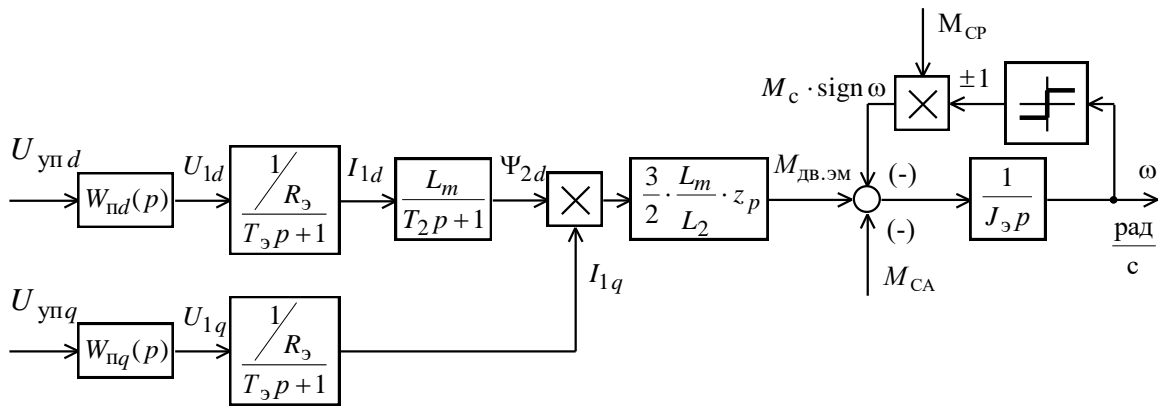


Рисунок 14 Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель во вращающейся двухфазной системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора и компенсацией внутренних обратных связей

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 Ψ_{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.

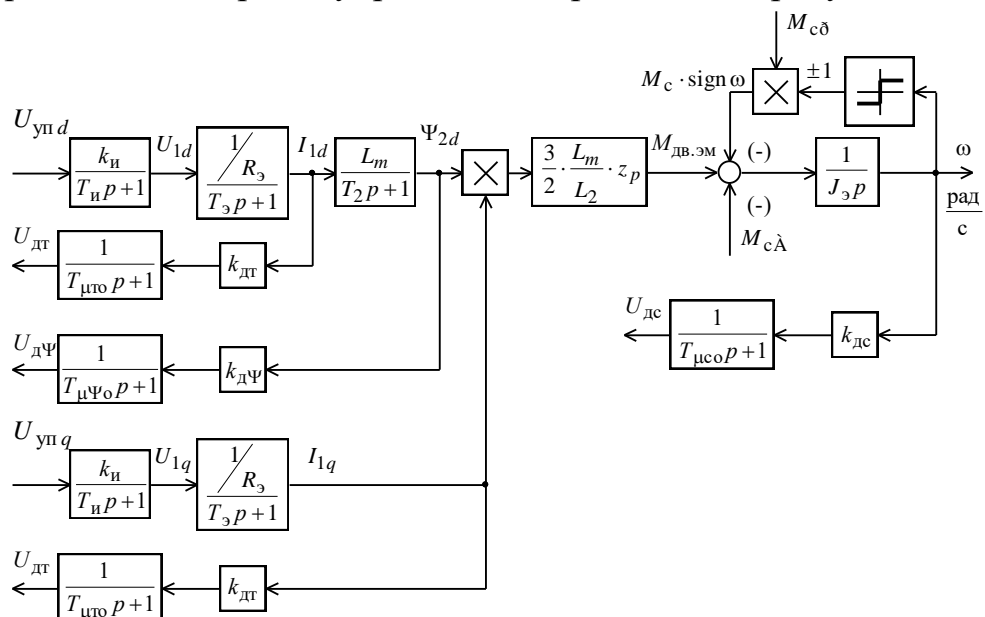


Рисунок 15 Структурная схема силового канала электропривода подъёмника

2.10.1 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода

Расчёт параметров преобразователя

Максимальный коэффициент усиления преобразователя

$$k_{и} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1фн}}{U_{уп макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,11,$$

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

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

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

где $f_{шум} = 6$ 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:

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

k_T - коэффициент обратной связи по току;

$k_Ψ$ - коэффициент обратной связи по потокосцеплению;

k_c - коэффициент обратной связи по скорости;

$T_{μто}$ - малая постоянная времени цепи обратной связи по току;

$T_{μΨо}$ - малая постоянная времени цепи обратной связи по потокосцеплению;

$T_{μсо}$ - малая постоянная времени цепи обратной связи по скорости.

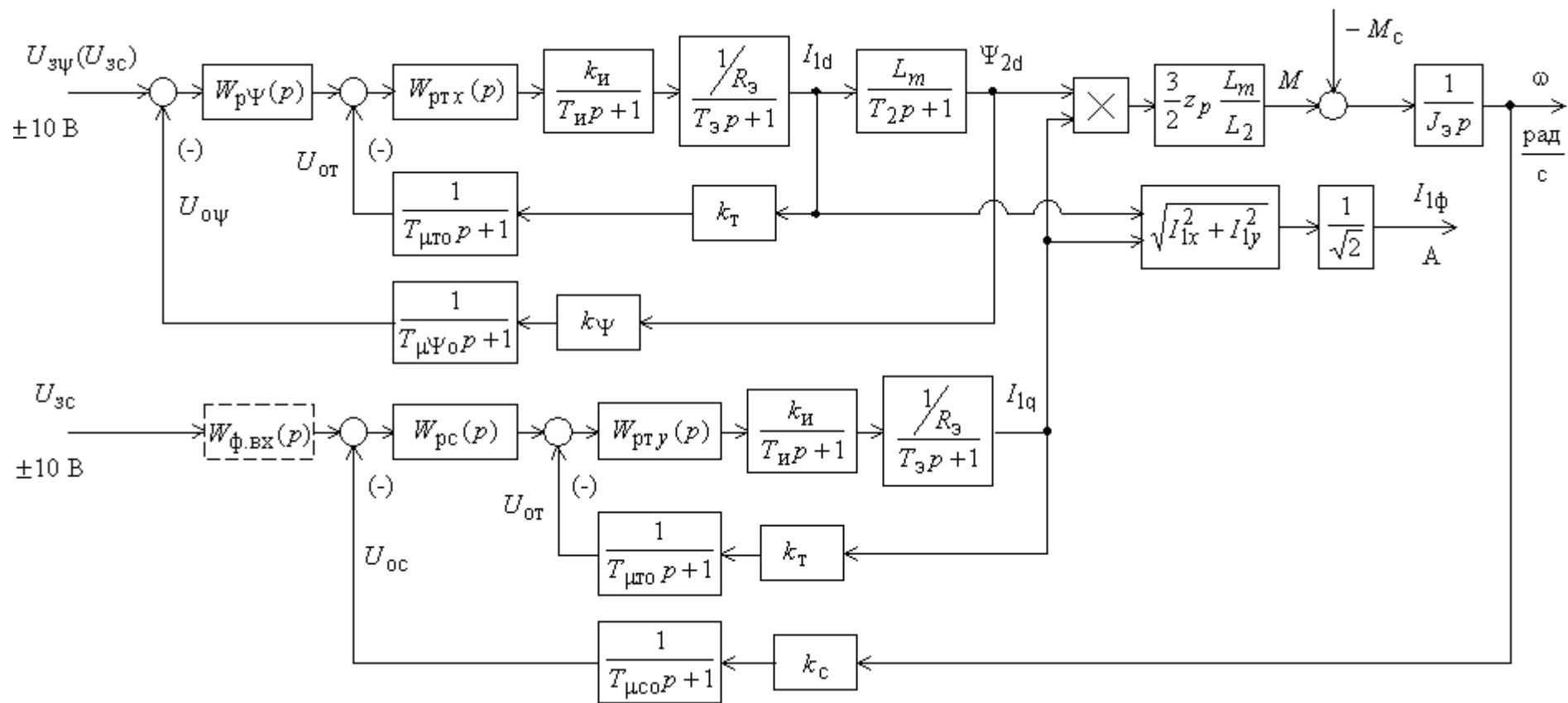


Рисунок 16 Структурная схема линейризованной САУ электропривода

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: $I_{\text{дв н}} = I_{1\text{ф н}} = 102 \text{ А}$; $M_{\text{дв н}} = 710 \text{ Н} \cdot \text{м}$. 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 $I_{1\phi H} = 102 \text{ А}$ и номинального электромагнитного момента $M_{\text{эмн}} = 716,23 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Решив совместно систему уравнений

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

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

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

– значение номинального потокосцепления двигателя, Вб

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

– значение номинального тока I_{1d} , А

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

– значение номинального тока I_{1q} , А

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

– максимально допустимое значение тока I_{1q}

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

где $M_{\text{эпмакс}} = 1482 \text{ Н}\cdot\text{м}$ – 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. Контур токов I_{1d} и I_{1q} идентичные.

Контур тока характеризуется одной большой постоянной времени в прямом канале $T_{\varepsilon} = 0.0204$ с и двумя малыми постоянными времени в прямом канале $T_{\mu\text{ТП}} = T_{\text{И}} = 0.0000833$ с и в цепи обратной связи $T_{\mu\text{ТО}} = 0.00043$ с.

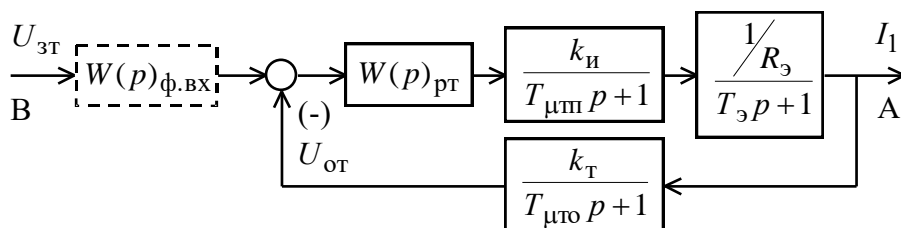


Рисунок 17 Структурная схема контура тока

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):

$$k_{\text{рТ}} = \frac{T_{\varepsilon} \cdot R_{\varepsilon}}{k_{\text{И}} \cdot k_{\text{Т}} \cdot a_{\text{Т}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}}} = \frac{0.0204 \cdot 0.0623}{31.11 \cdot 0.0344 \cdot 2 \cdot 0.0005273} = 1,13$$

– коэффициент усиления регулятора тока,

где

$$T_{\mu\text{ТЭ}} = T_{\mu\text{ТП}} + T_{\mu\text{ТО}} = 0.0000833 + 0.000444 = 0.0005273 \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени контура тока;

$$k_T = \frac{U_{зт\max}}{I_{1q\max}} = \frac{10}{290,93} = 0,0344 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

– 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.

$T_{рг} = T_{\text{э}} = 0,0204 \text{ с}$ – постоянная времени регулятора тока

Передаточная функция замкнутого контура тока имеет следующий вид

$$W(p)_{T\text{ зам}} = \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\text{то}} \cdot p + 1)}{a_T T_{\mu\text{пт}} T_{\mu\text{то}} T_{\mu\text{тэ}} p^3 + a_T T_{\mu\text{тэ}}^2 p^2 + a_T T_{\mu\text{тэ}} p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\text{то}} \cdot p + 1)}{a_T \cdot T_{\mu\text{тэ}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\text{тэ}} \cdot p + 1} = \frac{1}{0,0344} \cdot (0,000444 \cdot p + 1) / (5,5609 \cdot 10^{-7} \cdot p^2 + 1,0546 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1)$$

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 $T_{\mu\text{пт}}$ 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:

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

$$\approx \frac{\frac{1}{k_T}}{a_T \cdot T_{\mu\text{тэ}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\text{тэ}} \cdot p + 1} = \frac{\frac{1}{0.0344}}{5.5609^{-7} \cdot p^2 + 1.0546^{-3} \cdot p + 1}.$$

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

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

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

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

$$t_{\text{пу1}}^{(5)} = t_{\text{пу2}}^{(5)} \approx 4.1 \cdot T_{\mu\text{тэ}} = 4.1 \cdot 0.0005273 = 0.002162 \text{ с}.$$

Оптимизация контура потокосцепления

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

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

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.

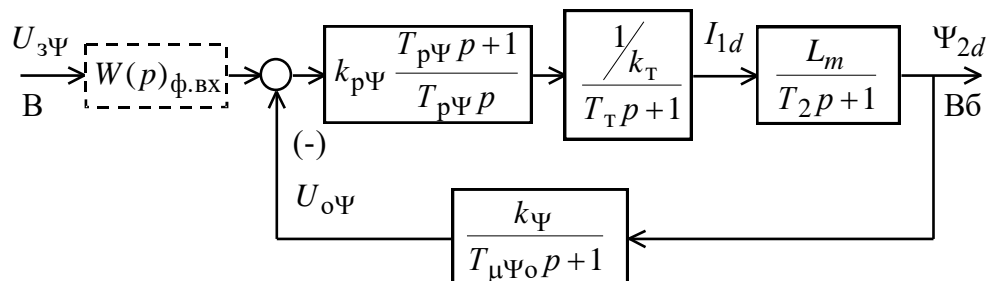


Рисунок 18 Структурная схема контура потокосцепления

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;

$U_{\Psi \text{ макс}} = 10 \text{ В}$ – 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, $\Delta\Psi_{\text{уст}} = 0$.

В зависимости от соотношения малых постоянных времени в прямом канале $T_{\mu\Psi_{\Pi}}$ и в цепи обратной связи $T_{\mu\Psi_0}$ контур имеет следующие динамические показатели качества работы:

– полоса пропускания по модулю

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{(0,71 \div 0,9)}{T_{\mu\Psi_3}} = \frac{(0,71 \div 0,9)}{0,005495} = (129,21 \div 163,785) \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

или

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

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

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

$$t_{\text{пу1}}^{(5)} = (4,1 \div 2,75) \cdot T_{\mu\Psi_3} = (4,1 \div 2,75) \cdot 0,005495 = (0,02253 \div 0,0151) \text{ с}.$$

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

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

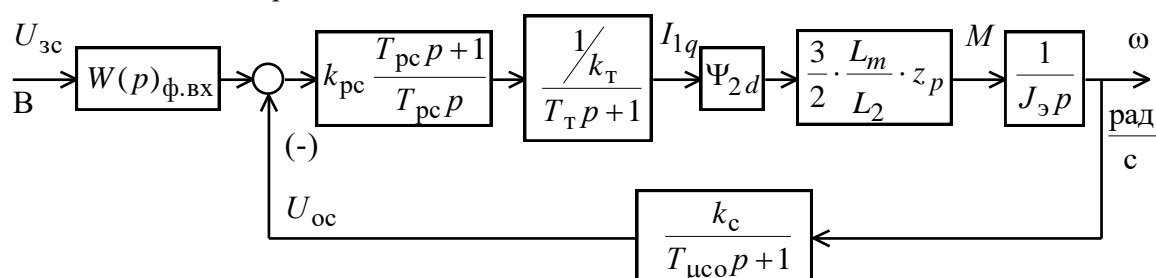


Рисунок 19 Структурная схема контура скорости

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости определяются по выражениям:

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

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

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

где

$$T_{\mu c \varepsilon} = T_T + T_{\mu c o} = 0.0010546 + 0.00444 = 0.0054495 \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура;

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

– коэффициент обратной связи по скорости;

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

электропривода;

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

$$b_c = a_c = 2 \text{ – коэффициенты оптимизации контура скорости.}$$

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

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

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

Контур скорости с адаптивным ПИ-регулятором ($k_{pc} = f(J_{\varepsilon})$) имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

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

– замкнутого контура по управлению

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

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

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

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 $U_{\text{зс}}(t)$

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

– полоса пропускания контура по модулю и по фазе

$$\omega_{\text{п}}^{(\text{м})} \approx \frac{0.5}{T_{\mu\text{сэ}}} = \frac{0.5}{0.005495} = 91, \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \text{ или } f_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{\omega_{\text{п}}^{(\text{м})}}{2\pi} \approx \frac{91}{2 \cdot 3.1415} = 14.5 \text{ Гц},$$

$$\omega_{\text{п}}^{(\text{ф})} \approx \frac{0.36}{T_{\mu\text{сэ}}} = \frac{0.36}{0.005495} = 65.5, \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \text{ или } f_{\text{п}}^{(\text{ф})} = \frac{\omega_{\text{п}}^{(\text{ф})}}{2\pi} \approx \frac{65.5}{2 \cdot 3.1415} = 10.43 \text{ Гц};$$

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

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.

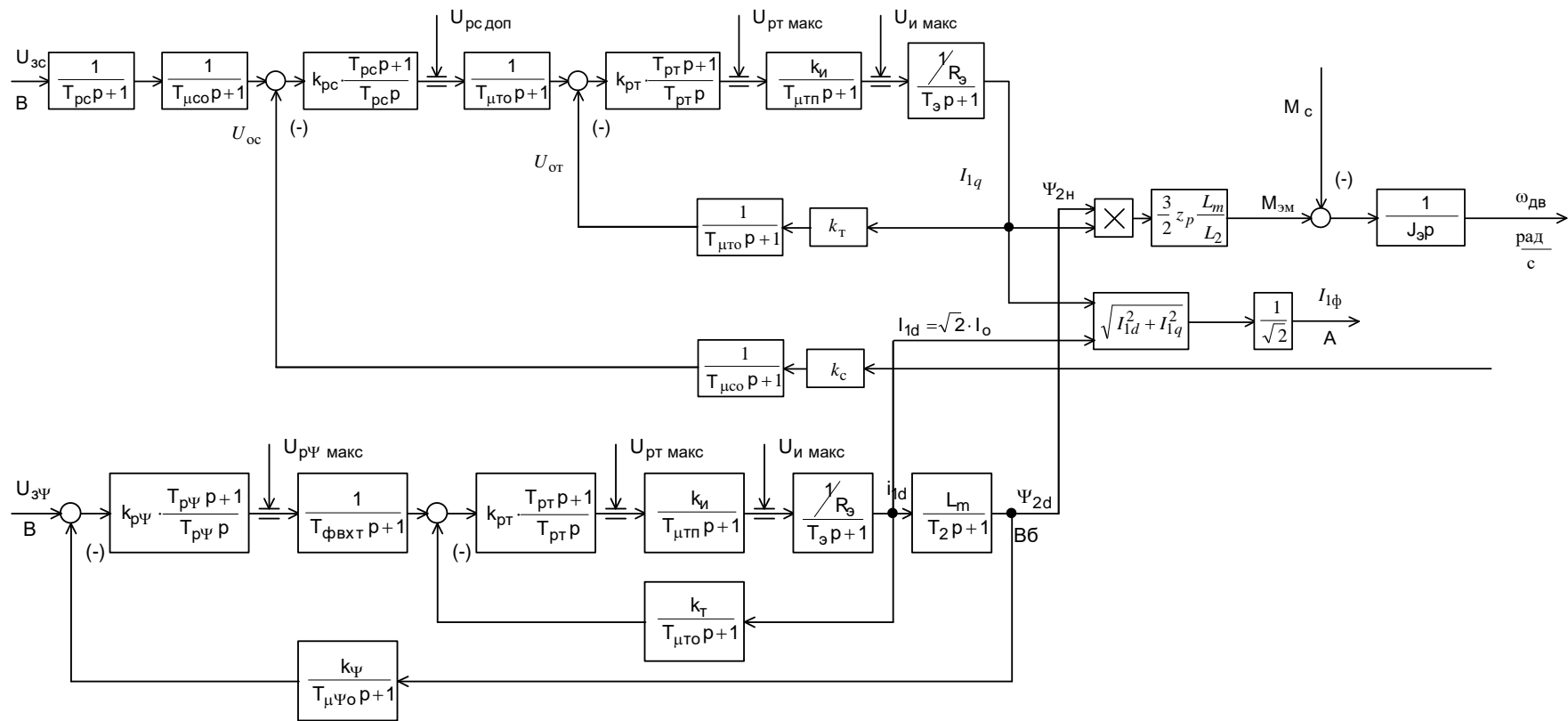


Рисунок 20 Структурная схема САУ электропривода фурмы кислородного конвертора.

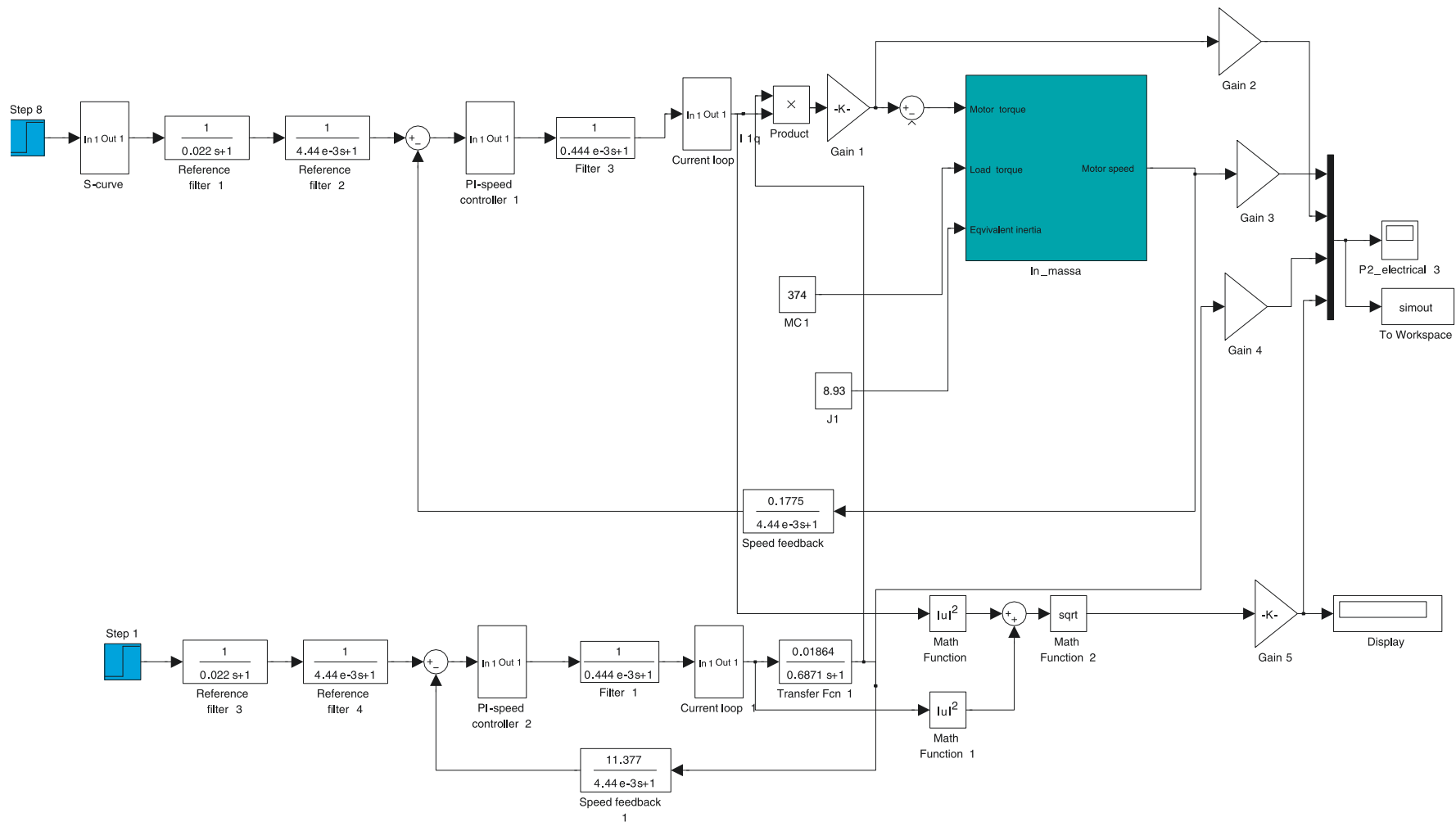


Рисунок 21 Схема набора имитационной модели электропривода фурмы кислородного конвертора.

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).

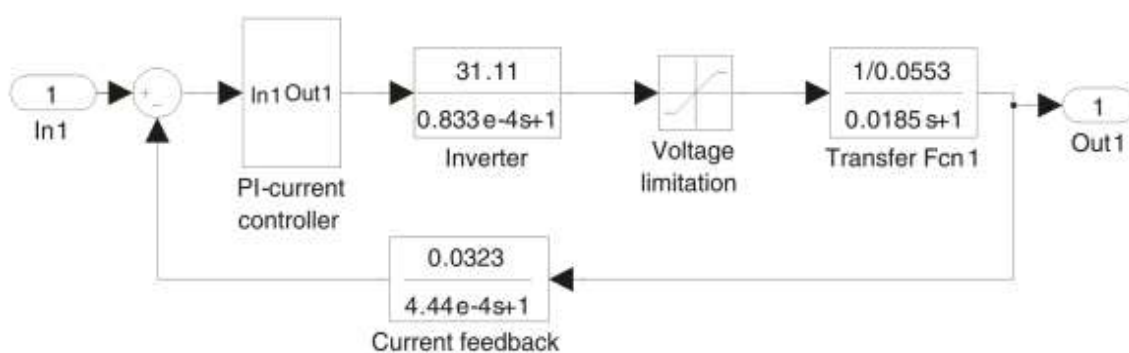


Рисунок 22 Схема набора имитационной модели контура тока

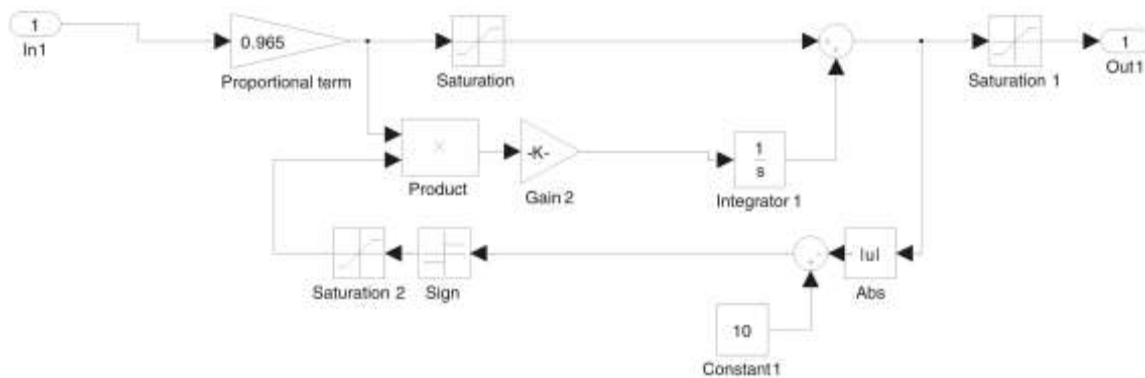


Рисунок 23 Схема набора имитационной модели регулятора тока

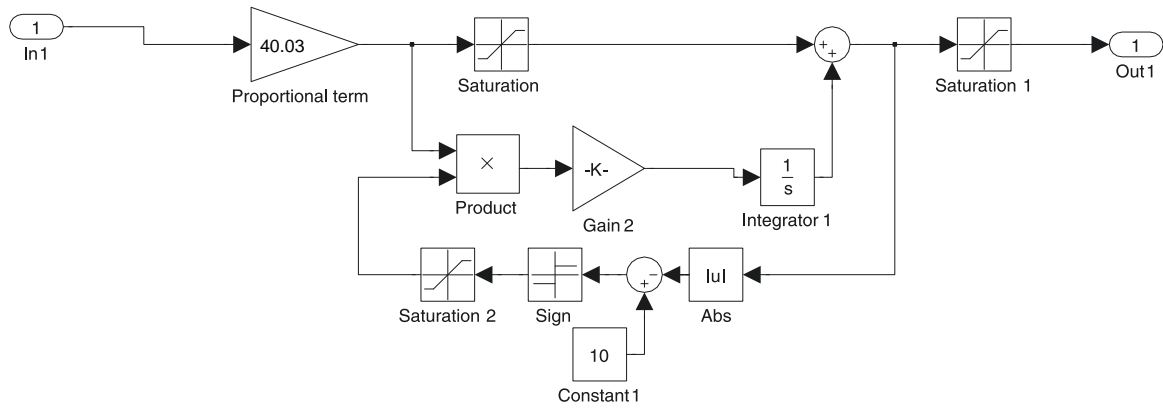


Рисунок 24 Схема набора имитационной модели регулятора скорости

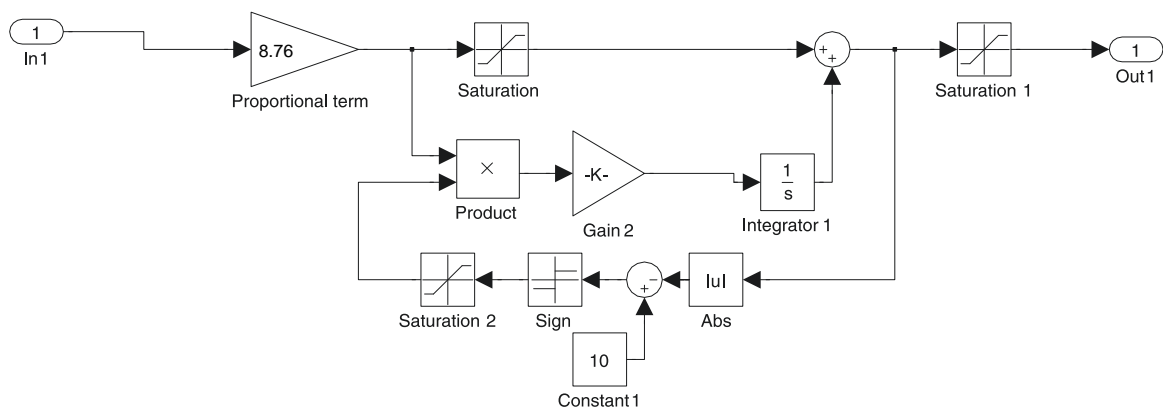


Рисунок 25 Схема набора имитационной модели регулятора
потокоцепления

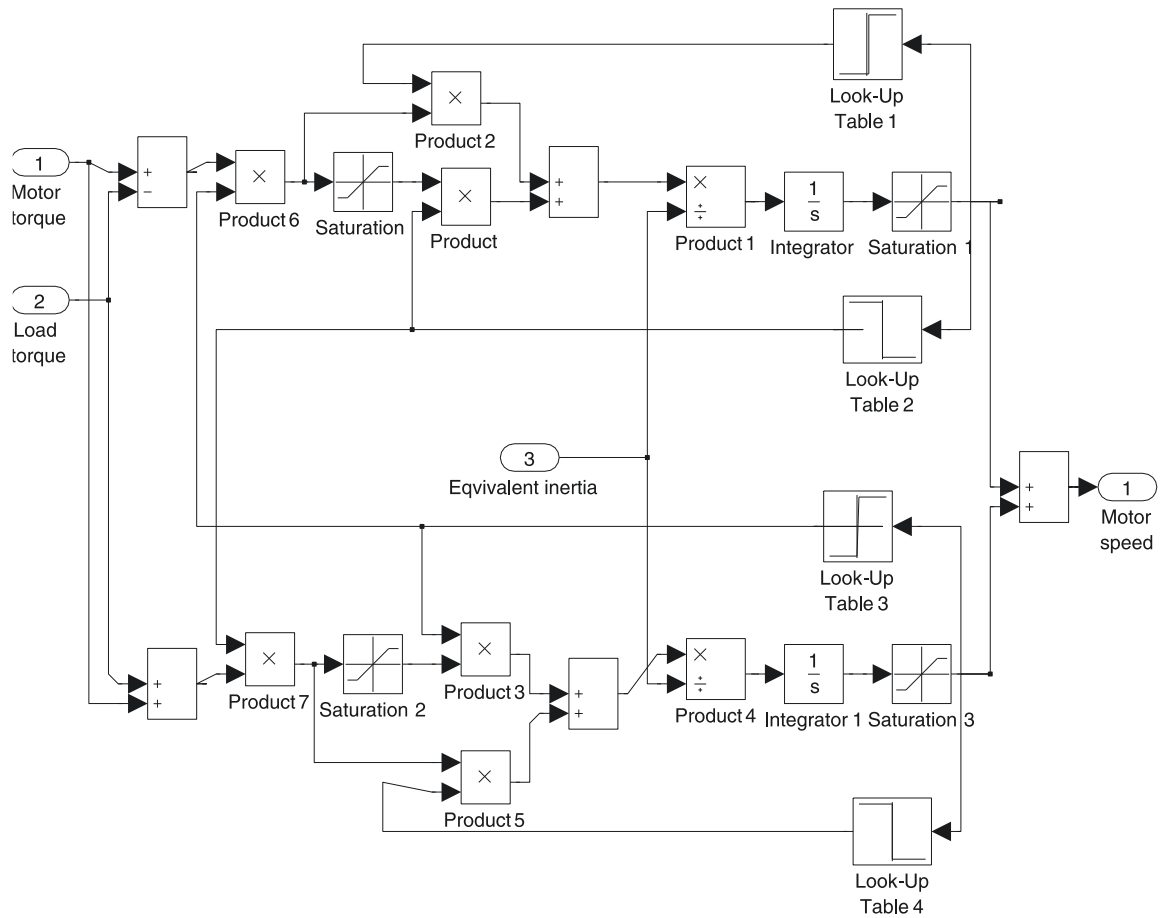


Рисунок 26 Схема набора имитационной модели механической системы

Таблица 5 Параметры элементов структурной схемы

$U_{з\Psi},$ В	$k_{p\Psi}$	$T_{p\Psi},$ с	$k_{\Psi}, \frac{В}{Вб}$	$T_{\mu\Psi_0},$ с	$T_{\phi_{ВХТ}},$ с	k_{pT}	$T_{pT},$ с	$k_T, \frac{В}{А}$	$T_{\mu TO},$ с	$k_{и}$	$T_{\mu\Pi\Pi},$ с	$R_3,$ 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

$T_3,$ с	$L_m,$ Гн	$T_2,$ с	$\Psi_{2дн},$ Вб	$U_{p\Psi \text{ макс}},$ В	$U_{pT \text{ макс}},$ В	$T_{\phi_{ВХТ}1},$ с	$T_{\phi_{ВХТ}2},$ с	k_{pc}
0,0204	0,02733	0,8772	0,872	± 10	± 10	0,022	0,00444	40,03

Продолжение таблицы 5

$T_{pc},$ с	$k_c, \frac{В \cdot с}{\text{рад}}$	$T_{\mu CO},$ с	$T_{\phi_{ВХТ}},$ с	k_{pT}	$T_{pT},$ с	$k_T, \frac{В}{А}$	$L_2,$ Гн	z_p	$J_3^*,$ кг·м ²	$\omega_{\text{макс}},$ $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$I_{1q \text{ макс}},$ А	$U_{и \text{ макс}},$ 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

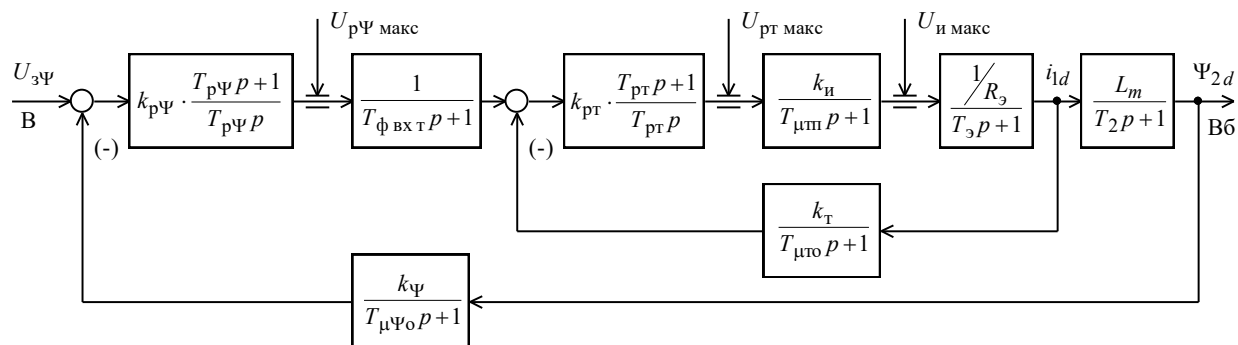


Рисунок 27 Структурная схема контура регулирования потокосцепления

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

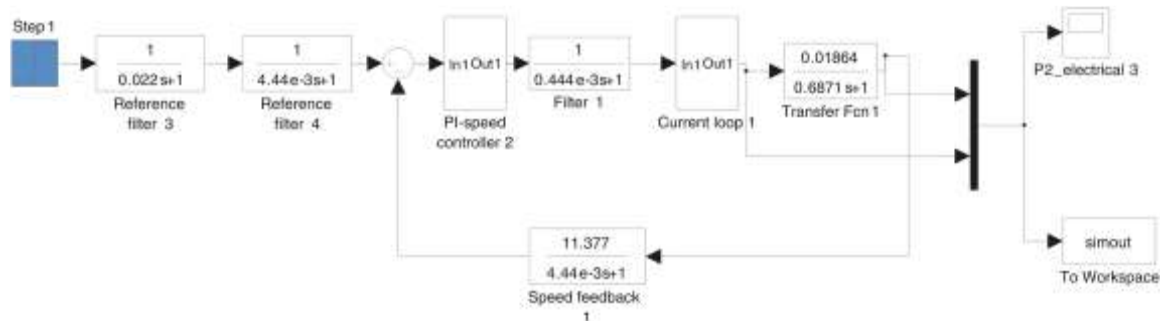


Рисунок 28 Схема набора имитационной модели контура потокосцепления

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

Процесс формирования потокосцепления двигателя характеризуется следующими количественными показателями:

- установившееся значение потокосцепления $\Psi_{2d} = \Psi_{2н} = 0.879$ Вб;

– статическая ошибка обработки заданного значения потокосцепления $\Delta\Psi_{уст} = 0$;

– время достижения значения $0.95 \cdot \Psi_{2d\text{ уст}} t_1^{(5)} \approx 0.115\text{ с}$.

Внутренний контур тока обеспечивает ограничение максимального значения тока на уровне $I_{1d\text{ макс}} = I_{1q\text{ макс}} = 311\text{ А}$ и установившееся значение тока равное $I_{1d\text{ уст}} = 47,16\text{ А}$.

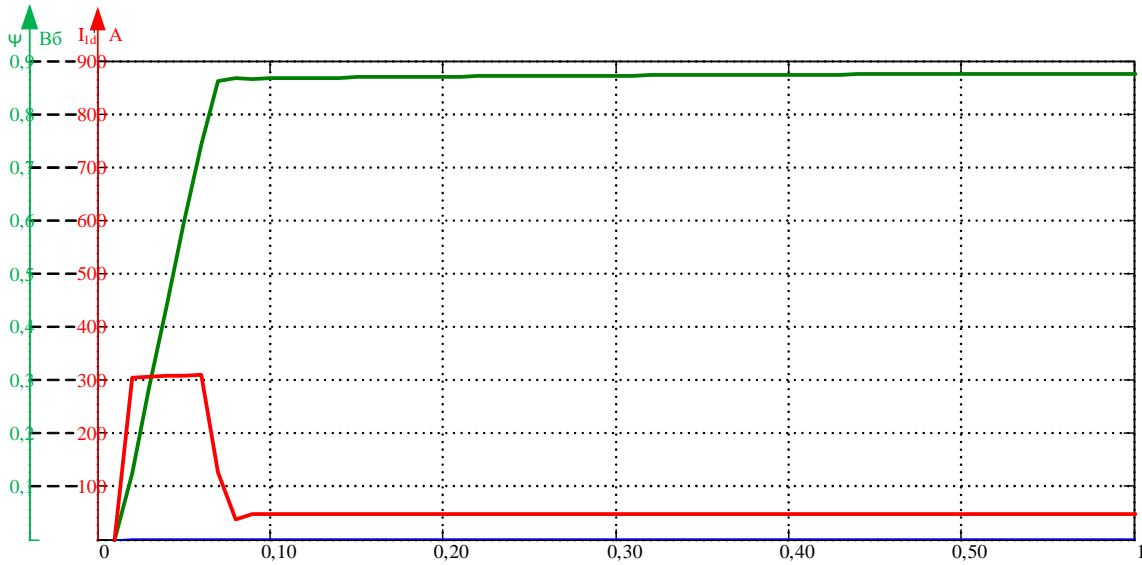


Рисунок 29 Переходные процессы в контуре потокосцепления при $U_{3\Psi} = 10\text{ В}$

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.

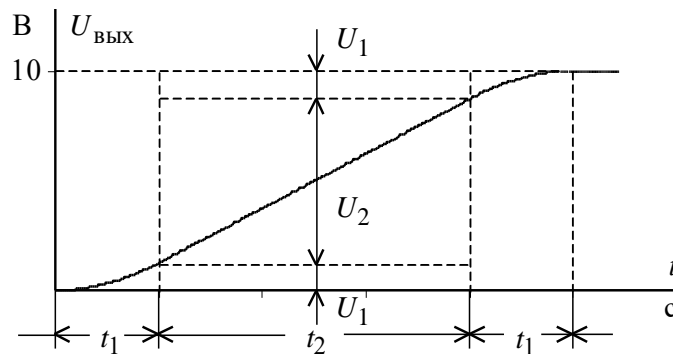


Рисунок 30 Временная характеристика S-образного задатчика скорости

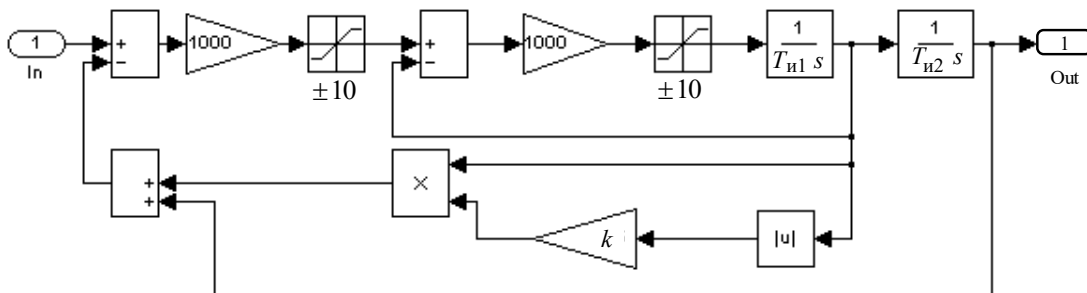


Рисунок 31 Схема набора имитационной модели задатчика скорости

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 $t_2 = 0,6 \text{ с.}$

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.

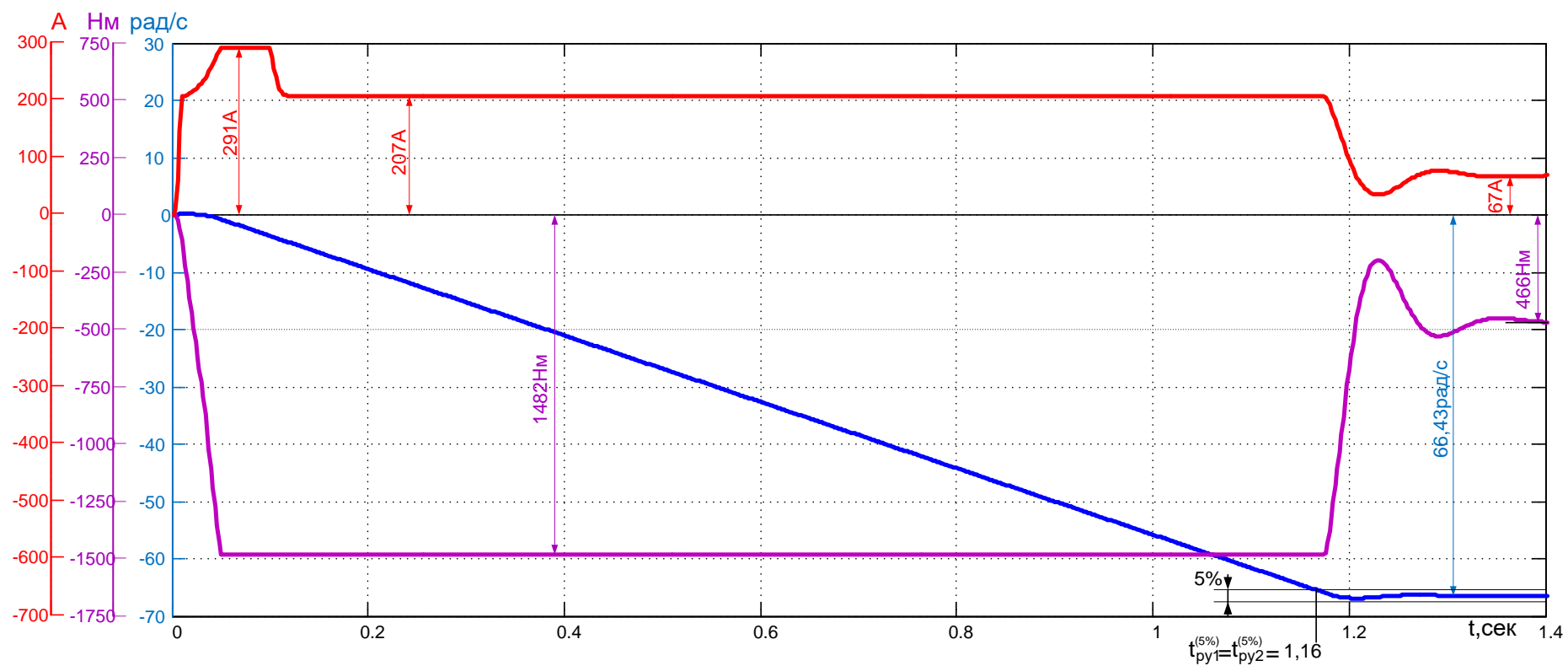


Рисунок 32 График переходных процессов при спуске фурмы

Задание

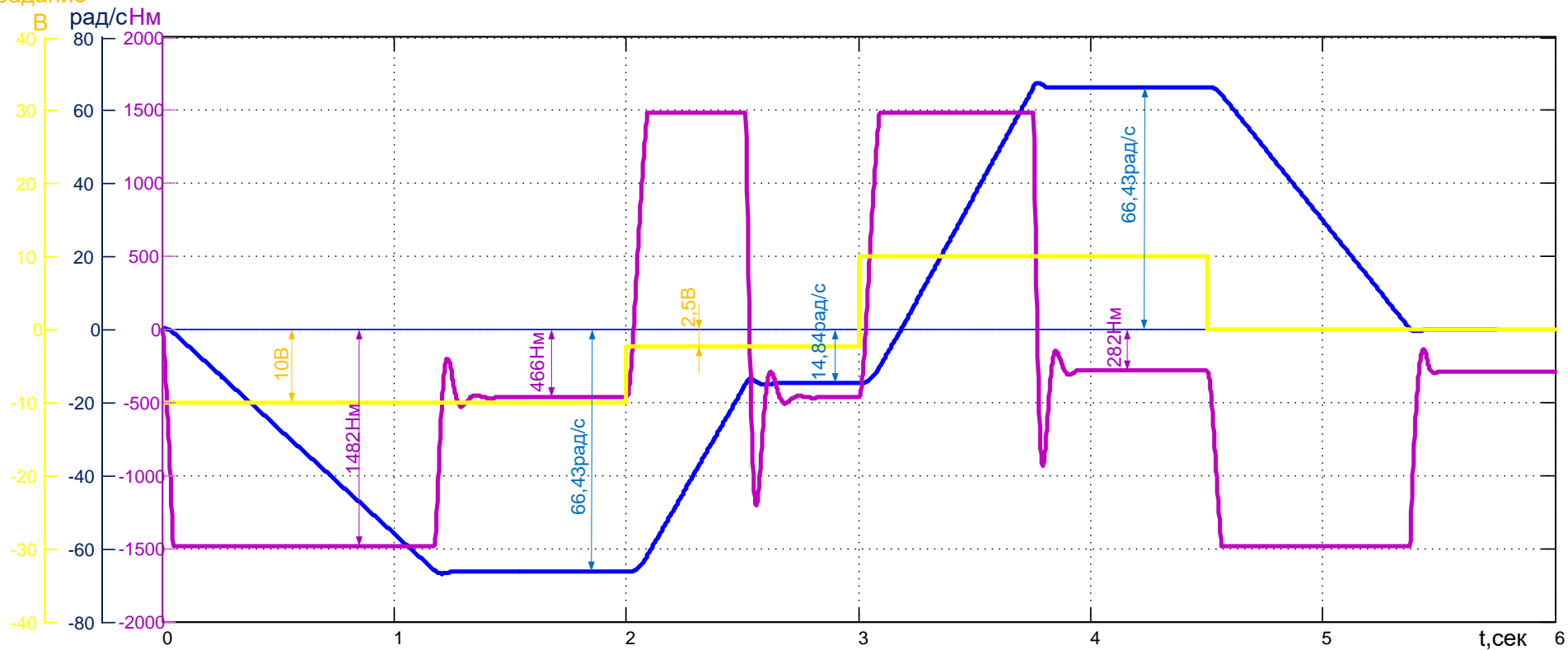


Рисунок 33 График переходных процессов цикла работы фурмы

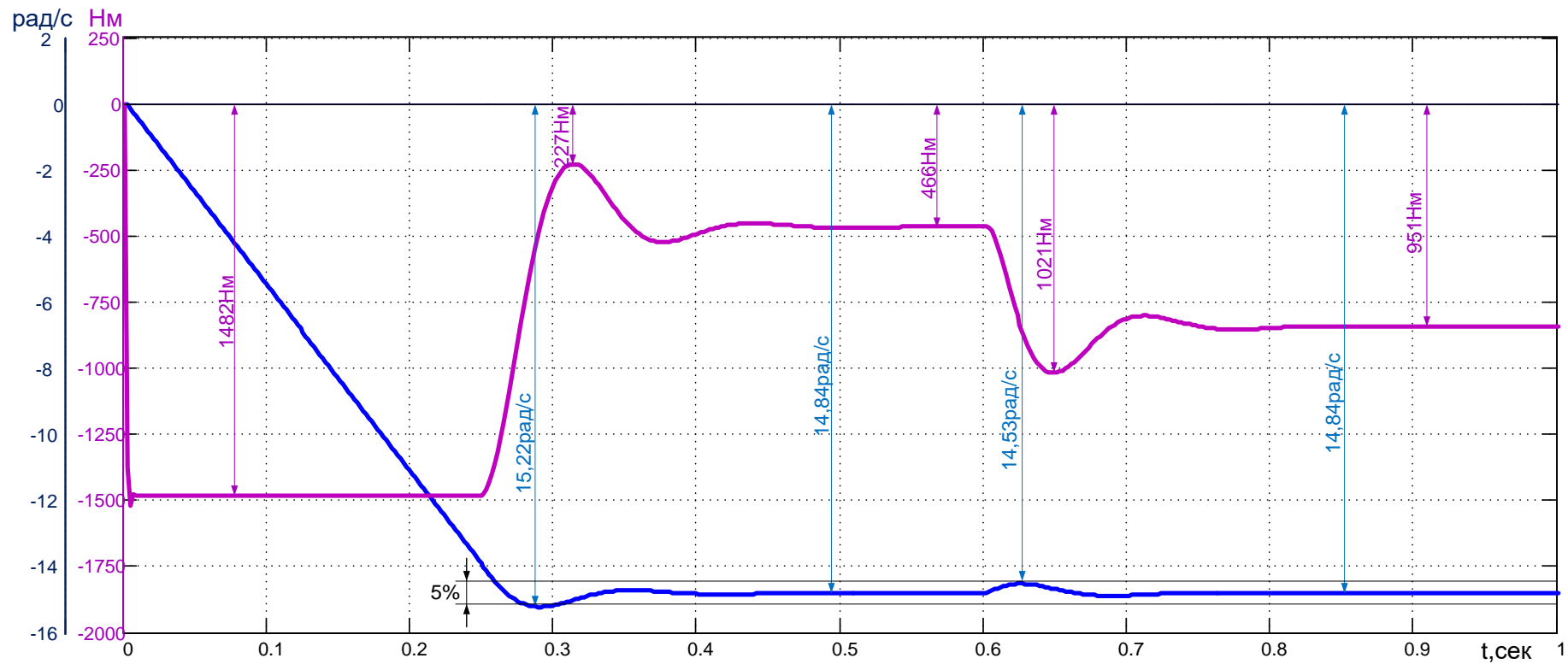


Рисунок 34 График переходных процессов при двукратном набросе нагрузки. Скорость не выходит из 5% зоны.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5Б1	Исmoilову Сардору Рахимжону Угли

Институт	Инженерная школа энергетики	Кафедра	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

<i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- Накладные расходы 16%; - Районный коэффициент 30%; - Дополнительная заработная плата –10 %; - НДС – 18%; - Коэффициент при работе под напряжением – 30%; - Коэффициент при работе в зоне действующего оборудования – 30%;
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления по страховым взносам – 30,2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование; - потенциальные потребители результатов НИТТ; - SWOT-анализ; - анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.
<i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: - планирование научно-исследовательских работ; - пусконаладочные работы; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Гантта; Формирование бюджета затрат на научное исследование: - затраты на пусконаладочные работы; - дополнительная заработная плата; - полная заработная плата исполнителей; - накладные расходы; - расчет расходов при эксплуатации электропривода; - расчет стоимости электроэнергии.
<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования</i>	- интегральный финансовый показатель; - интегральный показатель ресурсоэффективности; - интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<p>Диаграмма Гантта Оценка конкурентоспособности НИ Матрица SWOT</p>
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н		20.03.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5Б1	Исmoilов Сардор Рахимжон угли		20.03.20

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель данного раздела ВКР заключается в оценке конкурентоспособности и ресурсоэффективности научной разработки электропривода подъема кислородной фурмы, предназначенного для предприятия ОАО «Евраз ЗСМК».

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Инициализировать проект и его технико-экономическое обоснование,
2. Определить Потенциальных потребителей результатов НТП.
3. Произвести SWOT-анализ эффективности электропривода подъема кислородной фурмы.
4. Проанализировать конкурентные технические решения с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
5. Произвести планирование научно-исследовательских работ.
6. Определить пусконаладочные работы.
7. Определить состав бригады для проведения ПНР.
8. Рассчитать стоимость ПНР.
9. Рассчитать расходы при эксплуатации электропривода.

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.

3.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование

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.

3.2 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 проводится 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.

3.3 SWOT-анализ эффективности электропривода подъема кислородной фурмы

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

	Сильные стороны проекта: 1. Универсальность применения разрабатываемых математических моделей; 2. Наличие опытного научно-руководителя; 3. Актуальность проводимого исследования.	Слабые стороны проекта: 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

Продолжение таблица 6. Матрица SWOT

<p>Возможности:</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 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>Угрозы:</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 сильные 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.

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

3.4 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

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

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

Рассматривалось три варианта исполнения:

1. Преобразователь частоты (далее ПЧ) фирмы SIEMENS модель MICROMASTER 440, двигатель асинхронный фирмы SIEMENS серии 1LG4253-4AA-Z, мощностью 55 кВт, 1500 об/мин., силовой блок с автоматическими выключателями;

2. ПЧ фирмы ABB модель ACH550-01-125A-4, двигатель асинхронный фирмы ABB 3GAA252041-BDG, мощностью 55 кВт, 1500 об/мин, силовой блок с автоматическими выключателями;

3. ПЧ фирмы DANFOSS модель 131L9898, двигатель асинхронный фирмы SIEMENS серии 1LG4253-4AA-Z, мощностью 55 кВт, 1500 об/мин., силовой блок с автоматическими выключателями.

Таблица 11. Стоимость комплекта

Наименование комплектующих	Вариант исполнения					
	1		2		3	
	марка	стоимость	марка	стоимость	марка	стоимость
ПЧ	Siemens Micromaster 440	337080	ABB ACH550-01-125A-4	356079	Danfoss 131L9898	420722,9
Двигатель	Siemens 1LG4253-4AA-Z	296595	ABB 3GAA252041-BDG	377869	Siemens 1LG4253-4AA-Z	296595

Продолжение Таблица 11. Стоимость комплекта

Силовой блок с автом. выключат.	Комплект	4500	Комплект	4500	Комплект	4500
Сумма за комплект	638175,0		738448,0		721817,9	

Производим выбор варианта (комплекта) с использованием метода экспертных оценок.

Для проведения оценки выбраны следующие показатели: технические: производительность, помехозащищенность, точность, плавность протекания процессов, степень стандартизации и унификации, удобство управления, шум при работе и экономические: капитальные вложения, затраты на эксплуатацию, надежность.

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

По каждому критерию необходимо установить оценку степени обеспечения.

Таблица 12. Оценка степени обеспечения

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

Таблица 13. Сравнительная характеристика электроприводов

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		
		1	2	3
1	2	3	4	5
Технические критерии оценки ресурсоэффективности				
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

Продолжение Таблицы 13. Сравнительная характеристика
электроприводов

7. Удобство управления	0,05	0	0,5	0
8. Шум при работе	0,05	0,5	0,5	0
Экономические критерии оценки эффективности				
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
Итого	1,0	0,05	1,85	0,65

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

Электродвигатели фирмы SIEMENS отличаются:

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

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

Таблица 14. Характеристики электропривода переменного тока
MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS

Характеристики	MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS
Диапазон мощности	0,12...200 кВт
Напряжение питающей сети	1 AC 200В...240В 3 AC 200В...240В 3 AC 380В...480В 3 AC 500В...600В
Степень защиты	IP20
Выходная частота	до 75 кВт: 0 Гц-650 Гц от 90 кВт: 0 Гц-267 Гц
Способность к перегрузкам	110% перегрузки в течение 60 сек.
Технологический регулятор	Встроенный ПИД – регулятор (с функцией автоподстройки)
Выход	3 релейных и 2 аналоговых
Защитные функции преобразователя	От пониженного напряжения, перенапряжения, перегрузки, замыкания на землю, короткого замыкания, блокировки двигателя, опрокидывания двигателя, перегрева двигателя по I _{2t} , 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, программировать и пускать в эксплуатацию;
2. Малое время отклика на сигналы управления;
3. Соответствует международным нормам электромагнитной совместимости;
4. Обширный набор параметров, которые дают возможность конфигурирования для широких областей применения;

5. Простое присоединение проводов.

Силовой блок с автоматическими выключателями обладает следующими преимуществами:

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

Таким образом, в качестве электропривода выбран MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS и электродвигатель Siemens 1LG4253-4AA-Z, так как у него оптимальное соотношение стоимости и функционала, что обеспечивает функциональность, стабильность работы, надёжность, простоту монтажа и эксплуатации

3.5 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}	$t_{\text{ож}}$	T_p , раб.дн	
1. Разработка технического задания	3	5	3,8	2,0	РП, И
2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	4	5	4,4	2,0	РП, И.
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	6	11	8,0	8,0	И
4. Кинематическая схема механизма	5	10	7,0	7,0	И
5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	8	13	10,0	10,0	И
6. Расчет мощности и выбор электродвигателя	5	7	5,8	6,0	И
7. Выбор способа регулирования скорости	4	6	4,8	5,0	И
8. Разработка математической модели системы АУ ЭП	10	15	12,0	6,0	ИП, И.
9. Оптимизация САР электропривода	7	10	8,2	4,0	ИП, И.
10. Разработка программы имитационного моделирования	8	12	9,6	5,0	ИП, И.
11. Вопросы безопасности и экологичности проекта	3	7	4,6	5,0	И
12. 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:

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

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

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

$t_{маx i}$ - 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

Эт ап	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

Продолжение таблицы 16. Календарный план – график ДР на март

Эт ап	Содержание работ	Исполнит.	t-емкость дн.		Март																																							
			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	30	31									
5	Разработка структурной (принципиально й) схемы ЭП	Инженер	10	16	—————																																							
6	Расчет мощности и выбор электродвигател я	Инженер	6	8																																								
7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер	5	7																																								

- Выходные дни
- Праздничные дни



Продолжение таблицы 16. Календарный план – график ДР на апрель

Эт ап	Содержание работ	Исполнит.	t-емкость дн.		апрель																																			
			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	30	31					
8	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Инженер-програм.	6	8																																				
		Инженер	6	8																																				
9	Оптимизация САР электропривода	Инженер-програм.	4	6																																				
		Инженер	4	6																																				
10	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер-програм.	5	7																																				
		Инженер	5	7																																				
11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер	5	7																																				

 - Выходные 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																														
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

Таким образом, произведенный расчет трудоемкости предстоящих работ составил для инженера 4,8 человеко-дни, для инженера-программиста 9,6 человеко-дни, а для руководителя 3,4 человеко-дни. Был построен график Гантта, для более объективной оценки затрат рабочего времени. Календарная продолжительность выполнения научно-технического исследования составит 107 дней.

3.6 Пусконаладочные работы

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

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

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

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

Цены на проведение ПНР определены, исходя из сложности серийно выпускаемых, освоенных промышленностью электрических устройств, в

соответствии с требованиями 3 части СНиПЗ.01.01-85 "Организация, производство и приём работ".

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

Таблица 17. Структура ПНР

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

Подробное содержание ПНР приведено в таблице 18.

Таблица 18. Этапы и содержание ПНР

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовительный этап	1.1	Ознакомление с проектом, выявление неточностей. Составление рабочего графика проведения ПНР	Руководитель , представитель заказчика, бригада наладчиков
	1.2	Подготовка аппаратуры и инструмента	Бригада наладчиков

	1.3	Внешний осмотр оборудования и проверка готовности	Бригада наладчиков
	1.4	Определение соответствия техническим характеристикам	Бригада наладчиков
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

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

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 1000В 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
				п	в	с	ч	п	с	в	п	в	с	ч	п	с	в	п	в	с	ч	п	с	в	п	в	с	ч
		ие	.	н	т	р	т	т	б	с	н	т	р	т	т	б	с	н	т	р	т	т	б	с	н	т	р	т
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

Таким образом, для проведения ПНР требуется бригада из 4 человек, время затраченное для выполнения ПНР составит 39 рабочих дней.

3.7 Стоимость ПНР

Таблица 22. Затраты на пусконаладочные работы

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

Таблица 23. Дополнительные затраты по заработной плате

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

6	Дополнительная заработная плата	16128,85	10% от п.5
7	Итого	177417,35	п.5+п.6

Таблица 24. Общая стоимость затрат на проведение ПНР

№	Наименование статей	Плановые расходы (руб)	Примечание
1	Заработная плата	177417,35	
2	Отчисления во внебюджетные Фонды	53225,21	30% от п.1
3	Накладные расходы	28386,78	16% от п.1
4.	Себестоимость работ	259029,34	п.1+п.2+п.3
5.	Цена ПНР	279751,69	п.4+п.5
6.	НДС	50355,30	18% от п.6
7.	Итого	330106,99	п.6+п.7

Таблица 25. Стоимость основного оборудования.

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

Цены всех комплектующих представлены на 1 апреля 2020 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.

3.8 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

3.9 Расчет стоимости силовой электроэнергии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

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

где $C_3=3,52$ руб. – стоимость одного кВт-часа электроэнергии для промышленных предприятий.

Таким образом, затраты предприятия на электроэнергию после введения в эксплуатации данного электропривода возрастут на 19519 рублей в год

3.10 Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации:

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

где K – капитальные вложения в электрооборудование;

H_A – проценты отчислений на амортизацию

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

Таким образом амортизационные отчисления на данный электропривод для предприятия составят 40424.42 руб. в год.

3.11 Заработная плата обслуживающего персонала

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

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

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

Дневная заработная плата:

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

где $Z_{\text{т}}$ – оклад в месяц;

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

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

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

1,4 – доплата за должность.

Рассчитывает основную заработную плату:

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

Основная заработная плата за период работы:

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

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

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

Рассчитываем основную заработную плату за год:

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

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

Дополнительная заработная плата рассчитывается:

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

Суммарная заработная плата:

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

Расчет затрат на оплату труда сведём в таблицу 26.

Таблица 26. Затраты на оплату труда

	Исполнитель
Основная заработная плата, руб.	285517,18
Дополнительная заработная плата, руб.	42827,58
Итого	328344,76

Страховые отчисления на сегодняшний день по законодательству составляют 30.2%:

$$\text{Страховые взносы} = 30.2\% \cdot 3/\pi = 0,302 \cdot 328344,76 = 99160 \text{ руб};$$

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

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

Таким образом, для выполнения ремонтных и оперативно-ремонтных работ по обслуживанию электропривода требуется наладчик автоматических линий 6 разряда, затраты на его обеспечения заработной платы составят 32834,48 рублей в год, а также страховые отчисления в год составят 99160 рублей в год.

3.12 Общая сумма эксплуатационных расходов

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

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

Таким образом, 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).

3.13 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.

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);

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

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

$$\Phi_{\text{р}3} = 721817,9 + 330106,99 = 1051924,89 \text{ руб.}$$

Φ_{max} – максимальная стоимость всего проекта

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

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

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

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определяется следующим образом:

$$I_{\text{р}i} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где $I_{\text{р}i}$ – 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

Объект исследования Критерии	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

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

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

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

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

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

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

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

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

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

Таким образом, 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.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. По произведенному анализу электроприводов для обеспечения работоспособности электропривода подъема кислородной фурмы по требуемым характеристикам по соотношению функциональность – цена был выбран MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS и электродвигатель Siemens 1LG4253-4AA-Z.

2. Таким образом, произведенный расчет трудоемкости предстоящих работ составил для инженера 4,8 человеко-дни, для инженера программиста 9,6 человеко-дни, а для руководителя 3,4 человеко-дни. Был построен график Гантта, для более объективной оценки затрат рабочего времени. Календарная продолжительность выполнения научно-технического исследования составит 107 дней.

3. Из расчётов видно для проведения ПНР требуется бригада из 4 человек, время затраченное на выполнение ПНР составит 39 рабочих дней. Затраты на проведение ПНР на предприятии было затрачено 330106,99 руб., на приобретение оборудования 638175,00 руб. Работы были проведены в течении 39 рабочих дней. Затраты предприятия на электроэнергию после введения в эксплуатации данного электропривода возрастут на 19519 руб. в год, а амортизационные отчисления на данный электропривод для предприятия составят 40424.42 руб. в год. Общая сумма эксплуатационных расходов составила 92781,90 (руб. в год).

4. Сравнение электроприводов с позиции финансовой и ресурсной эффективности подтверждает выбранный электропривод - преобразователь частоты фирмы SIEMENS модель MICROMASTER 440, двигатель асинхронный фирмы SIEMENS серии 1LG4253-4AA-Z - исполнения, как наиболее эффективный.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5Б1	Исмоилов Сардор Рахимжон угли

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

Тема ВКР:


Электрооборудование и электропривод подъема кислородной фурмы	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><i>Описание рабочего места оператора электропривода переменного тока механизма перемещения фурмы. Рабочая площадка находится в закрытом помещении – Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами. Основное рабочее оборудование – электропривод переменного тока, управляющий механизмом перемещения фурмы.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; <p>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p><i>Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i></p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p><i>Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы; разработка мероприятий по снижению вредных и опасных факторов:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Повышенный уровень шума. - Повышенный уровень вибрации. - Отклонение параметров микроклимата - Недостаточная освещенность рабочей зоны. - Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования. - Поражение электрическим током.
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p><i>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств);</i></p> <p><i>- решение по обеспечению экологической безопасности.</i></p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p><i>-Пожары, взрывы;</i></p> <p><i>-Внезапное обрушение зданий, сооружений;</i></p> <p><i>-Геофизические опасные явления (землетрясения);</i></p> <p><i>-Метеорологические и агрометеорологические опасные явления;</i></p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5Б1	ИсmoilовСардорРахимжон угли		30.03.2020г.

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В данном разделе рассматриваются эксплуатационные характеристики электропривода для механизма перемещения фурмы, анализируются все вредные и опасные фактора, и влияние электропривода на экологию. А также, рассматриваются возможные чрезвычайные ситуации и правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Правовые нормы трудового законодательства

Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере.

Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

Конкретные размеры повышения оплаты труда устанавливаются работодателем с учетом мнения представительного органа работников в порядке, установленном статьей 372 ТК РФ для принятия локальных нормативных актов, либо коллективным договором, трудовым договором. [11, статья 147]

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

При размещении органов управления необходимо выполнять следующие эргономические требования [12]:

- органы управления должны располагаться в зоне досягаемости моторного поля;
- наиболее важные и часто используемые органы управления должны быть расположены в зоне легкой досягаемости моторного поля;
- органы управления, связанные с определенной последовательностью действий оператора, должны группироваться таким образом, чтобы действия оператора осуществлялись слева направо и сверху вниз;
- расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места;

Основные размеры маховиков управления и штурвалов должны соответствовать указанным в табл.1.

- расположение органов управления должно обеспечивать равномерность нагрузки обеих рук и ног человека-оператора.

Штурвал используемый для ручного управления электродвигателем должен отвечать общим эргономическим требованиям. [13]

Таблица 1 - Основные размеры маховиков управления и штурвалов.

Плоскость вращения маховика, не имеющего рукоятки, и штурвала должна находиться при вращении двумя руками:

- сидя - перпендикулярно продольной плоскости симметрии сиденья и под углом от 40 до 90° к горизонтали;

- стоя - под углом от 0 до 90° к горизонтали с осью вращения в сагиттальной

Способ вращения	Обод				Рукоятка			
	Диаметр наибольший		Поперечное сечение		Длина		Диаметр наибольший	
	Предельные значения	Оптимальные значения	Предельные значения	Оптимальные значения	Предельные значения	Оптимальные значения	Предельные значения	Оптимальные значения
Двумя руками за обод	140-1000	350-400*	10-40	25-30	-	-	-	-
Одной рукой за обод	50-140	75-80	10-25	15-20	-	-	-	-
Преимущественно кистью за рукоятку	150-400	250-300	-	-	75-150	100-120	15-35	25-30
Преимущественно пальцами за рукоятку	50-200	75-100	-	-	30-75	40-50	10-20	15-18

плоскости тела оператора

Плоскость вращения маховика без рукоятки, вращаемого одной рукой как сидя, так и стоя, должна находиться под углом от 10 до 60° по отношению к предплечью соответственно действующей (правой или левой) руки.

Плоскость вращения маховика, снабженного рукояткой должна находиться по отношению к предплечью соответственно действующей (правой или левой) руки под углом:

от 10 до 90° - при вращении кистью с предплечьем и

от 10 до 45° - при вращении всей рукой.

Интервал между ободами и другими деталями соседних маховиков, расположенных в одной плоскости, должен быть не менее:

50 мм - при вращении одной рукой последовательно или в случайном порядке;

100 мм - при вращении двумя руками одновременно;

130 мм - при работе в рукавицах или перчатках.

4.2. Производственная безопасность.

Таблица 17 - Опасные и вредные факторы

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)[1]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<p>Электрооборудование и электропривод переменного тока механизма перемещения фурмы.</p> <p>Эксплуатация и ремонт электропривода управления механизма перемещения фурмы</p>	<p>1. Повышенный уровень шума.</p> <p>2. Повышенный уровень вибрации;</p> <p>3. Недостаточная освещенность рабочей зоны.</p> <p>4. Отклонение параметров микроклимата</p>	<p>1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</p> <p>2. Поражение электрическим током.</p>	<p>1. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ.</p> <p>2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96.</p> <p>3. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ.</p> <p>4. СН 2.2.4/2.1.8.566-96.</p> <p>5. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ.</p> <p>6. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ.</p> <p>7. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ.</p> <p>8. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ.</p>

4.2.1 Анализ возможных опасных и вредных факторов

Повышенный уровень шума.

Источником повышенного уровня шума в электроприводе является электродвигатель и редуктор.

Человеческий организм по-разному реагирует на шум разного уровня. Шумы уровня 70-90 дБ при длительном воздействии приводят к заболеванию нервной системы, а более 100 дБ - к снижению слуха, вплоть до глухоты.

В соответствии с [2] предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест, разработанные с учетом категорий тяжести и напряженности труда, представлены в табл. 3.

Таблица 18 - Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест.

№ пп	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Выполнение всех видов работ на постоянных	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий.											
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

В соответствии с [3] к коллективным средствам и методам защиты от шума при использовании приводной арматуры можно отнести:

- звукоизолирующие кожухи;
- рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов;
- рациональное размещение рабочих мест;
- оснащение шумных машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля;
- совершенствование технологии ремонта и обслуживания машин;
- использование рациональных режимов труда и отдыха работников на шумных предприятиях.

К средствам индивидуальной защиты относятся:

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему;
- противошумные шлемы и каски;
- противошумные костюмы.

Повышенный уровень вибрации.

Источниками вибраций являются движение автотранспорта, работа задвижки и приводной арматуры (задвижки, дисковые затворы и т.п.).

Длительное воздействие вибрации на организм человека приводит к серьезным последствиям под названием «вибрационная болезнь». Это профессиональная

патология, которая возникает в результате длительного влияния на организм человека производственной вибрации, превышающей предельно допустимый уровень

Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратические значения виброускорения или виброскорости, а также их логарифмические уровни в децибелах. Нормы одночисловых показателей вибрационной нагрузки на оператора для длительности смены 8 ч., для общей вибрации категории 3 тип «а», по санитарным нормам значение виброускорения составляет 100 дБ, а для виброскорости – 92 дБ. [4].

К средствам защиты от повышенного уровня вибрации относятся устройства:

Оградительные, виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие, автоматического контроля и сигнализации, дистанционного управления. [8].

Недостаточная освещенность рабочей зоны:

Рабочие столы размещены таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещении осуществляется системой общего равномерного освещения, в случаях работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 не должна быть более 300 лк .

В качестве источников света применяются светодиодные светильники или металлогалогенные лампы (используются в качестве местного освещения).

Отклонение параметров микроклимата

Для создания и автоматического поддержания в Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения

воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Таблица 19. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений СанПиН 2.2.4.548-96

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относ. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Іб	21-23	20-24	40-60	0,1
Теплый	Іб	22-24	21-25	40-60	0,1

Таблица 20. Допустимые величины интенсивности теплового облучения.

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

В лаборатории проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы.

Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования;
подвижные части производственного оборудования:

Подвижными частями электропривода запорной арматуры являются шток дискового затвора и вал электродвигателя.

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование.

Если функциональное назначение движущихся частей, представляющих опасность, не допускает использование ограждений или других средств,

исключающих возможность прикосания работающих к движущимся частям, то конструкция производственного оборудования должна предусматривать сигнализацию, предупреждающую о пуске оборудования, а также использование сигнальных цветов и знаков безопасности.

Поражение электрическим током:

Источником напряжения в электроприводе механизма перемещения фурмы являются токоведущие части электропривода.

Основными непосредственными причинами электротравматизма, являются: 1) прикосновение к токоведущим частям электроустановки, находящейся под напряжением; 2) прикосновение к металлическим конструкциям электроустановок, находящимся под напряжением; 3) ошибочное включение электроустановки или несогласованных действий обслуживающего персонала; 4) поражение шаговым напряжением и др.

Основными техническими средствами защиты, согласно ПУЭ, являются защитное заземление, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электротехнические средства, знаки и плакаты безопасности. Наличие таких средств защиты предусмотрено в рабочей зоне. В целях профилактики периодически проводится инструктаж работников по технике безопасности.

К коллективным средствам защиты от поражения электрическим током относят:

Оградительные устройства; устройства автоматического контроля и сигнализации; изолирующие устройства и покрытия; устройства защитного заземления и зануления; устройства автоматического отключения; устройства выравнивания потенциалов и понижения напряжения; устройства дистанционного управления; предохранительные устройства; молниеотводы и разрядники; знаки безопасности.[8]

К коллективным средствам защиты от повышенного уровня статического электричества относятся:

- Заземляющие устройства;

- Нейтрализаторы;
- Увлажняющие устройства;
- Экранирующие устройства.

Средства индивидуальной защиты:

- Специальная одежда антиэлектростатическая;
- специальная обувь антиэлектростатическую;
- предохранительные приспособления;
- средства защиты рук антиэлектростатические.

4.3. Экологическая безопасность

В процессе «жизненного цикла» рассматриваемого оборудования могут возникать следующие отходы:

- Вышедшие из строя детали и узлы;
- Изоляция;
- Ликвидация изделия (при полном выходе из строя).

Девять этапов технологического цикла отходов:

- 1 - появление;
- 2 - сбор и/или накопление;
- 3 - идентификация;
- 4 - сортировка (с обезвреживанием);
- 5 - паспортизация;
- 6 - упаковка (и маркировка);
- 7 - транспортирование и складирование;
- 8 - хранение;
- 9 - удаление.

Первым подэтапом 9-го этапа является утилизация объектов и отходов. На подэтапе утилизации может быть произведена переработка бракованных или вышедших из употребления изделий, их составных частей и отходов от них путем разборки (разукрупнения), переплавки, использования других технологий с

обеспечением рециркуляции (восстановления) органической и неорганической составляющих, металлов и металлосоединений для повторного применения в народном хозяйстве, а также с ликвидацией образующихся вновь отходов.

Вторым подэтапом 9-го этапа технологического цикла ликвидации опасных и других отходов является их безопасное размещение на соответствующих полигонах или уничтожение, если захоронение отходов угрожает здоровью и жизни людей, и окружающей среде. В современных условиях вопросы переработки и/или захоронения (уничтожения) чаще решают на основе экономически целесообразных механизмов при обеспечении безопасного обращения с отходами. При санкционированном захоронении опасных и других отходов следует учитывать, что с появлением новых научно-технических и технологических решений отходы смогут быть утилизированы, поэтому такие захоронения следует рассматривать как техногенные месторождения полезных ископаемых («вторая геология»).[9]

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

4.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-2016 ЧС - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1. Пожары, взрывы;
2. Внезапное обрушение зданий, сооружений;
3. Геофизические опасные явления (землетрясения);
4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления;

Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

- 1) Неисправное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.
- 2) Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.
- 3) Перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);
- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
- обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода.

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные

пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ оснащена первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1шт., ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е.) [14].

Таблица 21 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках

Напряжение, кВ	Тип огнетушителя (марка)
До 1,0	порошковый (серии ОП)
До 10,0	углекислотный (серии ОУ)

Согласно НПБ 105-03 помещение, предназначенное для проектирования и использования результатов проекта, относится к типу П-2а.

Таблица 22. Категории помещений по пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
П-2а	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр.

Выводы по разделу

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены вредные факторы, влияющие на жизнь и здоровье людей, а также факторы, влияющие на экологию.

В ходе разработки данного раздела отражены все возможные вредные и опасные факторы, возникающие в процессе работы с оборудованием подъема кислородной фурмы, а так же приведены организационно-правовые вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность и документация, регламентирующая действия рабочих, которые её обеспечивают, вопросы, связанные с экологической безопасностью и безопасностью в чрезвычайных ситуациях. Все рассмотренные вопросы подразумевают определенные правила для рабочих и возможности их внедрения непосредственно на производственном участке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование и разработка электропривода подъема кислородной фурмы ККЦ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».

В систему автоматического управления электроприводом подъема кислородной фурмы входят: двигатель асинхронный фирмы SIEMENS серии 1LG4310-8AB-Z, электропривод переменного тока MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS, передаточная и управляющая системы, представляющие вместе сложную электромеханическую структуру.

В результате проектирования разработан электропривод, отвечающий требованиям технического задания и технологического процесса.

Исследованы переходные процессы в программе MATLAB, динамические показатели качества при отработке воздействий по управлению и возмущению во всем диапазоне регулирования скорости полностью удовлетворяют требованиям технического задания. Электропривод подъема кислородной фурмы снабжён системой защит и сигнализации, обеспечивающей безаварийную и безопасную работу.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства участка путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

В разделе «Социальная ответственность»: дан анализ основных вредных и опасных факторов, угрожающих обслуживающему персоналу и разработаны меры по технике безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности. Рассмотрены 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. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности»
Электрический привод. Учебное пособие. Ю.Н.Дементьев.,А.Ю.Чернышев., И.А.Чернышев: Издательство ТПУ, 2008-223с
3. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Квалификация»
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, 1975. 456с.
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. 137
17. Прейскурант №26-05-437 ч. 10 т.2 Министерства черной металлургии СССР - М.: 1990.
18. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
20. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
24. Перельмутер В.М. Комплектные тиристорные электроприводы. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.
14. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»
15. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. Сибирское университетское издательство, 2011 г.
16. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328 н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»
17. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
18. ПОТ Р М-016-2001. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок,

РД 153-34.0-03.150-00. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок.

19. РД 153-34.0-03.150-00 «Межотраслевыми правилами по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок»

20. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

21. СанПиН 2.2.4.584-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»

22. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

23. СНИП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»

24.

25

26. СН 2.2.4/2.1.8.556 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»

27. СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»

28. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение»

29. ГОСТ 17.1.3.13-86. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений»

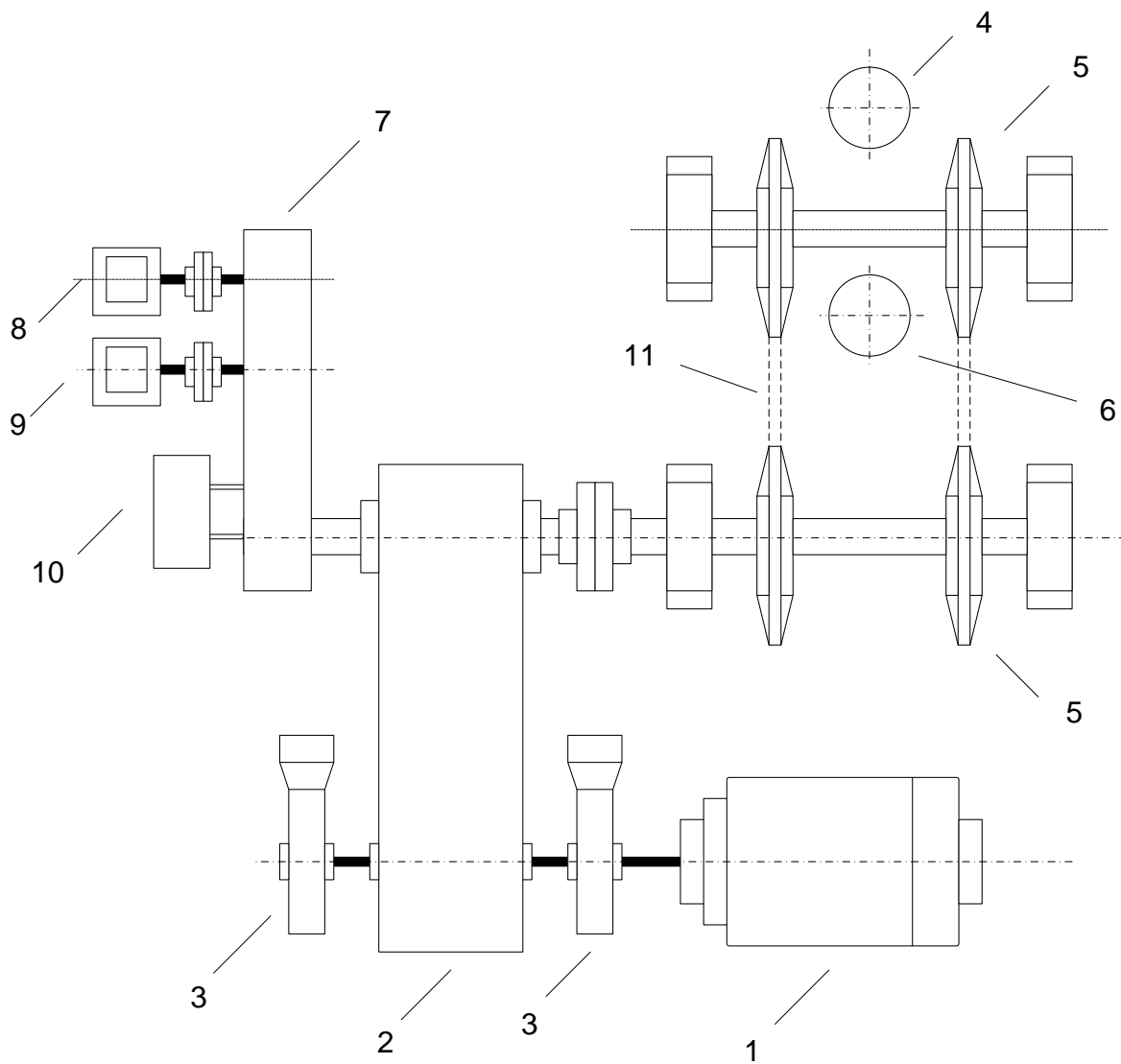
30. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»

31. ГН 2.2.5.2308-07. «Ориентировочна безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»

32. ГОСТ Р 22.0.07-95 «Безопасность в ЧС. Источники техногенных ЧС. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров»

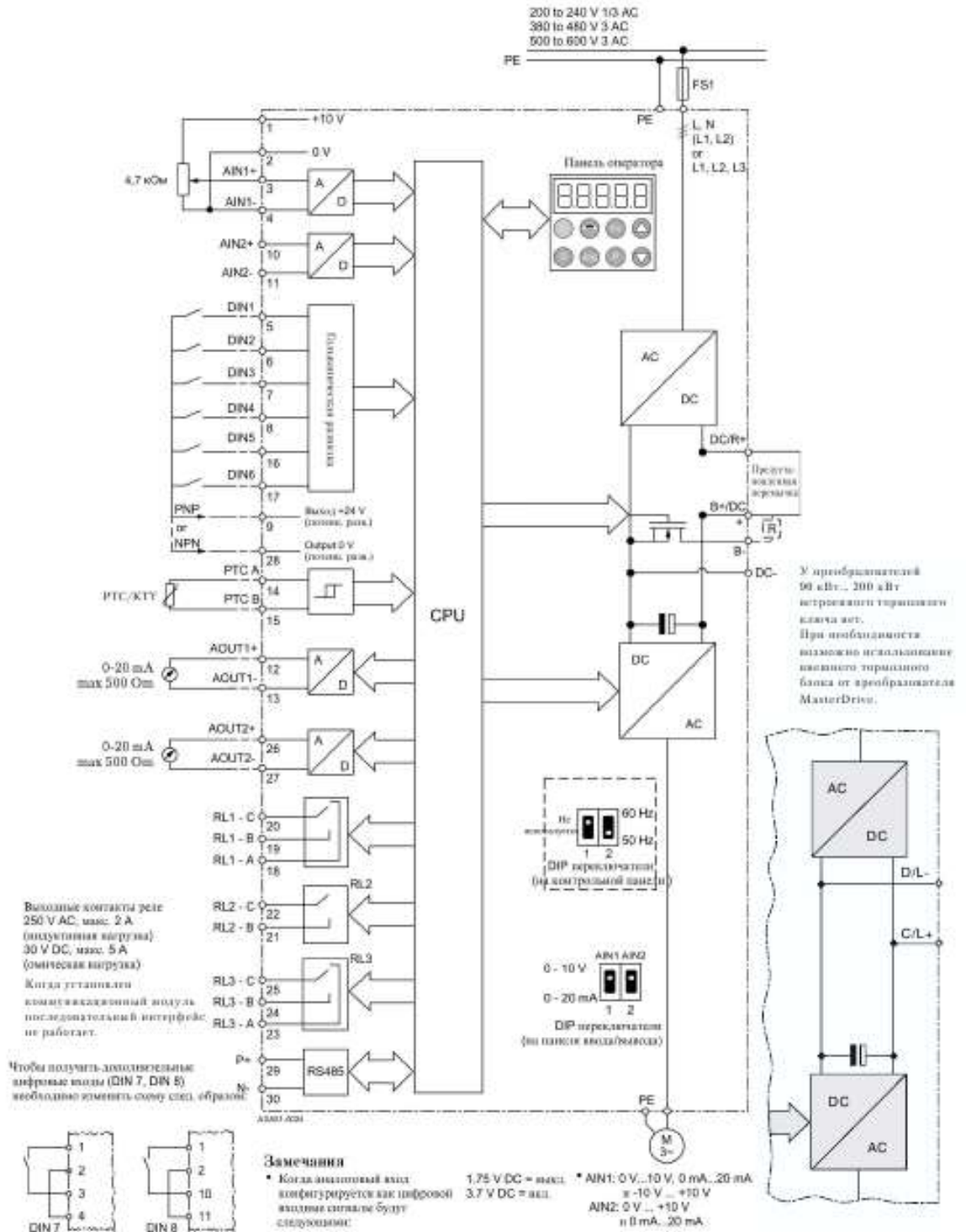
33. ФЗ от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера»
34. ГОСТ Р 22.3.03-94. «Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения»
35. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №213-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
36. РД 153-34.0-03.301-00. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий.
37. 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»
38. Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда»
39. 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.
40. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

Приложение А.
Графический материал.

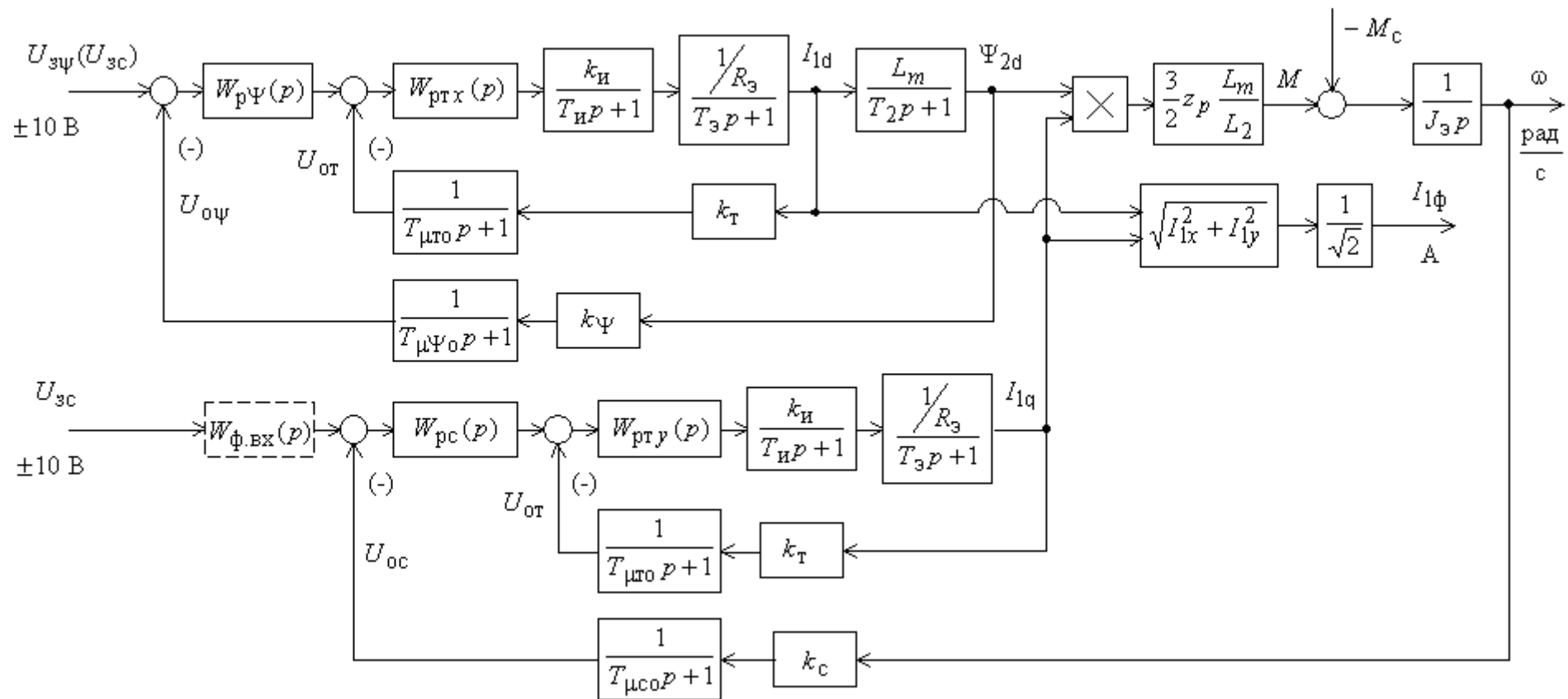


Кинематическая схема механизма подъёма фурмы

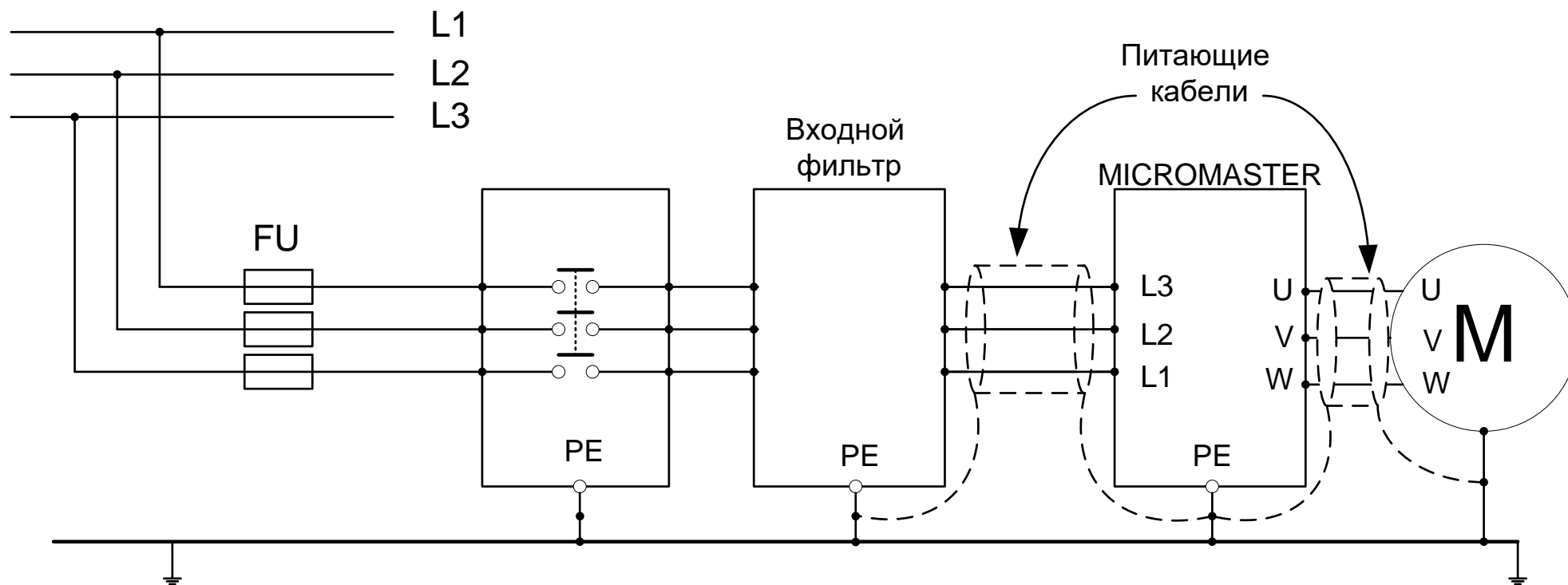
- 1 - Двигатель; 2 - Главный редуктор; 3 – Тормоз; 4 – Фурма;
 5 – Звездочка приводная; 6 – Контргруз; 7 - Понижающий редуктор;
 8 – Концевой выключатель; 9 - Резервный концевой выключатель;
 10 – Энкодер; 11 – Цепь приводная.



Функциональная схема преобразователя



Структурная схема линейризованной САУ электропривода



Подключение питающей сети и двигателя

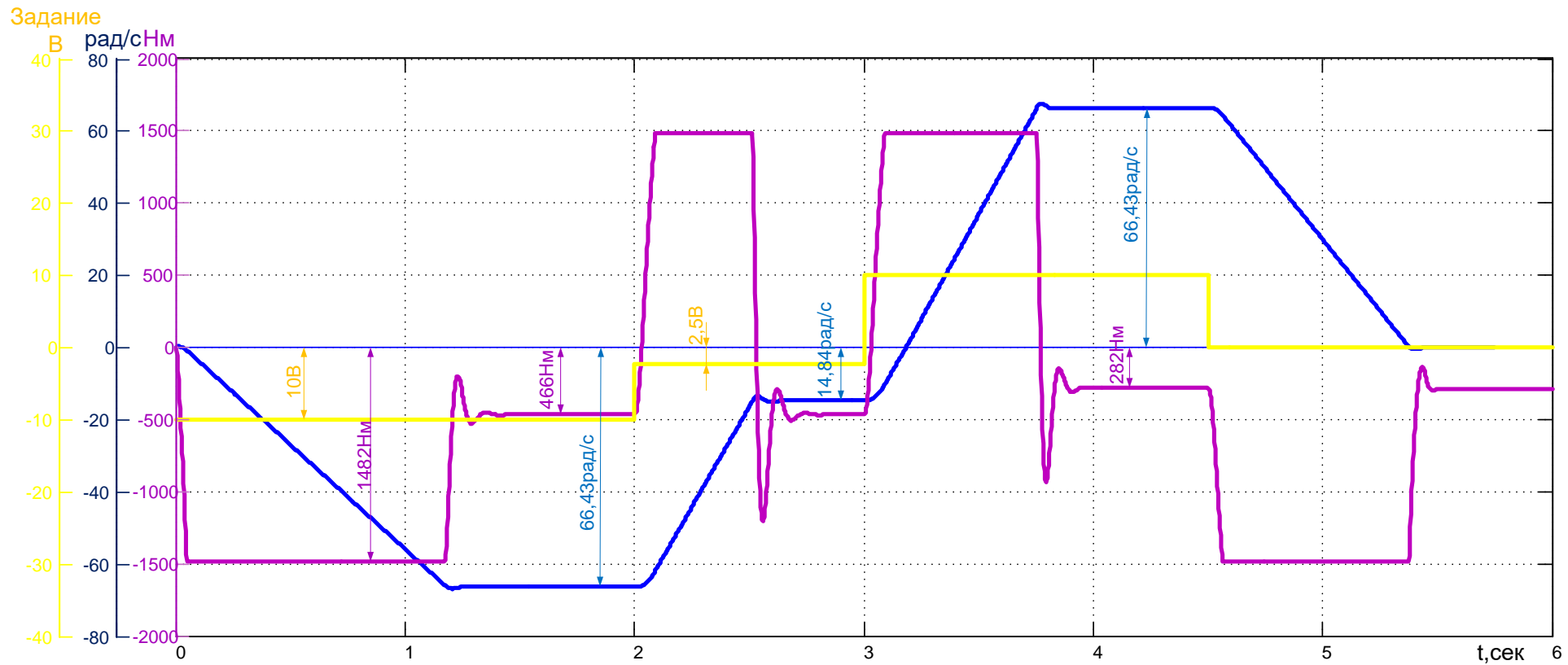


График переходных процессов цикла работы фурмы