

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 переменного тока механизма перемещения фурмы

УДК :21.31:62-83:669.184.142

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Ким Виктор Евгеньевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гнеушев В.В.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. 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 Электропривод и автоматика

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
3-5Г4Б2	Ким Виктору Евгеньевичу

Тема работы:

Электрооборудование и электропривод переменного тока механизма перемещения фурмы	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3994/с от 20.05.2019г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

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	- 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	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2019г.
---	--------------

Задание выдал руководитель / консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С. Н.	к.т.н.		05.04.2019г.
Старший преподаватель	Гнеушев В.В.			05.04.2019г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Ким Виктор Евгеньевич		05.04.2019г..

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 2018 /2019 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:	31.05.2019г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.05.2019	Основная часть	60
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
17.05.2019	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель

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

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гнеушев В.В.			

СОГЛАСОВАНО:

И. о. 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 SWOT-анализ работы Акционерного общества «Евраз Западносибирского металлургического комплекса.....	77
3.1. Планирование выпускной квалификационной работы	80
3.3 Составление сметы технического проекта	82
3.3.1. Расчет материальных затрат	84
3.3.2 Полная заработная плата исполнителей	84
3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	86
3.3.4. Формирование сметы затрат технического проекта	86
3.5. Определение ресурсоэффективности проекта	87
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	90
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	92
4.2. Производственная безопасность.....	94
4.2.1 Анализ потенциально возможных опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	94
4.3. Экологическая безопасность.....	100
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	101
4.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	101
4.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	101
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
THE CONCLUSION	106
Список использованной литературы.....	107
Приложение А.	110

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 чугунного литья 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 конвертере

Принцип получения стали в конвертере 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.

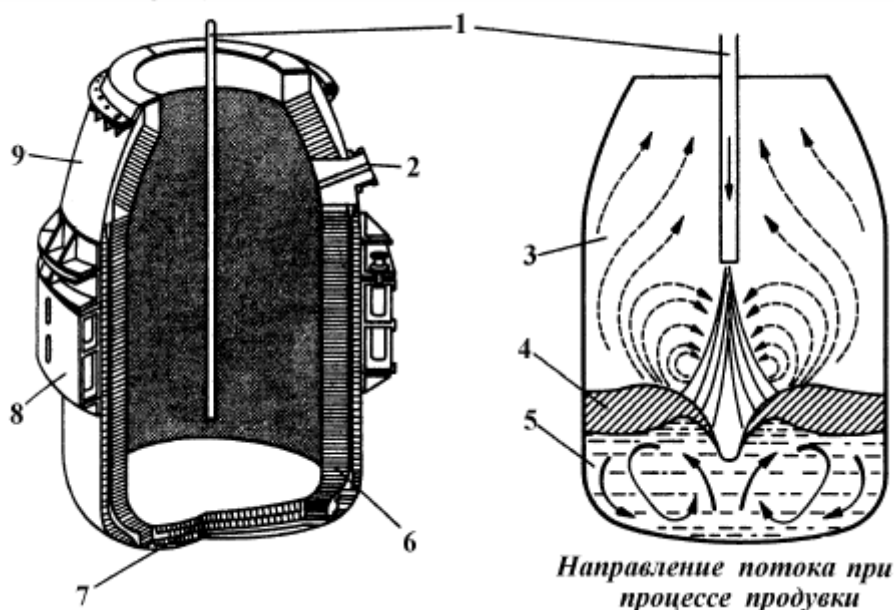


Рисунок 1. Схема кислородного конвертора

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

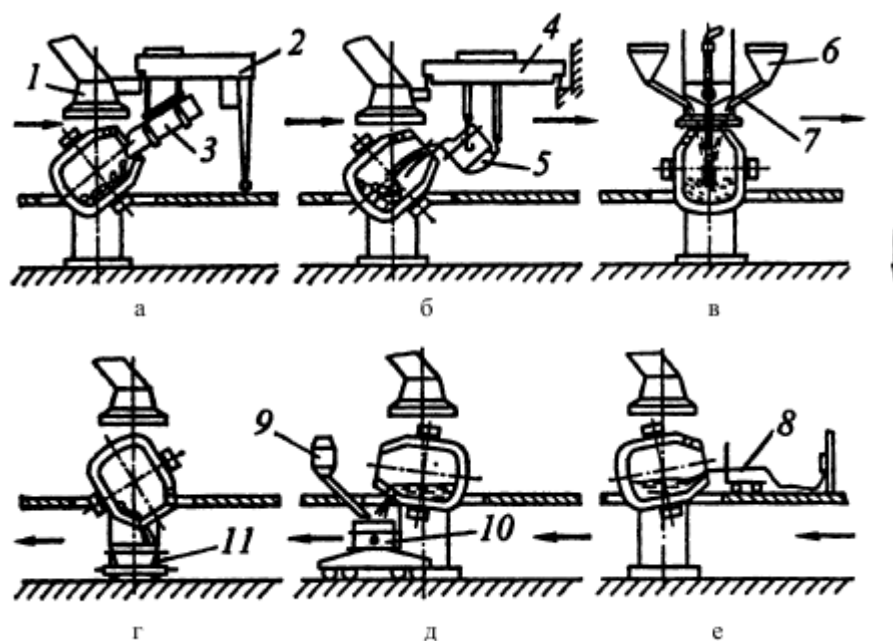


Рисунок 2. Технологическая схема производства стали в конверторах

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 объемом 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 заливного ковша, который обычно вмещает всю порцию заливаемого чугуна (до 300 т и более). Заливные 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 трубке (трубе) сыплются 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 $^\circ\text{C}$ 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, Сг 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 сблокированного 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	$\eta_{пк}$		0,99
4. КПД цепной передачи	$\eta_{цп}$		0,97

5. КПД муфты зубчатой	$\eta_{мз}$		0,99
6. Количество цепных блоков	$N_{цб}$	шт	2
7. Ход 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

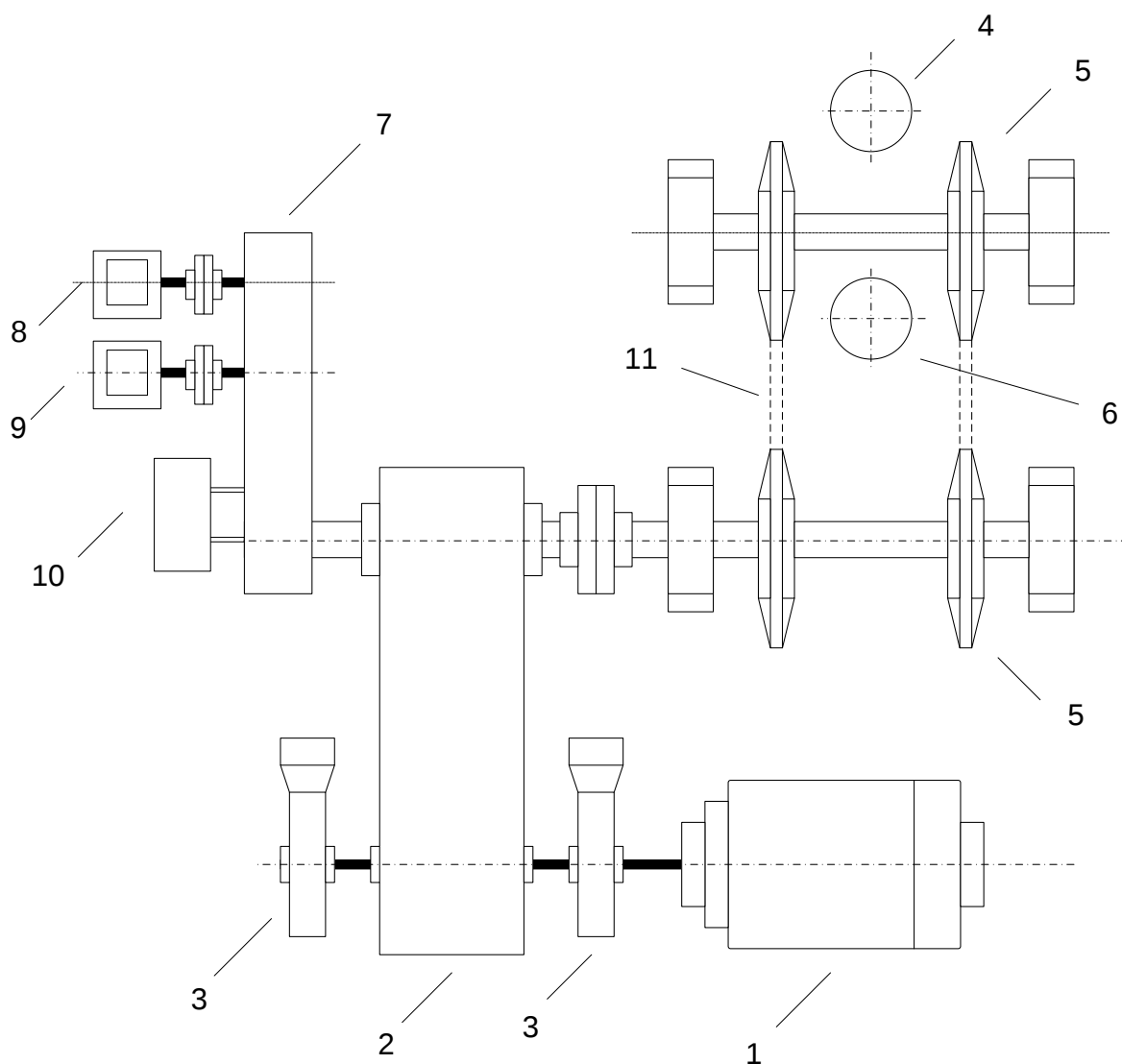


Рисунок 1 Кинематическая схема механизма подъёма фурмы

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 внесения корректировок в автоматический режим ведения плавки или при невозможности выполнения автоматического режима.

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

В режиме “Наладка” исключены следующие блокировки:

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

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

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

Позиционирование фурмы производится по показанию датчиков положения.

Перед началом движения выполняется проверка соответствия значений абсолютных датчиков, при превышении рассогласования величины, определяемой в процессе наладки, выдаётся предупредительное сообщение.

Работа электропривода в этом случае возможна только после ручного выбора оператором датчика, чьи показания (по его мнению) соответствуют истинному положению конвертера. В случае некорректной работы обоих абсолютных датчиков возможен ручной выбор оператором режима работы по сигналам путевого выключателя.

2. РАСЧЕТНО–ПРОЕКТНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Расчет мощности, выбор приводного электродвигателя.

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

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

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

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

где: $F = (m_{\text{пр}} - m_{\phi}) \times g = (8000 - 4445) \times 9.8 = 34839 \text{ Н}$ - сила тяжести поднимаемого груза;

$$\eta = \eta_{\text{ред}} \times \eta_{\text{ПК}}^2 \times \eta_{\text{ЦП}}^2 \times \eta_{\text{МЗ}} = 0,88 \times 0,99^2 \times 0,97^2 \times 0,99 = 0,8034 - \text{КПД механизма}$$

Определим приводной момент сопротивления:

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

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

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_n , кВт	n_0 , об/мин	$U_{1лн}$, В	При номинальной нагрузке			
			n_n , об/мин	$I_{1н}$, А	η_n , %	$\cos \varphi_n$
55	750	380	740	102	94,3	0.82
$I_n / I_{1н}$	J , кг·м ²	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{M_{макс}}{M_n}$	$M_{двн}$, Н·м		
6,3	2,48	2.5	2.9	710		

Определение дополнительных параметров двигателя

Синхронная угловая частота вращения двигателя

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

Номинальная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_n = \frac{\rho \times n_n}{30} = \frac{3.1415 \times 740}{30} = 77.49 \text{ рад/с.}$$

Номинальное скольжение двигателя

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = \frac{750 - 740}{750} = 0,013$$

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

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

Максимальный (критический) момент на валу двигателя на естественной характеристике

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

Пусковой момент на валу двигателя

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

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.

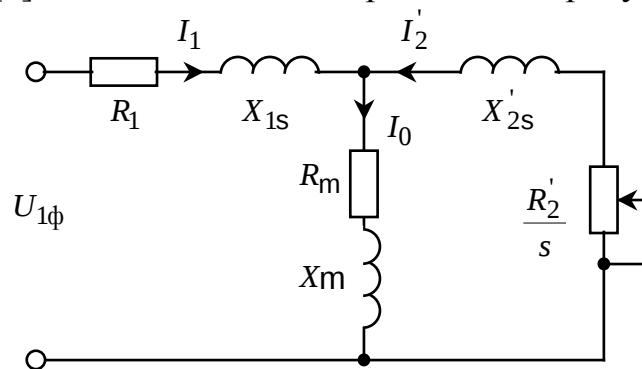


Рисунок 2 Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

Приведённое к обмотке статора сопротивление цепи ротора в номинальном режиме

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

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

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

– коэффициент, характеризующий соотношение $\frac{X_m + X_{1s}}{X_m}$;

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1p}^2 - \frac{é p^* \times (1 - s_H)}{ë 1 - p^* \times s_H} \times I_{1H} \dot{U}^2}{1 - \frac{é p^* \times (1 - s_H)}{ë 1 - p^* \times s_H} \dot{U}^2}} = \sqrt{\frac{82,138^2 - \frac{é 0,75 \times (1 - 0,013)}{ë 1 - 0,75 \times 0,013} \times 107,769 \dot{U}^2}{1 - \frac{é 0,75 \times (1 - 0,013)}{ë 1 - 0,75 \times 0,013} \dot{U}^2}} =$$

$$= 24,112 \text{ А}$$

– ток холостого хода;

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

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

$$s_k = s_H \times \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - \frac{1}{1 - 2 \times s_H \times b \times (m_k - 1)}}}{1 - 2 \times s_H \times b \times (m_k - 1)} =$$

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

– критическое скольжение двигателя;

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

Активное сопротивление обмотки статора в номинальном режиме работы

$$R_1 = R_2 \times b \times c_1 = 0,032 \times 1 \times 1,018 = 0,032 \text{ Ом}.$$

Сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме работы

$$X_{кн} = R_2 \times g \times c_1 = 0,032 \times 12,58 \times 1,018 = 0,408 \text{ Ом},$$

где

$$g = \sqrt{\frac{\frac{1}{c_1} \times \frac{1}{s_k} - b^2}{\frac{1}{c_1} \times \frac{1}{s_k}}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{1} \times \frac{1}{0,07} - 1}{\frac{1}{1} \times \frac{1}{0,07}}} = 12,58$$

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

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора в номинальном режиме работы

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

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

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

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

$$X_{2s} = 0,58 \times \frac{X_{кн}}{c_1} = 0,58 \times \frac{0,408}{1,012} = 0,232 \text{ Ом}.$$

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

$$L_{2s} = \frac{X_{2s}}{2 \times p \times f_{1H}} = \frac{0,232}{2 \times 3,14 \times 50} = 7,39 \times 10^{-4} \text{ Гн}.$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания

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

где

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\phi H} \times \cos j_H - I_{1H} \times R_1)^2 + (U_{1\phi H} \times \sin j_H - I_{1H} \times X_{1s})^2} =$$

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

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

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

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

$$L_m = \frac{X_m}{2 \times p \times f_{1H}} = \frac{8,583}{2 \times 3,14 \times 50} = 27,33 \times 10^{-3} \text{ Гн}.$$

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_n	77,49	рад/с
Индуктивность обмотки статора	$L_{1\sigma}$	$5,45 \cdot 10^{-4}$	Гн
Индуктивность обмотки ротора	$L'_{1\sigma}$	$7,39 \cdot 10^{-4}$	Гн
Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре	L_m	$27,33 \cdot 10^{-3}$	Гн

2.3 Естественные механическая и электромеханическая характеристики двигателя

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

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

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

$$M(s) = \frac{3 \times U_{1\text{фн}}^2 \times R_2'(s)}{w_0 \times s \times [X_{1\text{с}}(s) + X_{2\text{с}}'(s)]^2 + \frac{R_1'}{s} + \frac{R_2'(s)}{s} + \frac{R_1' \times R_2'(s)}{s \times X_{\text{мн}}}}; \\ w = w_0 \times (1 - s).$$

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

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2(s) + I_2'^2(s) + 2 \times I_0(s) \times I_2'(s) \times \sin j_2(s)};$$

$$w = w_0 \times (1 - s), \text{ где}$$

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\text{фн}}}{\pm \sqrt{\frac{R_1'}{s} + \frac{R_2'(s)}{s} + [X_{1\text{с}}(s) + X_{2\text{с}}'(s)]^2 + \frac{R_1' \times R_2'(s)}{s \times X_{\text{м}}}}};$$

$$I_0(s) = \frac{U_{1\text{фн}}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\text{с}}(s) + X_{\text{м}})^2}};$$

$$\sin j_2(s) = \frac{X_{1\text{с}}(s) + X_{2\text{с}}'(s)}{\sqrt{\frac{R_1'}{s} + \frac{R_2'(s)}{s} + [X_{1\text{с}}(s) + X_{2\text{с}}'(s)]^2}}.$$

Используя приложение MathCAD 14, рассчитываются и строятся естественные характеристики двигателя $\omega(M_{\text{эм}})$ и $I_1(w)$. 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.

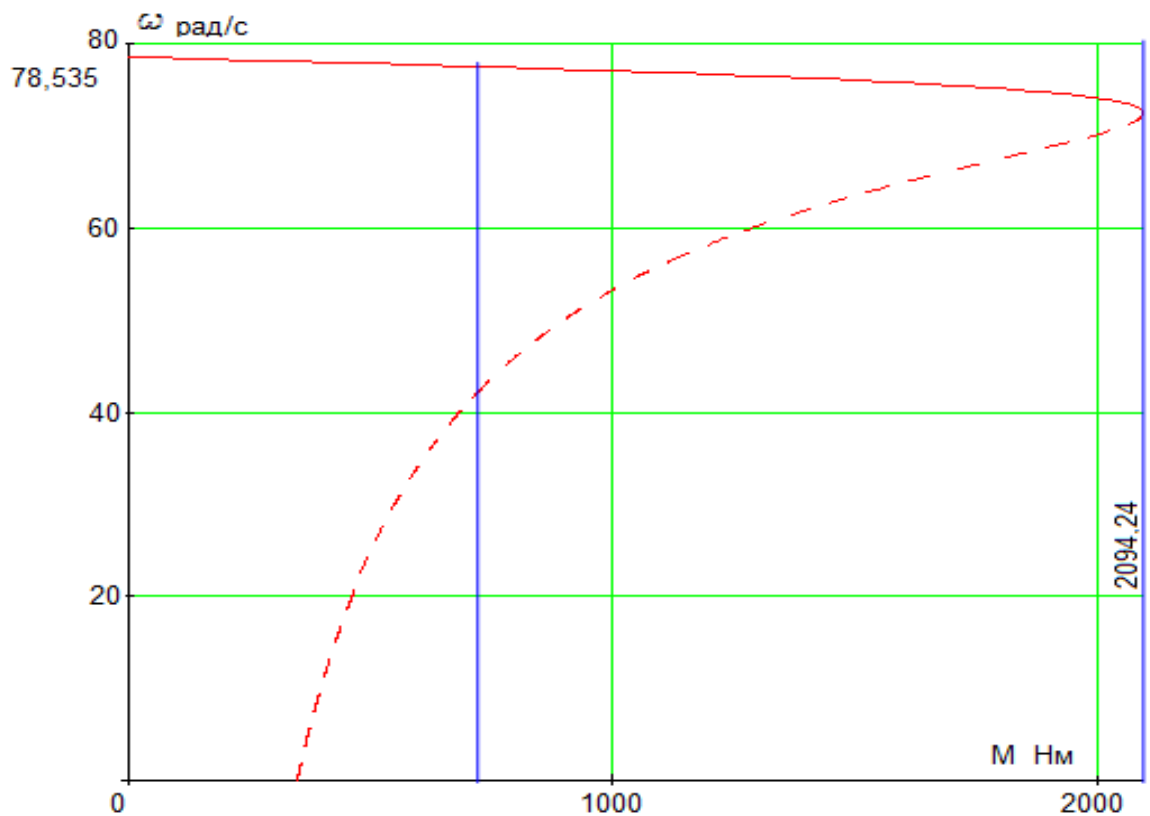


Рисунок 3. Естественная механическая характеристика АД

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

– кратность максимального (критического) момента

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

– критическое скольжение

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

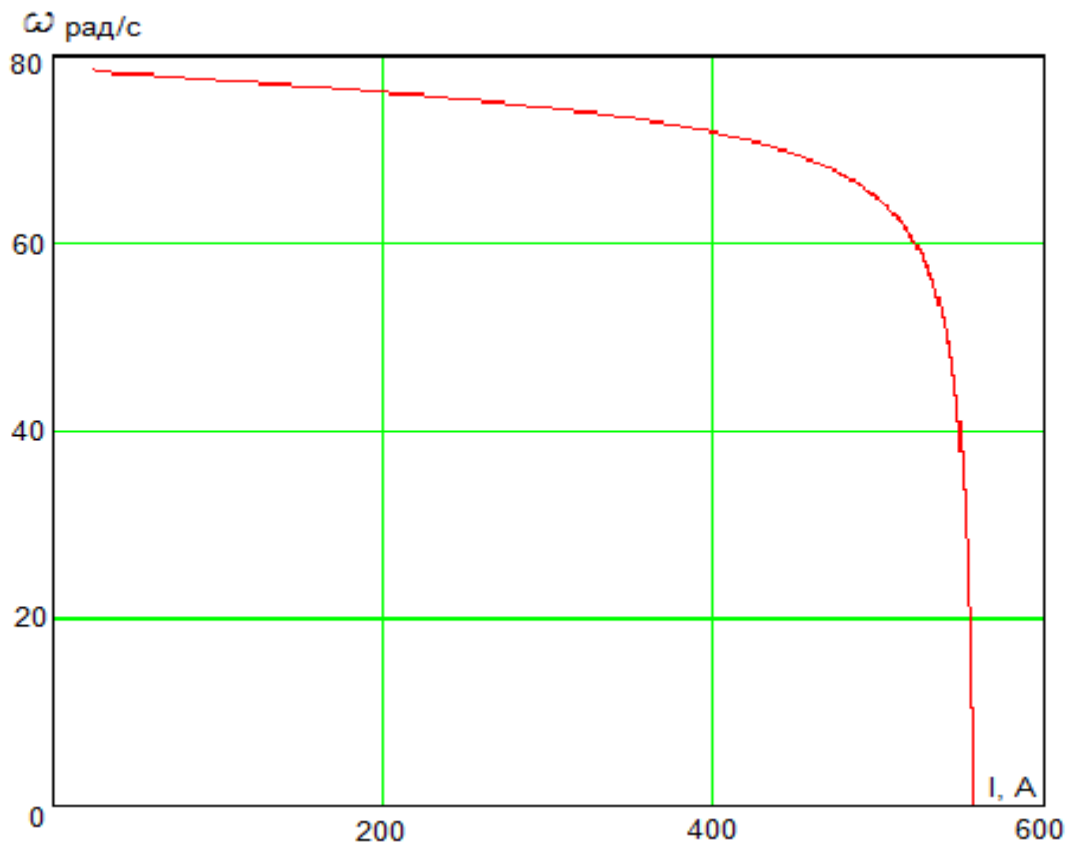


Рисунок 4. Естественная электромеханическая характеристика АД.

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

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

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

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

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

Определим момент инерции при опускании, соответствующий максимальному моменту инерции:

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

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

Определим статический момент двигателя при подъеме:

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

где

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

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

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

момент сопротивления.

Вычислим момент статический при спуске:

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

Проверка двигателя по динамической нагрузке:

Разгон в операции “Подъем”

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

Торможение в операции “Подъем”

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

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.

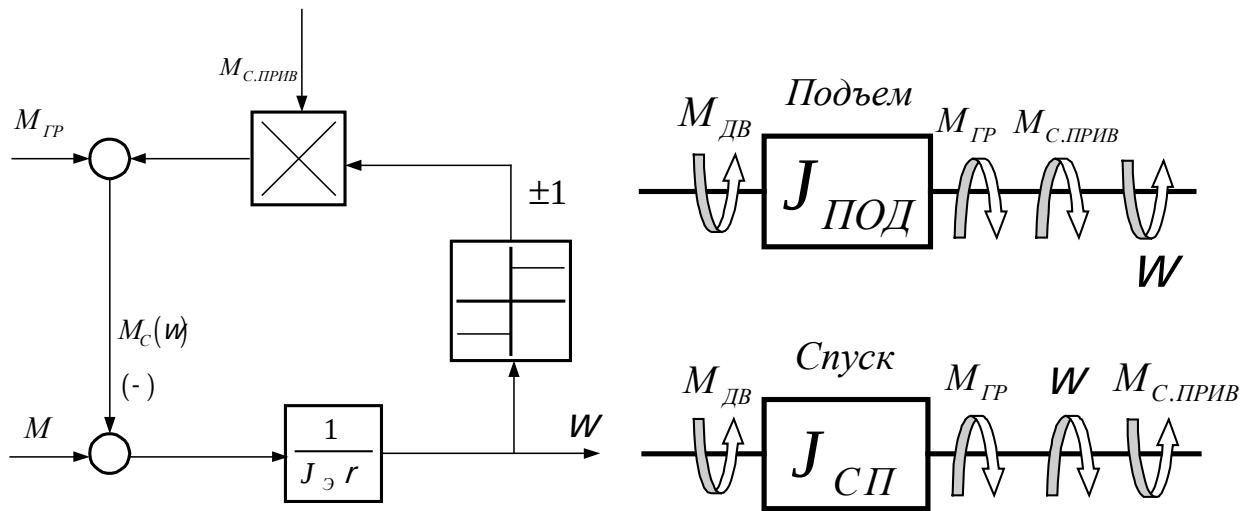


Рисунок 5. Расчетная и структурная схемы механические системы электропривода.

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

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

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

$$t_1 = \frac{V_{\max}}{a_{\max}} = \frac{0,734}{1,2} = 0,6 \text{ сек.} \quad S_1 = V_{cp1} \cdot t_1 = 0,367 \cdot 0,6 = 0,22\text{м}$$

$$V_{cp1} = \frac{V_{\max}}{2} = \frac{0,734}{2} = 0,367 \text{ м/с}$$

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

$$t_3 = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{a_{\max}} = \frac{0,734 - 0,2}{1,2} = 0,45 \text{ сек.} \quad S_3 = V_{cp3} \cdot t_3 = 0,267 \cdot 0,45 =$$

0,12м

$$V_{cp3} = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2} = \frac{0,734 - 0,2}{2} = 0,267 \text{ м/с}$$

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

$$t_5 = \frac{V_{\min}}{a_{\max}} = \frac{0,2}{1,2} = 0,15 \text{ сек.} \quad S_5 = V_{cp5} \cdot t_5 = 0,1 \cdot 0,15 = 0,015\text{м}$$

$$V_{cp5} = \frac{V_{\min}}{2} = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ м/с}$$

Время при $V_{\min}$ 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:

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

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

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:

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

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

Время подъема фурмы:

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

Строим циклограмму работы механизма.

Циклограмма электропривода подъема фурмы

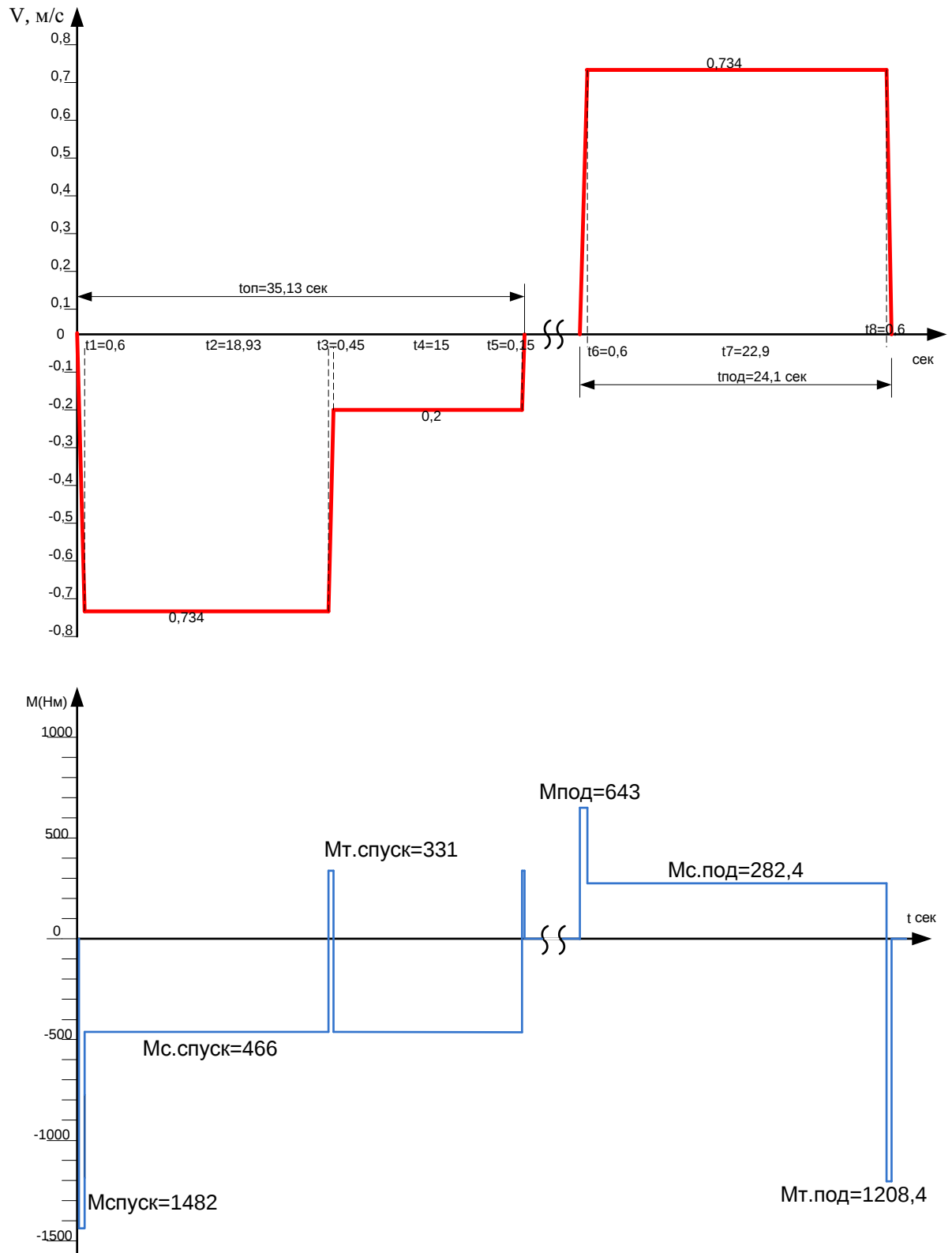


Рисунок 6 Циклограмма электропривода подъёма фурмы.

2.6. Определение области допустимой длительной работы двигателя

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

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

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

– для тока двигателя

$$I_{\text{дв длит доп}}(\omega) = \begin{cases} I_{\text{дв н}} = 102 \text{ А, при } \omega^3 \geq 0.5 \omega_{\text{н}}^3 \\ 0.9 \times I_{\text{дв н}} = 0.9 \times 102 = 91.8 \text{ А, при } \omega = 0 \end{cases}$$

– для момента (электромагнитного) двигателя

$$M_{\text{эм длит доп}}(\omega) = \begin{cases} M_{\text{эм н}} = 716.23 \text{ Н} \cdot \text{м, при } \omega^3 \geq 0.5 \omega_{\text{н}}^3 \\ 0.9 \times M_{\text{эм н}} = 0.9 \times 716.23 = 644.61 \text{ Н} \cdot \text{м, при } \omega = 0 \end{cases}$$

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

Из приведённых на рисунках характеристик следует, что длительно допустимый момент нагрузки, с которым может работать двигатель на минимальной скорости $\omega_{\text{дв мин}} = 6.643 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ (диапазон регулирования скорости 1, 10), составляет $M_{\text{эм длит доп}} = 649 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при длительно допустимом токе статора $I_{\text{дв длит доп}} = 93.7 \text{ А}$.

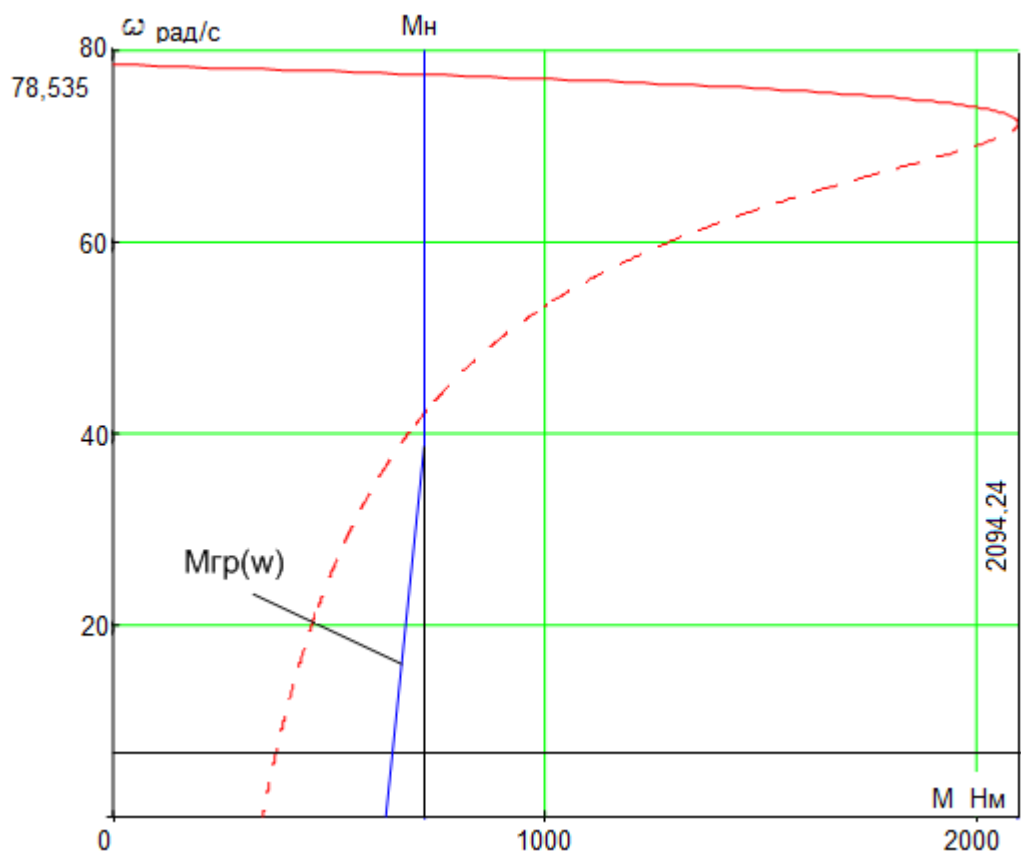


Рисунок 7. Естественная механическая характеристика и граница области допустимой длительной работы $M_{\text{эм длит доп}}(\omega)$ двигателя

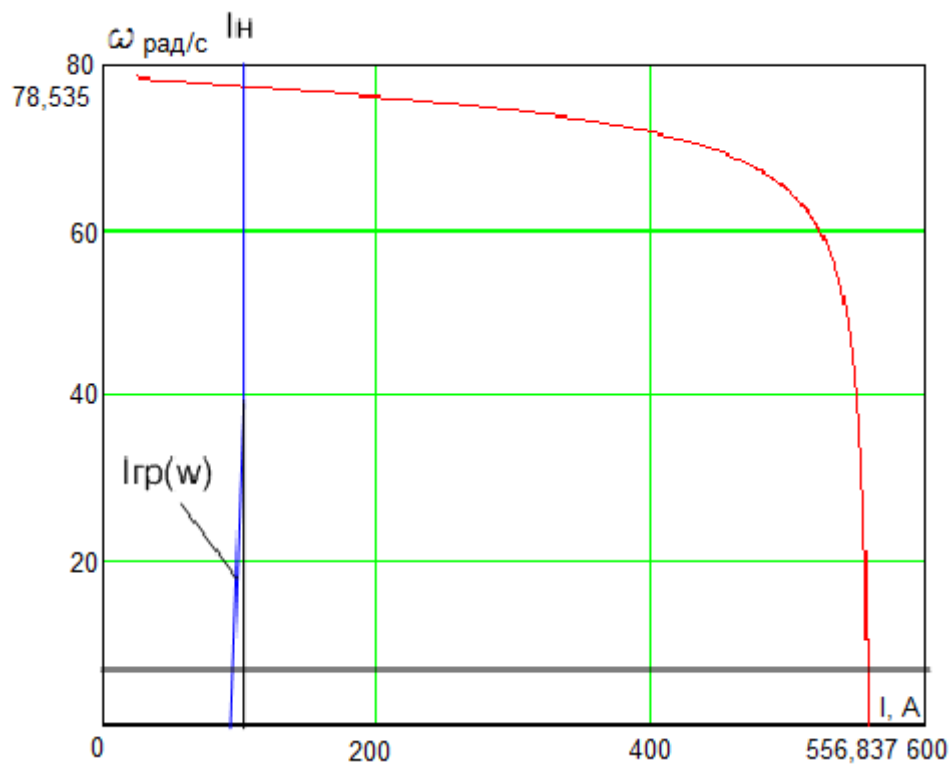


Рисунок 8. Естественная электромеханическая характеристика и граница области допустимой длительной работы $I_{\text{дв длит доп}}(\omega)$ двигателя

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

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

где

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

– эквивалентный момент инерции привода;

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

– 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).

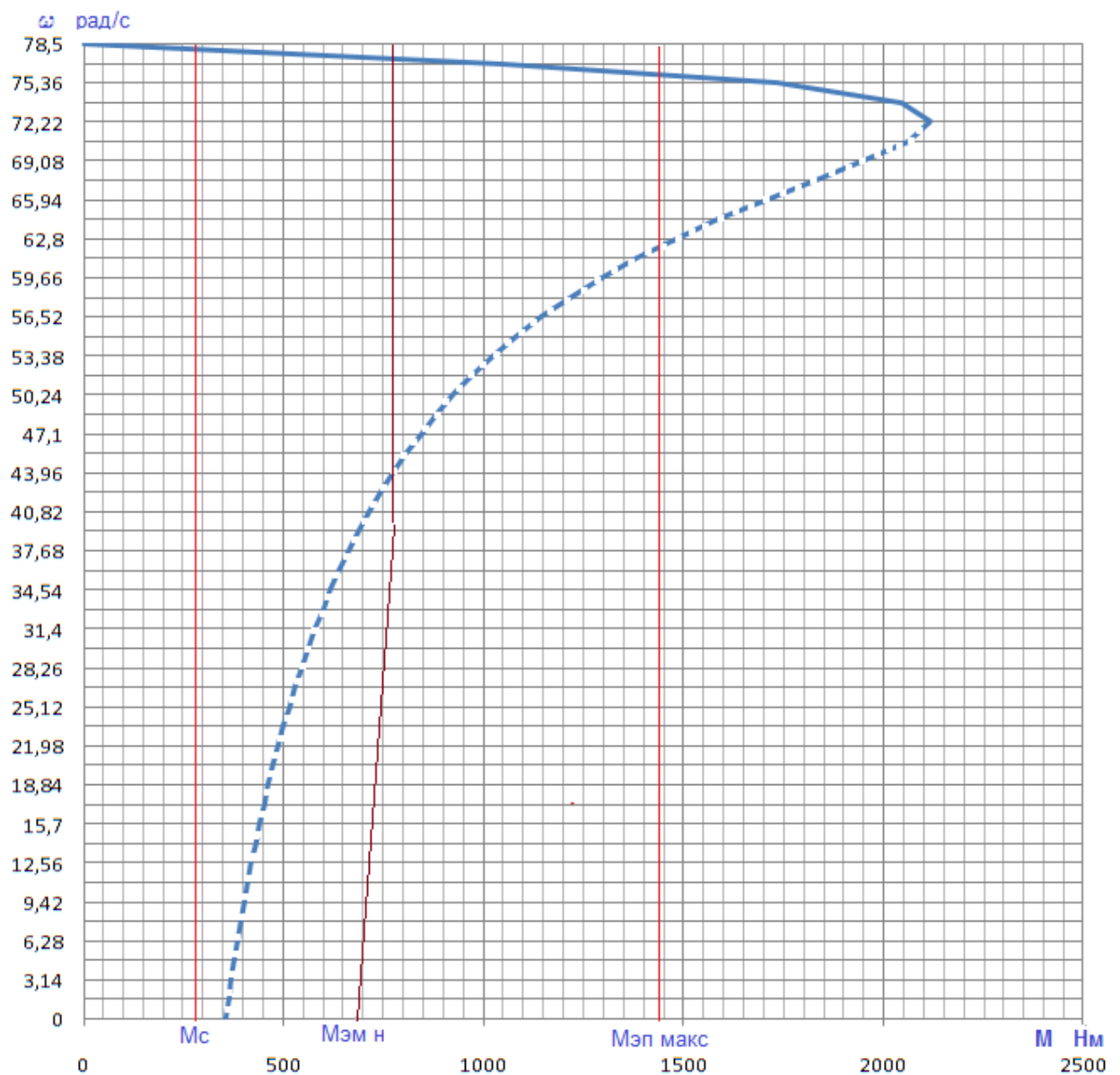


Рисунок 9. Области работы электропривода в плоскости механических характеристик двигателя

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

$$\frac{3U_{1\Phi H}^2 \times R_2(s)}{\omega_0 \times \sqrt{\frac{R_1}{s} + (X_{1s}(s) + X_{2s}(s))^2 + \frac{R_1 \times R_2(s)}{s \times X_m}}}} = M_c ,$$

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

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2(s) + I_2'^2(s) + 2 \times I_0(s) \times I_2'(s) \times \sin j_2(s)} ,$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\Phi H}}{\pm \sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2'(s)}{s} + [X_{1s}(s) + X_{2s}'(s)]^2 + \frac{R_1 \times R_2'(s)}{s \times X_m}}}} ;$$

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

$$\sin j_2(s) = \frac{X_{1s}(s) + X_{2s}'(s)}{\sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2'(s)}{s} + [X_{1s}(s) + X_{2s}'(s)]^2}}$$

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

Поступая аналогично, находим:

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

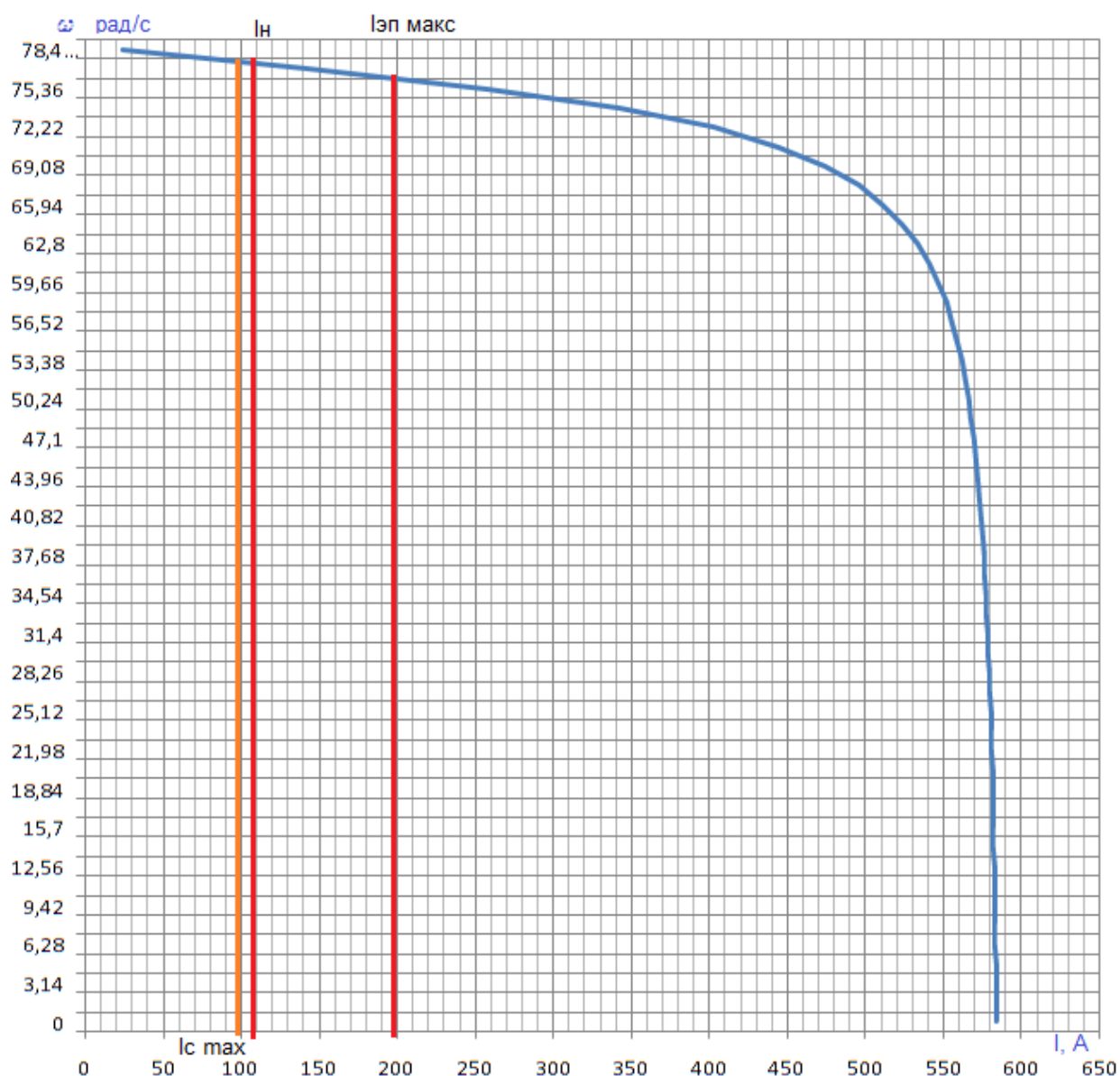


Рисунок 10. Области работы электропривода в плоскости электромеханических характеристик двигателя

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 $t_{ср}$ в узких пределах.

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

Время цикла:

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

Время работы.

$$t_p = 59,23 \text{ сек}$$

Продолжительность включения:

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

Эквивалентный момент за цикл работы:

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

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

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

Эквивалентная мощность двигателя:

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

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

Т.к. требования

$$55 \text{ кВт} = P_n^3 P_{эkv} = 49,052 \text{ кВт}$$

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 ($I^2 \propto t$), что не позволяет перегружать преобразователь по току даже кратковременно (рисунок 11).

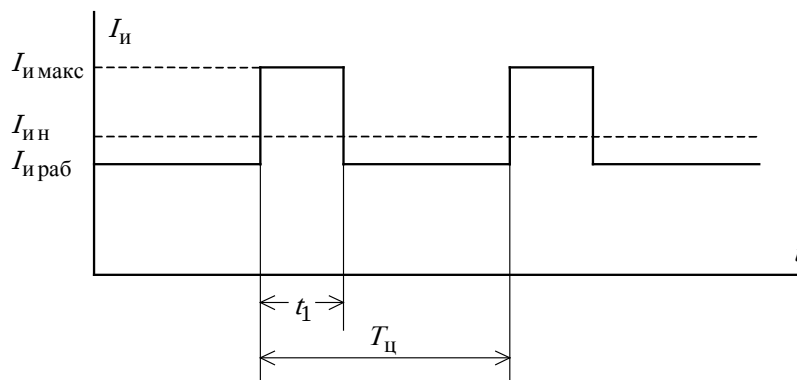


Рисунок 11

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

$$I_{ин}^3 \geq I_{и\text{ э}}^3.$$

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

$$f_{\text{макс}} > 50 \times \frac{W_{\text{Эп макс}}}{W_0 \times (1 - s_k)}, \text{ Гц.}$$

- номинальный ток инвертора должен удовлетворять условию

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

- 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 PTC/КТУ

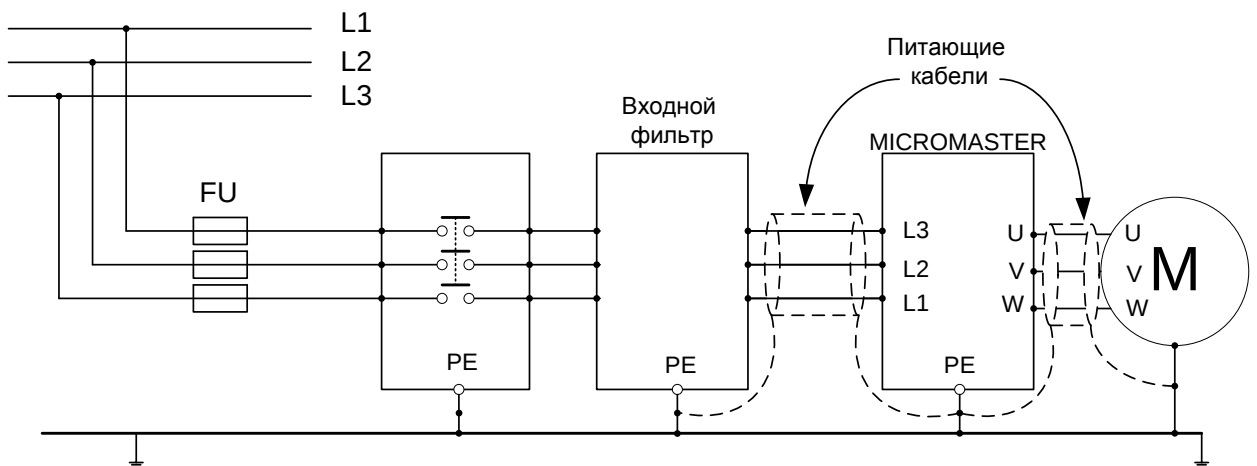


Рисунок 12 Подключение питающей сети и двигателя

Технические данные преобразователя частоты приведены в таблице 4.

Таблица 4 Технические данные преобразователя частоты MICROMASTER 440

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

Функциональная схема преобразователя представлена на рисунке 13

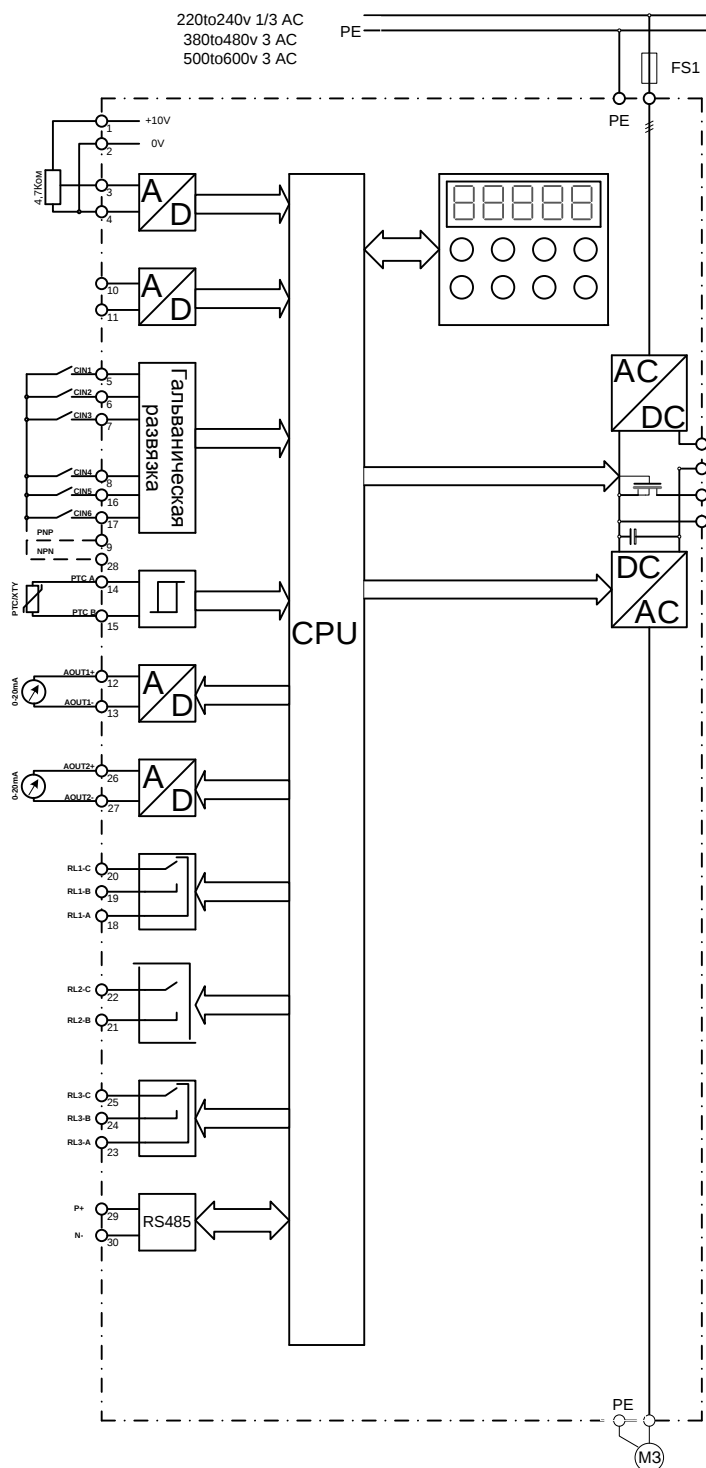


Рисунок 13 Функциональная схема преобразователя.

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.

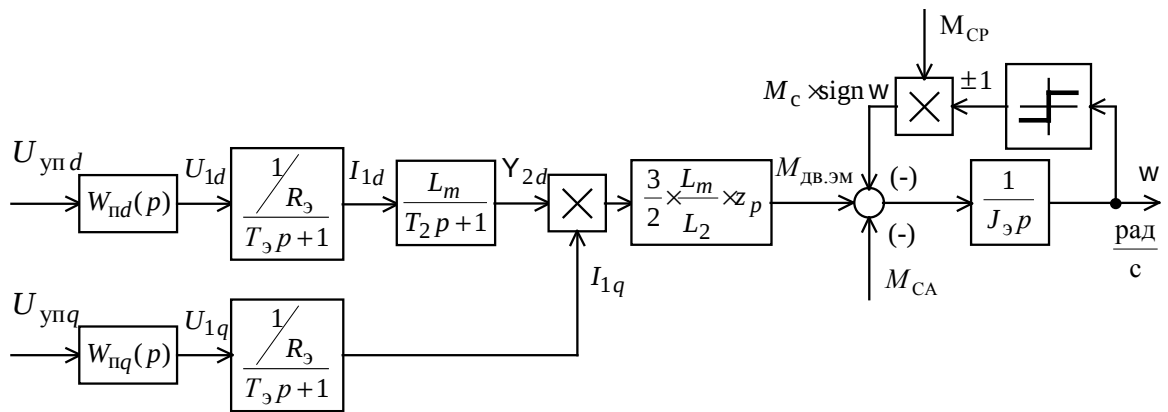


Рисунок 14 Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель во вращающейся двухфазной системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора и компенсацией внутренних обратных связей

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 Y_{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.

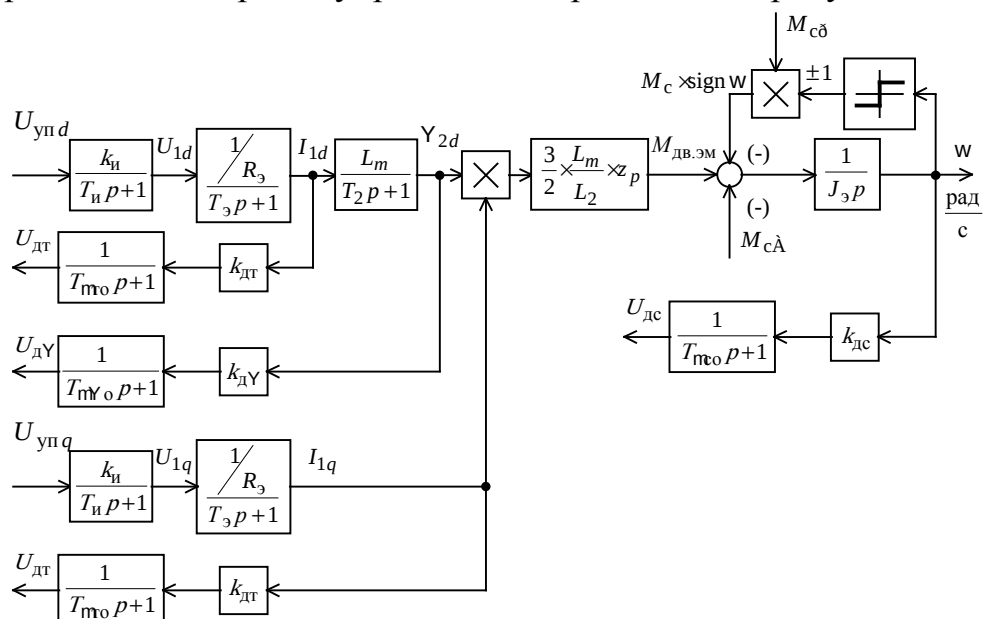


Рисунок 15 Структурная схема силового канала электропривода подъёмника

2.10.1 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода

Расчёт параметров преобразователя

Максимальный коэффициент усиления преобразователя

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

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

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

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

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

Расчет параметров двигателя

Эквивалентная индуктивность обмотки статора

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

Эквивалентная индуктивность обмотки ротора

$$L_2 = L_{2\text{с}} + L_m = 0,739 \times 10^{-3} + 27,33 \times 10^{-3} = 28,07 \times 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Эквивалентное сопротивление силовой цепи преобразователь-двигатель

$$R_{\text{э}} = R_1 + R_2 \times \frac{L_m^2}{L_2^2} = 0,032 + 0,032 \times \frac{(27,33 \times 10^{-3})^2}{(28,07 \times 10^{-3})^2} = 0,0623 \text{ Ом}.$$

Эквивалентная электромагнитная постоянная времени силовой цепи

$$T_{\text{э}} = \frac{s \times L_1}{R_{\text{э}}} = \frac{0,0456 \times 27,88 \times 10^{-3}}{0,0623} = 20,4 \times 10^{-3} \text{ с},$$

где

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

– коэффициент рассеяния.

Электромагнитная постоянная времени цепи ротора

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{28,07 \times 10^{-3}}{0,032} = 0,8772 \text{ с}.$$

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:

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

$k_{\text{т}}$ - коэффициент обратной связи по току;

k_{γ} - коэффициент обратной связи по потокосцеплению;

$k_{\text{с}}$ - коэффициент обратной связи по скорости;

$T_{m\text{тo}}$ - малая постоянная времени цепи обратной связи по току;

$T_{m\gamma \text{ o}}$ - малая постоянная времени цепи обратной связи по потокосцеплению;

$T_{m\text{сo}}$ - малая постоянная времени цепи обратной связи по скорости.

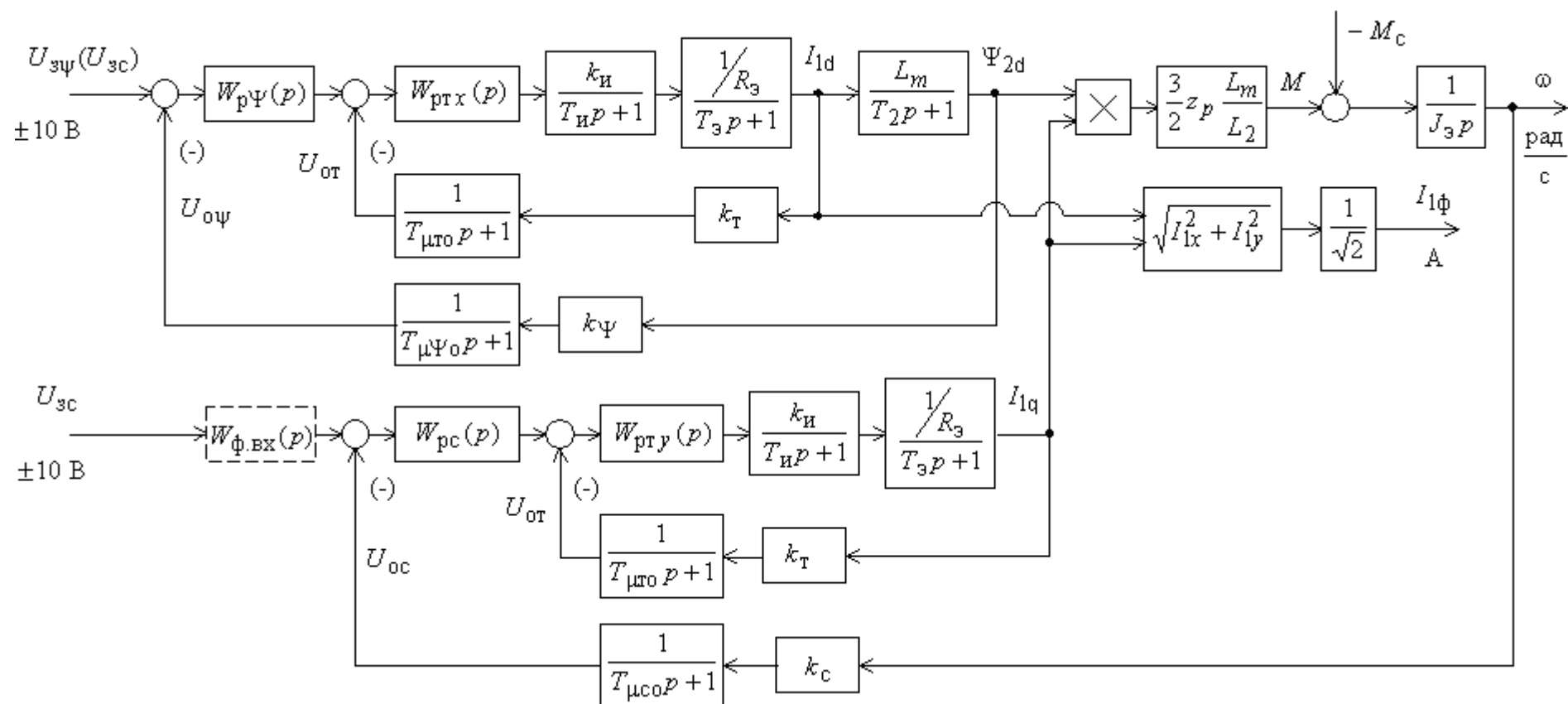


Рисунок 16 Структурная схема линейризованной САУ электропривода

Малая постоянная времени цепи обратной связи по току.

$$T_{m\tau o} = \frac{T_{\text{ст}}}{3} = \frac{0,00133}{3} = 0,000444 \text{ с},$$

где

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

– период сглаживания результатов измерения тока;

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

Малая постоянная времени цепи обратной связи по потокосцеплению

$$T_{m\gamma o} = \frac{T_{\text{с}\gamma}}{3} = \frac{0,0133}{3} = 0,00444 \text{ с},$$

где

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

– период расчёта потокосцепления;

$n_{\gamma} = 5$ – количество периодов модуляции для измерения потокосцепления.

Малая постоянная времени цепи обратной связи по скорости

$$T_{m\omega o} = \frac{T_{\text{сс}}}{3} = \frac{0,0133}{3} = 0,00444 \text{ с},$$

где

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

– период расчёта потокосцепления;

$n_c = 5$

– количество периодов модуляции для измерения скорости.

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

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

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

$$Y_{2\text{н}} = \sqrt{2} \times I_0 \times L_m = \sqrt{2} \times 0,02733 \times I_0$$

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

– значение номинального потокосцепления двигателя, Вб

$$Y_{2d\text{н}}^* = Y_{2\text{н}}^* = \sqrt{2} \times L_m \times I_0^* = \sqrt{2} \times 0,02733 \times 22,55 = 0,872 \text{ Вб};$$

– значение номинального тока I_{1d} , А

$$I_{1d\text{н}}^* = \sqrt{2} \times I_0^* = \sqrt{2} \times 22,55 = 31,89 \text{ А}$$

– значение номинального тока I_{1q} , А

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

– максимально допустимое значение тока I_{1q}

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

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

2.12. Оптимизация контуров регулирования САР электропривода

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

Оптимизация контура тока

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

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

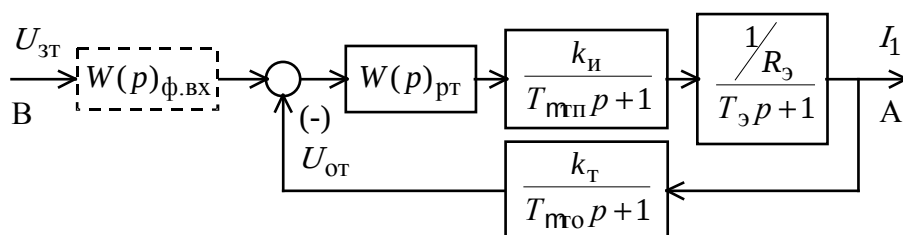


Рисунок 17 Структурная схема контура тока

В качестве регулятора тока принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией

$$W_{PT}(p) = k_{PT} \times \frac{T_{PT} \times p + 1}{T_{PT} \times p}$$

и настраиваем контур тока на модульный оптимум (МО):

$$k_{PT} = \frac{T_{\Sigma} \times R_{\Sigma}}{k_{и} \times k_T \times a_T \times T_{мэ}} = \frac{0.0204 \times 0.0623}{31.11 \times 0.0344 \times 2 \times 0.0005273} = 1.13$$

– коэффициент усиления регулятора тока,

где

$$T_{мэ} = T_{мп} + T_{мо} = 0.0000833 + 0.000444 = 0.0005273 \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени контура тока;

$$k_T = \frac{U_{3T \text{ макс}}}{I_{1q \text{ макс}}} = \frac{10}{290,93} = 0.0344 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

– коэффициент обратной связи по току;

$U_{3T \text{ макс}} = 10 \text{ В}$ – принятое максимальное значение напряжения

задания на входе контура тока;

$a_T = 2$ – коэффициент оптимизации контура тока.

$T_{\text{рт}} = T_{\text{э}} = 0.0204 \text{ с}$ – постоянная времени регулятора тока

Передаточная функция замкнутого контура тока имеет следующий вид

$$W(p)_{T \text{ зам}} = \frac{\frac{1}{k_T} \times (T_{m0} \times p + 1)}{a_T T_{m\pi} T_{m0} T_{m\text{э}} p^3 + a_T T_{m\text{э}}^2 p^2 + a_T T_{m\text{э}} p + 1} \gg$$

$$\gg \frac{\frac{1}{k_T} \times (T_{m0} \times p + 1)}{a_T \times T_{m\text{э}}^2 \times p^2 + a_T \times T_{m\text{э}} \times p + 1} = \frac{1}{0.0344} \times \frac{(0.000444 \times p + 1)}{5.5609 \cdot 10^{-7} \times p^2 + 1.0546 \cdot 10^{-3} \times p + 1}.$$

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 $T_{m\pi}$ и T_{m0} . Поскольку контур тока является внутренним контуром, то для уменьшения перерегулирования в нем на входе контура устанавливаем сглаживающий фильтр с передаточной функцией

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

постоянную времени которого выбираем из условия

$$T_{\text{ф вх}} = T_{\text{ф вх Т}} = T_{m0} = 0.000444 \text{ с}.$$

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

$$W(p)_{\text{Т зам}} = \frac{\frac{1}{k_T}}{a_T \times T_{m\pi} \times T_{m0} \times T_{m\pi} \times p^3 + a_T \times T_{m\pi}^2 \times p^2 + a_T \times T_{m\pi} \times p + 1} \gg$$

$$\gg \frac{\frac{1}{k_T}}{a_T \times T_{m\pi}^2 \times p^2 + a_T \times T_{m\pi} \times p + 1} = \frac{\frac{1}{0.0344}}{5.5609 \cdot 10^{-7} \times p^2 + 1.0546 \cdot 10^{-3} \times p + 1}.$$

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

– статическая ошибка, A ,

$$DI_{y \text{ ст}} = 0;$$

– полоса пропускания контура по фазе и модулю

$$W_{\Pi}^{(\Phi)} = W_{\Pi}^{(M)} \gg \frac{0.71}{T_{m\pi}} = \frac{0.71}{0.0005273} = 1346.48 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

или

$$f_{\Pi}^{(\Phi)} = f_{\Pi}^{(M)} = \frac{W_{\Pi}^{(\Phi)}}{2p} \gg \frac{1346.482}{2 \times 3.1415} = 214.3 \text{ Гц};$$

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

$$s \gg 4.3 \%,$$

$$t_{\text{py1}}^{(5)} = t_{\text{py2}}^{(5)} \gg 4.1 \times T_{m\pi} = 4.1 \times 0.0005273 = 0.002162 \text{ с}.$$

Оптимизация контура потокосцепления

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

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

где

$$T_T = a_T \times T_{m\gamma} = 2 \times 0.0005273 = 0.0010546 \text{ с}$$

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Структурная схема контура потокосцепления приведена на рисунке 18.

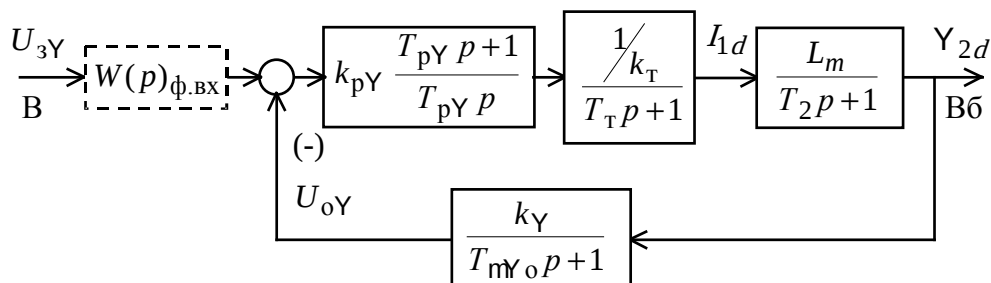


Рисунок 18 Структурная схема контура потокосцепления

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 $T_{mY_o} = 0.00444 \text{ с}$.

В качестве регулятора потокосцепления принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией

$$W(p)_{py} = k_{pY} \times \frac{T_{pY} \times p + 1}{T_{pY} \times p}$$

и настраиваем контур потокосцепления на модульный оптимум:

$$T_{pY} = T_2 = 0.8772 \text{ с}$$

– постоянная времени регулятора потокосцепления;

$$k_{pY} = \frac{T_2 \times k_T}{L_m \times k_Y} \times \frac{1}{a_Y \times T_{\mu Y \gamma}} = \frac{0.8772 \times 0.0344}{0.02733 \times 1.468} \times \frac{1}{2 \times 0.005495} = 8.76$$

– коэффициент усиления регулятора потокосцепления,

где

$$T_{\mu Y \gamma} = T_T + T_{mY_o} = 0.0010546 + 0.00444 = 0.005495 \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура;

$$k_Y = \frac{U_{3Y \text{ макс}}}{Y_{2H}} = \frac{10}{0.872} = 11.468 \frac{\text{В}}{\text{Вб}}$$

– коэффициент обратной связи по потокосцеплению;

$U_{3y \text{ макс}} = 10 \text{ В}$ – принятое максимальное значение напряжения задания на входе контура потокосцепления;

$a_Y = 2$ – коэффициент оптимизации контура потокосцепления.

Передаточная функция замкнутого контура потокосцепления по управлению имеет следующий вид

$$W(p)_{Y \text{ зам}} = \frac{\frac{1}{k_Y} \times (T_{m\lambda o} \times p + 1)}{a_Y \times T_T \times T_{m\lambda o} \times T_{m\lambda \varepsilon} \times p^3 + a_Y \times T_{m\lambda \varepsilon}^2 \times p^2 + a_Y \times T_{m\lambda \varepsilon} \times p + 1} \gg$$

$$\gg \frac{\frac{1}{k_Y} \times (T_{m\lambda o} \times p + 1)}{a_Y \times T_{m\lambda \varepsilon}^2 \times p^2 + a_Y \times T_{m\lambda \varepsilon} \times p + 1} = \frac{\frac{1}{11,468} \times (4,44 \times 10^{-3} \times p + 1)}{6,039 \times 10^{-5} \times p^2 + 0,01099 \times p + 1},$$

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, Вб $DY_{уст} = 0$.

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

– полоса пропускания по модулю

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

или

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

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

$$s = (4,3, 6,7) \%,$$

$$t_{pyl}^{(5)} = (4,1, 2,75) \times T_{m\lambda \varepsilon} = (4,1, 2,75) \times 0,005495 = (0,02253, 0,0151) \text{ с}.$$

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

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

где

$$T_{\text{Т}} = a_{\text{Т}} \times T_{\text{мэ}} = 2 \times 0.0005273 = 0.0010546 \text{ с}$$

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока, с.

Структурная схема контура скорости приведена на рисунке 19.

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости

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

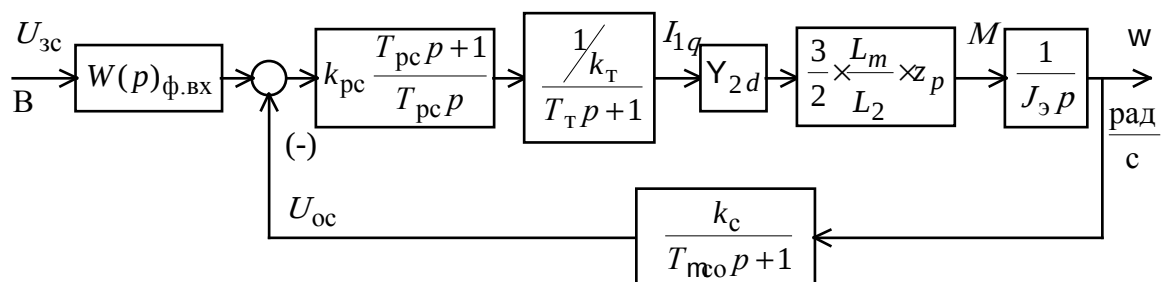


Рисунок 19 Структурная схема контура скорости

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости определяются по выражениям:

$$k_{\text{pc}} = \frac{(J_{\text{э}}) \times k_{\text{Т}}}{Y_{2\text{н}} \times \frac{3}{2} \times \frac{L_{\text{м}}}{L_2} \times z_p \times k_{\text{с}}} \times \frac{1}{a_{\text{с}} \times T_{\text{мэ}}} =$$

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

$$T_{\text{pc}} = b_{\text{с}} \times a_{\text{с}} \times T_{\text{мэ}} = 2 \times 2 \times 0.005495 = 0.022 \text{ с},$$

где

$$T_{\text{мэ}} = T_{\text{т}} + T_{\text{мo}} = 0.0010546 + 0.00444 = 0.0054495 \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура;

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

– коэффициент обратной связи по скорости;

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

электропривода;

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

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

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

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

и постоянными времени, соответственно, равными

$$T_{\text{ф.вх}} = T_{\text{ф.вх с1}} = b_c \times a_c \times T_{\text{мсэ}} = 2 \times 2 \times 0.005495 = 0.022 \text{ с},$$

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

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

– разомкнутого контура

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{с раз}} &= \\ &= \frac{b_c \times a_c \times T_{\text{мэ}} \times p + 1}{b_c \times a_c^2 \times T_{\text{т}} \times T_{\text{мo}} \times T_{\text{мэ}}^2 \times p^4 + b_c \times a_c^2 \times T_{\text{мэ}}^3 \times p^3 + b_c \times a_c^2 \times T_{\text{мэ}}^2 \times p^2} = \end{aligned}$$

– замкнутого контура по управлению

$$W(p)_{\text{с зам}} = \frac{\frac{1}{k_c}}{b_c a_c^2 T_T T_{\text{м0}} T_{\text{мэ}}^2 p^4 + b_c a_c^2 T_{\text{мэ}}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\text{мэ}}^2 p^2 + b_c a_c T_{\text{мэ}} p + 1} \gg$$

$$\gg \frac{\frac{1}{k_c}}{b_c a_c^2 T_{\text{мэ}}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\text{мэ}}^2 p^2 + b_c a_c T_{\text{мэ}} p + 1} =$$

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

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 $T_{\text{мп}} = T_T$ и $T_{\text{м0}}$. Предварительно принимаем следующие значения качественных показателей работы контура скорости:

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

$$Dw_{y \text{ ст}} = 0;$$

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

$$D\omega_{\text{ск}} \gg \frac{b_c a_c T_{\text{мэ}}}{k_c} \times \frac{\frac{dU_{\text{зс}}}{dt}}{\frac{d\omega}{dt}} = b_c a_c T_{\text{мэ}} \times \frac{\frac{d\omega}{dt}}{\frac{d\omega_{\text{зад}}}{dt}} = 0.022 \times \frac{\frac{d\omega}{dt}}{\frac{d\omega_{\text{зад}}}{dt}};$$

– полоса пропускания контура по модулю и по фазе

$$\omega_{\text{п}}^{(\text{м})} \gg \frac{0.5}{T_{\text{мэ}}} = \frac{0.5}{0.005495} = 91, \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \text{ или } f_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{\omega_{\text{п}}^{(\text{м})}}{2\pi} \gg \frac{91}{2 \times 3.1415} = 14.5 \text{ Гц},$$

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

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

$$s \gg 8.1\%;$$

$$t_{py1}^{(5)} \gg 7.0 \times T_{m\alpha} = 7 \times 0.005495 = 0.0385 \text{ с};$$

$$t_{py2}^{(5)} \gg 12.0 \times T_{\mu c\alpha} = 12 \times 0.005495 = 0.066 \text{ с}.$$

2.13. Имитационные исследования регулируемого электропривода фурмы кислородного конвертора.

Электропривод фурмы кислородного конвертора работает с постоянным потокосцеплением, равным номинальному значению Ψ_{2H} , 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 $U_{pc \text{ макс}} = 10 \text{ В}$;
- насыщение регулятора тока, принимаем $U_{pt \text{ макс}} = 10 \text{ В}$;
- ограничение напряжения на выходе инвертора $E_{и \text{ макс}} = 311 \text{ В}$;
- реактивный характер момента трения $M_c(w) = M_c \times \text{sign } w$.
- насыщение регулятора потокосцепления, принимаем $U_{py \text{ макс}} = 10 \text{ В}$;

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.

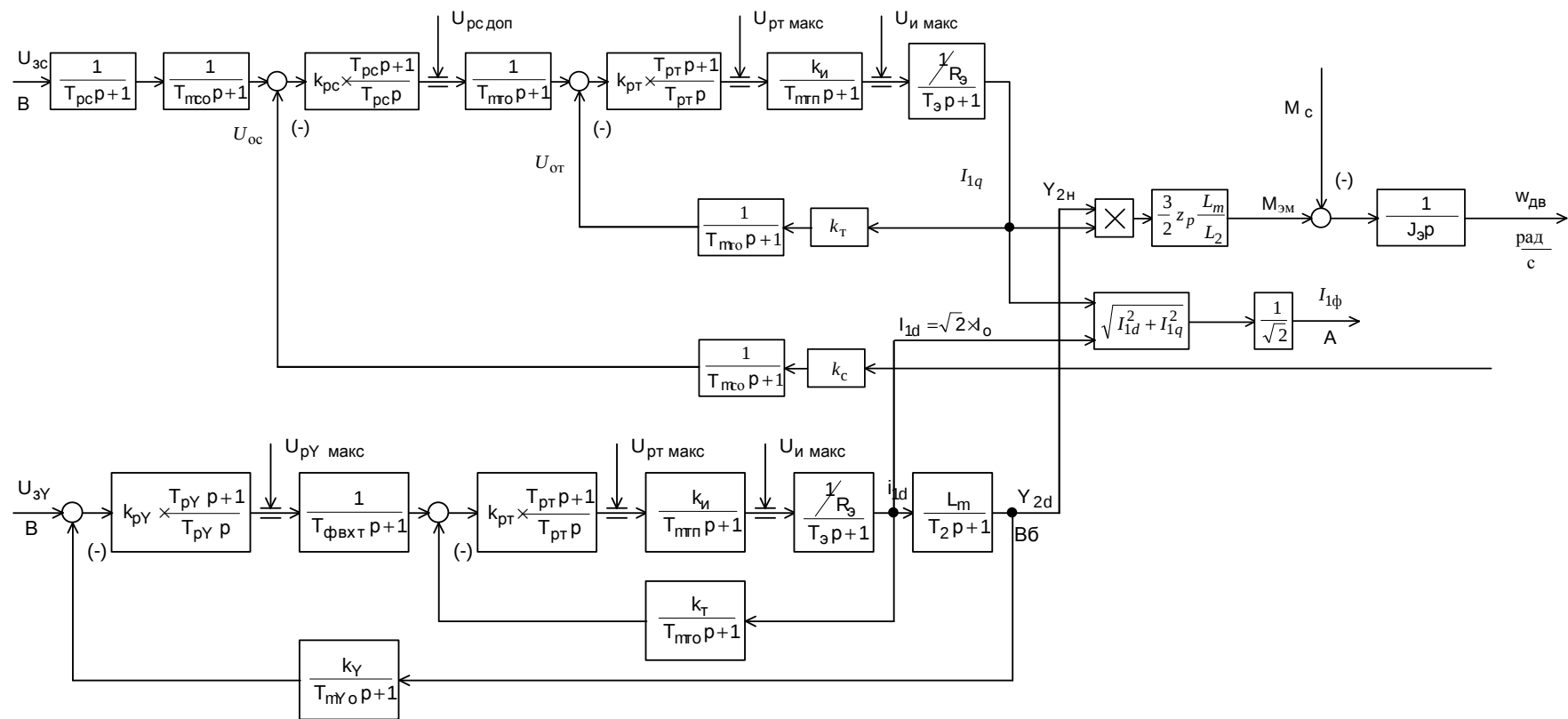


Рисунок 20 Структурная схема САУ электропривода фурмы кислородного конвертора.

В состав имитационной модели рисунке 21 входят суперблоки:

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

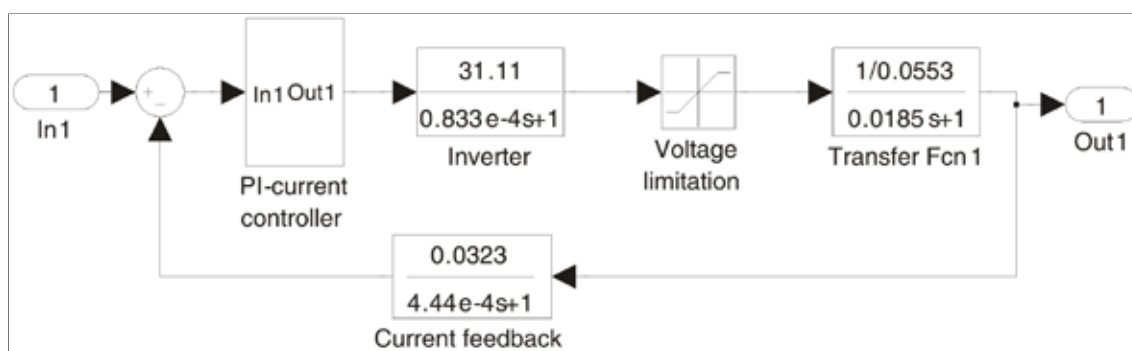


Рисунок 22 Схема набора имитационной модели контура тока

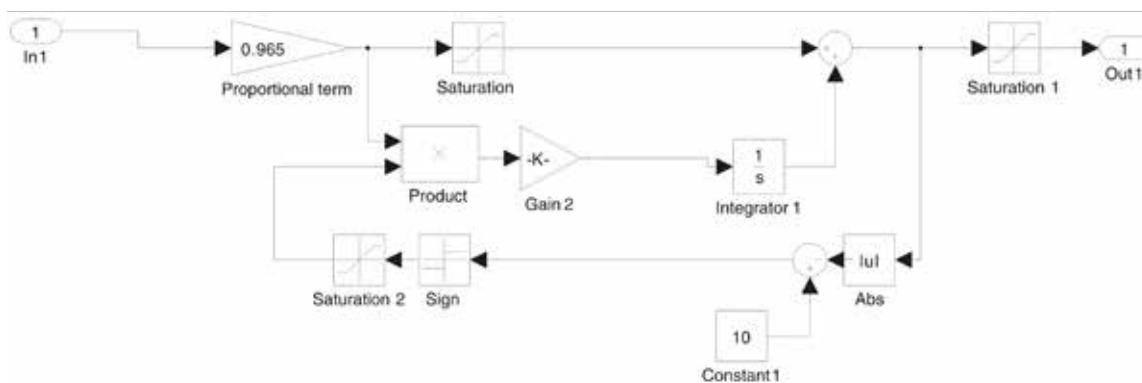


Рисунок 23 Схема набора имитационной модели регулятора тока

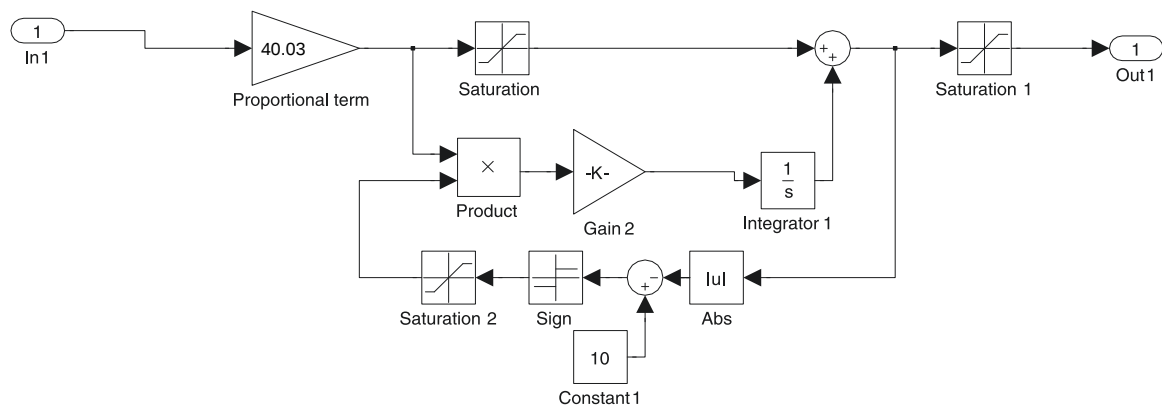


Рисунок 24 Схема набора имитационной модели регулятора скорости

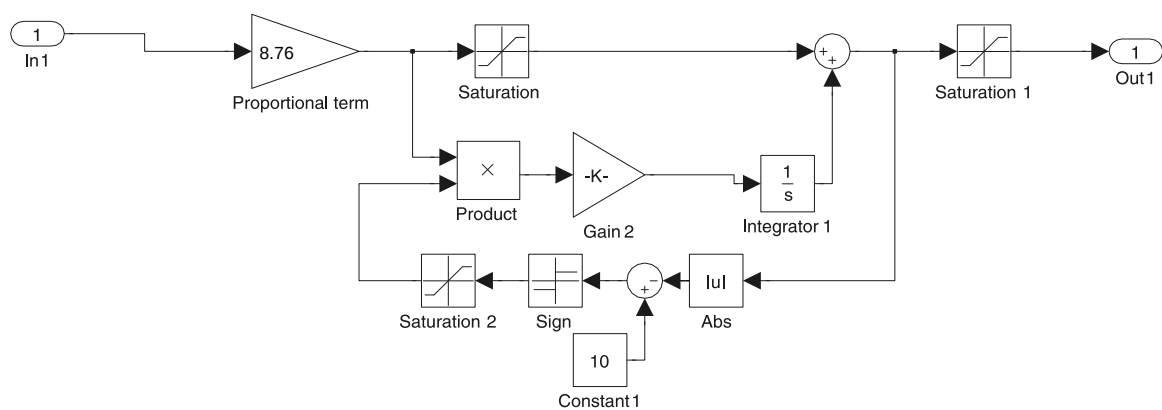


Рисунок 25 Схема набора имитационной модели регулятора
потокосцепления

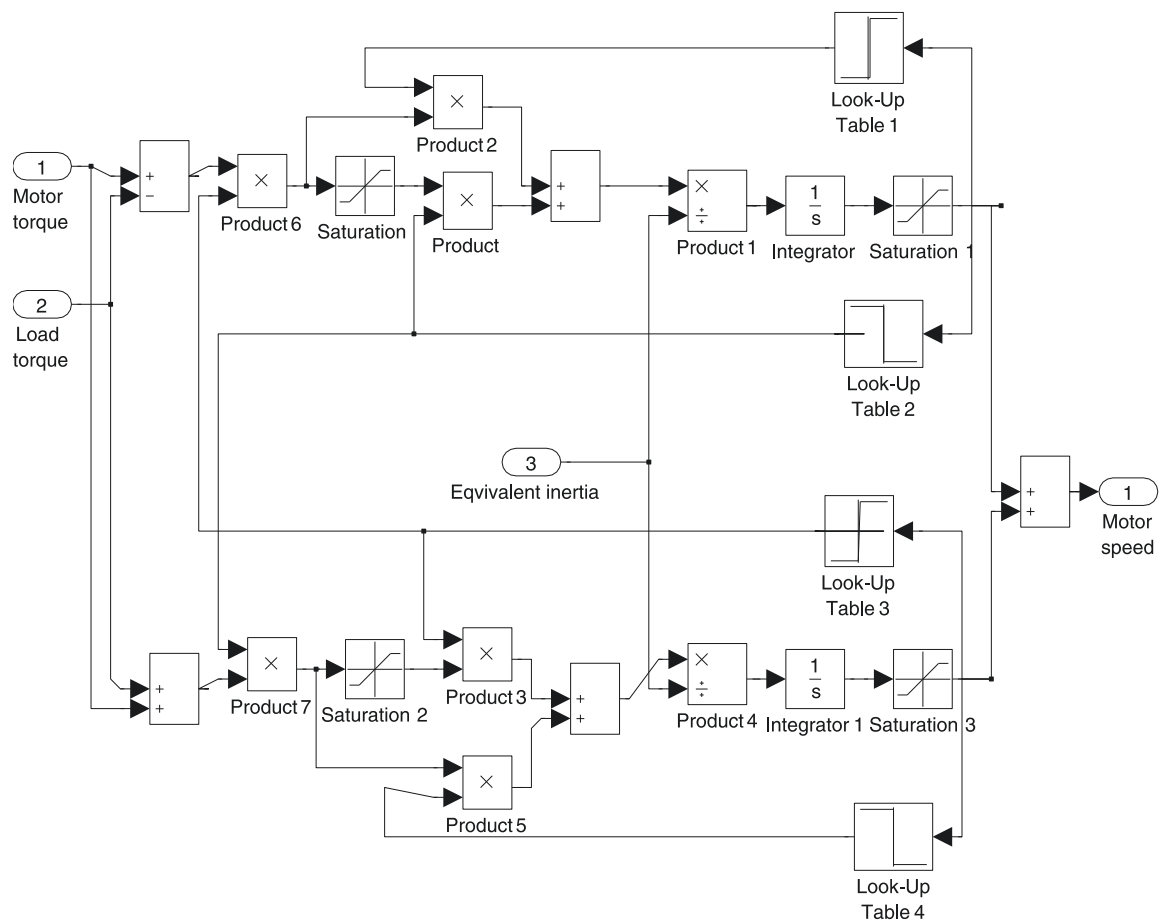


Рисунок 26 Схема набора имитационной модели механической системы

Таблица 5 Параметры элементов структурной схемы

$U_{3Y},$ В	k_{pY}	$T_{pY},$ с	$k_Y, \frac{B}{B\delta}$	$T_{mYo},$ с	$T_{\phi_{BX T}},$ с	k_{pT}	$T_{pT},$ с	$k_T, \frac{B}{A}$	$T_{mo},$ с	$k_{и}$	$T_{mII},$ 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	$\gamma_{2dH},$ Вб	$U_{pY \text{ макс}},$ В	$U_{pT \text{ макс}},$ В	$T_{\phi_{BX c1}},$ с	$T_{\phi_{BX c2}},$ 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	$k_c, \frac{B \times c}{\text{рад}}$	$T_{mo},$ с	$T_{\phi_{BX T}},$ с	k_{pT}	$T_{pT},$ с	$k_T, \frac{B}{A}$	$L_2,$ Гн	z_p	$J_3^*,$ кг $\times$ 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

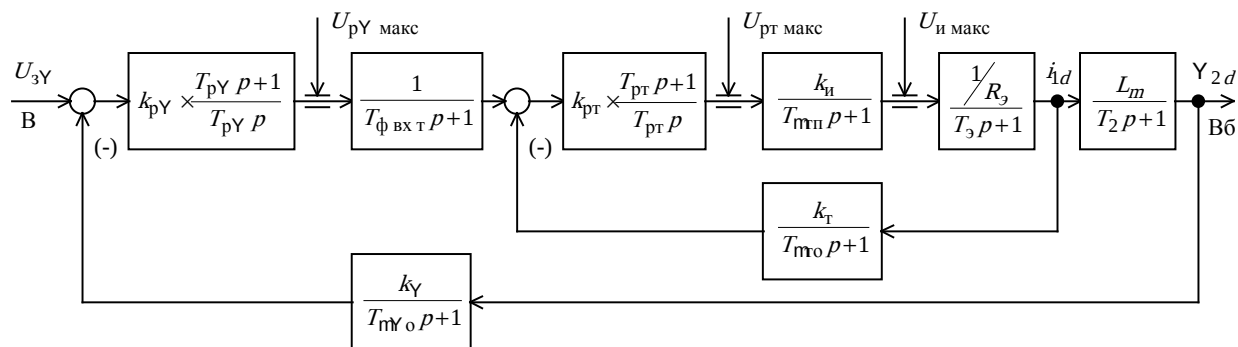


Рисунок 27 Структурная схема контура регулирования потокосцепления

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

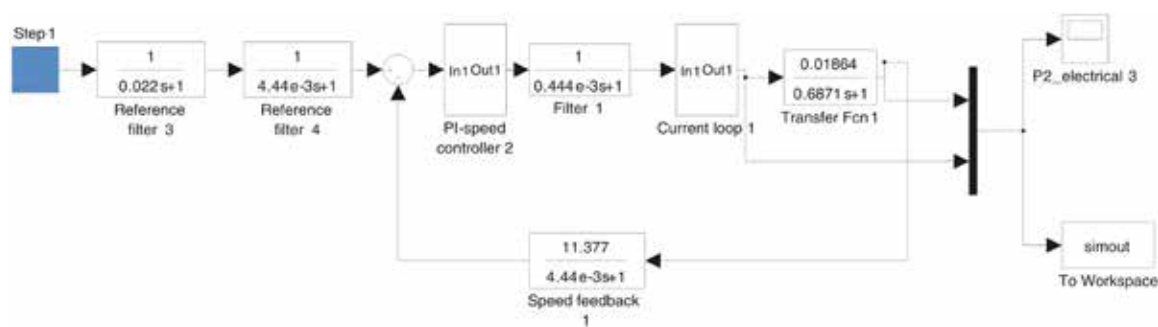


Рисунок 28 Схема набора имитационной модели контура
потокосцепления

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

Процесс формирования потокосцепления двигателя характеризуется следующими количественными показателями:

- установившееся значение потокосцепления $\Psi_{2d} = \Psi_{2н} = 0.879$ Вб;
- статическая ошибка отработки заданного значения потокосцепления $D\Psi_{уст} = 0$;
- время достижения значения $0.95 \times \Psi_{2d\text{ уст}} \quad t_1^{(5)} \gg 0.115$ с.

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

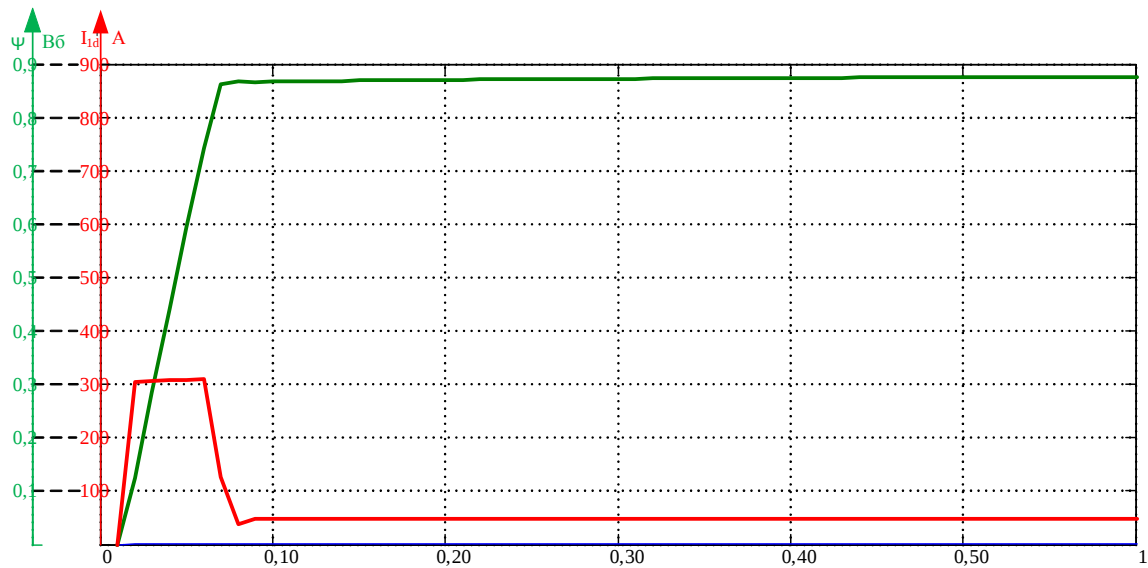


Рисунок 29 Переходные процессы в контуре потокосцепления при $U_{3Y} = 10$ В

Задатчик интенсивности скорости

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

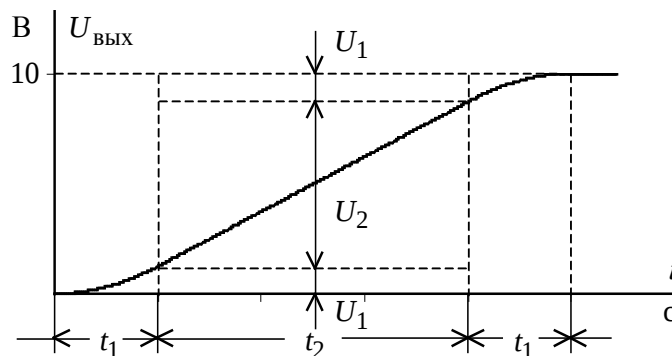


Рисунок 30 Временная характеристика S-образного задатчика скорости

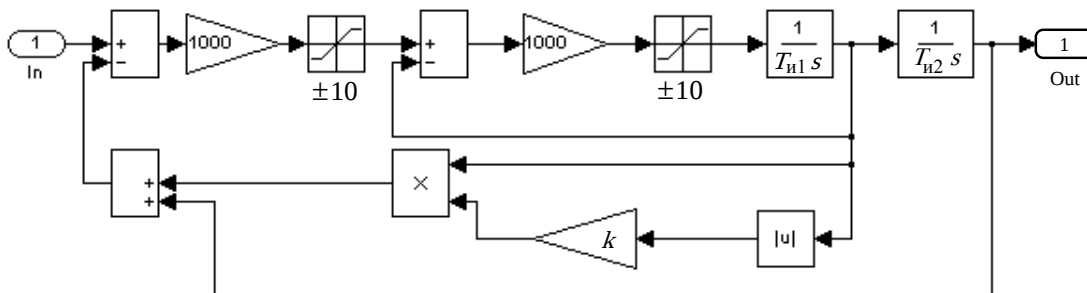


Рисунок 31 Схема набора имитационной модели задатчика скорости

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

$$t_2 + 2t_1 = 1 \text{ с.}$$

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

Параметры настройки задатчика интенсивности скорости:

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

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

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.

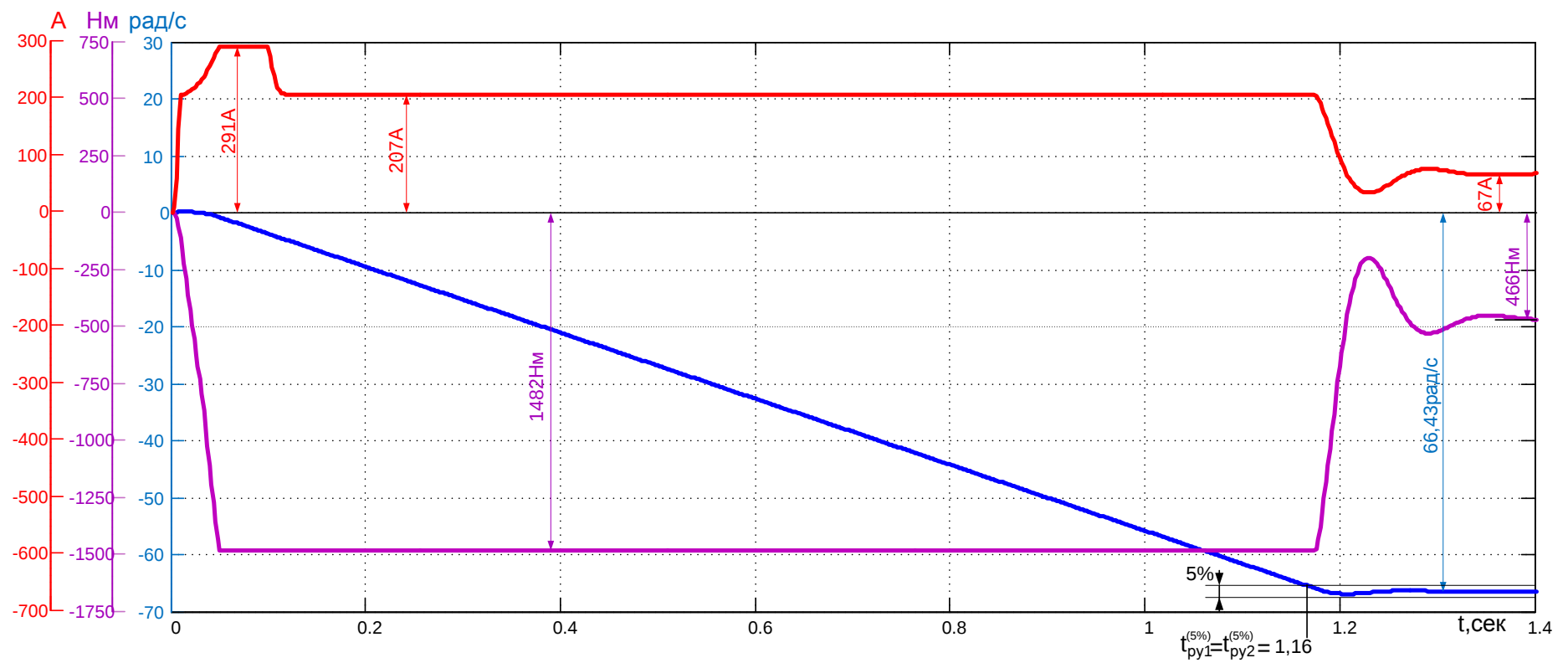


Рисунок 32 График переходных процессов при спуске формы

Задание

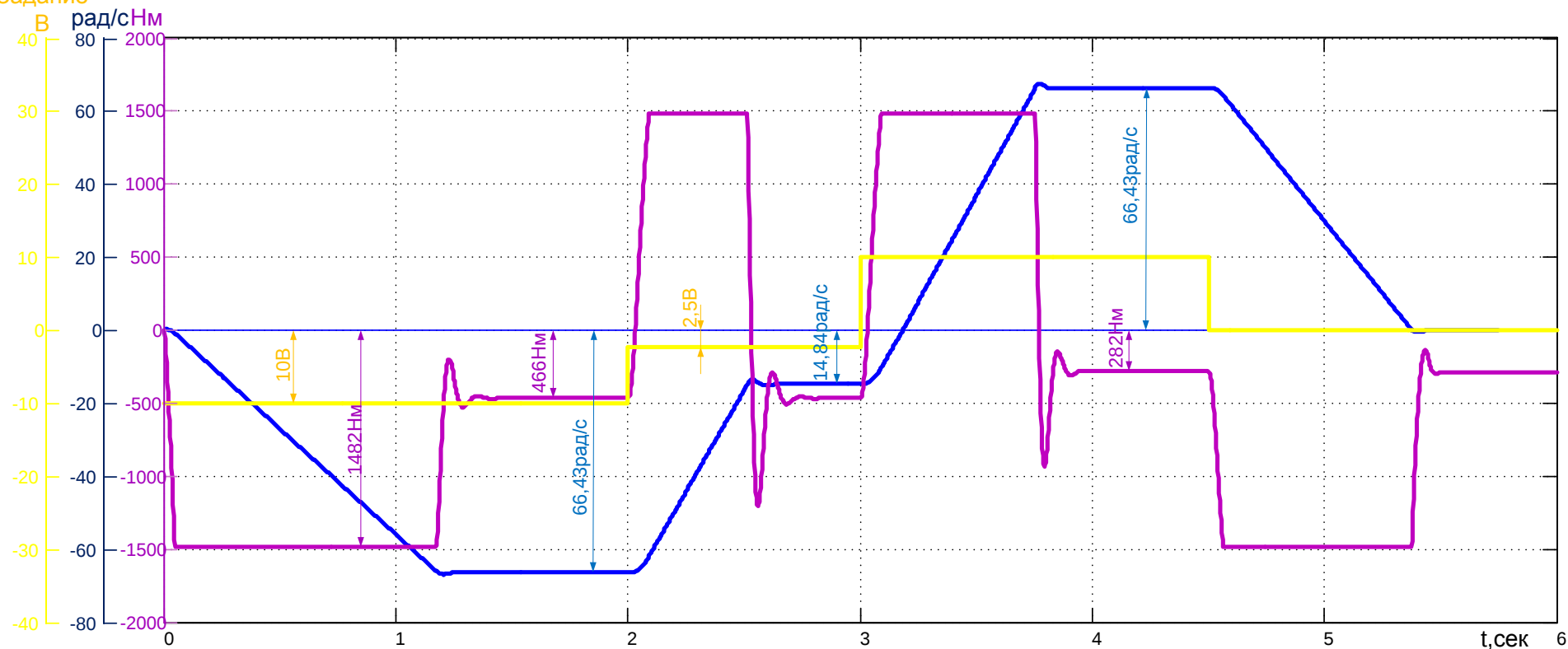


Рисунок 33 График переходных процессов цикла работы фурмы

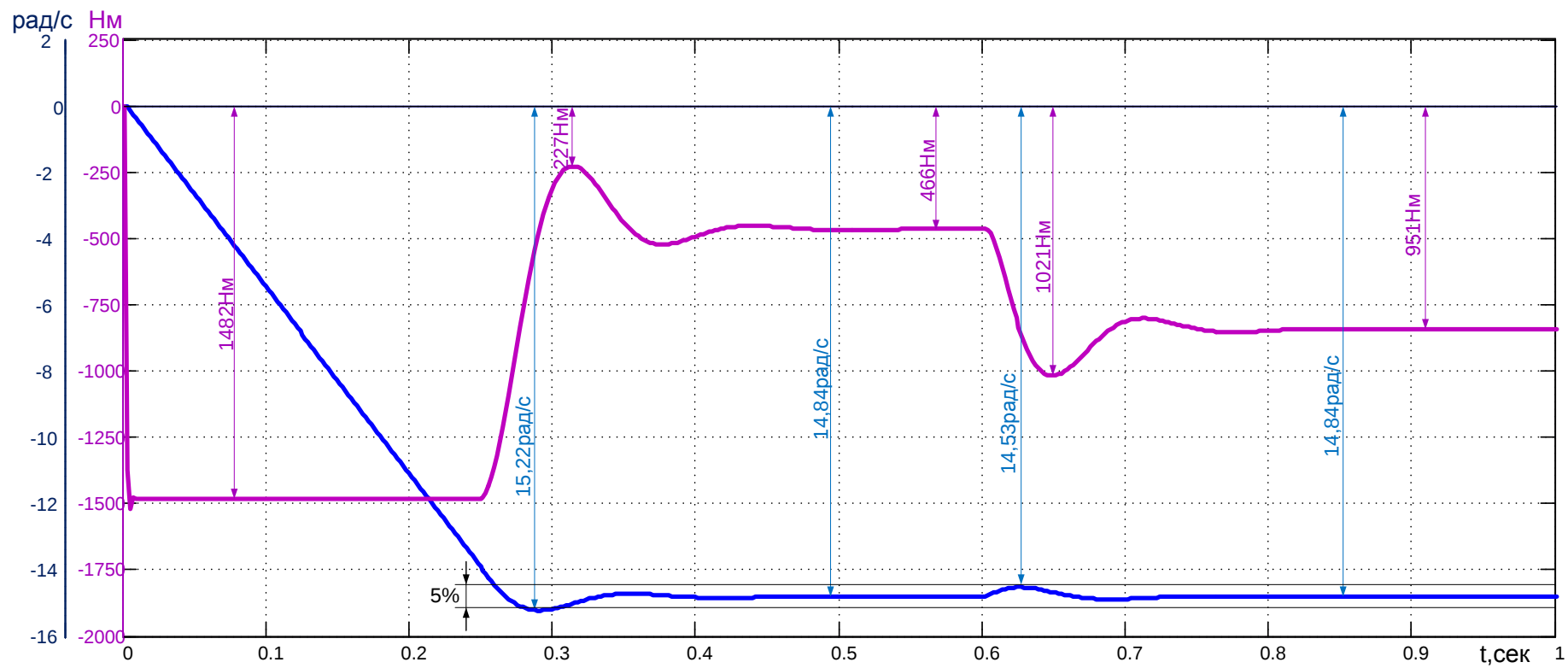


Рисунок 34 График переходных процессов при двукратном набросе нагрузки. Скорость не выходит из 5% зоны.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Ким Виктор Евгеньевич

Школа	ИнЭО	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость затрат технического проекта (ТП)	Материальные затраты определяются согласно прейскурантам. Заработная плата определяется исходя из тарифной ставки и коэффициентов, зависящих от различных условий: организация, регион. Страховые отчисления определяются согласно Федеральному закону от 24.07.2009 №212-ФЗ.
2. Продолжительность выполнения ТП	По приблизительной оценке, продолжительность ТП составляет 81 рабочих день

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта (ТП) с позиции ресурсоэффективности	Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, а ресурсоэффективность ТП с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.
2. Планирование графика работ по реализации ТП	При составлении графика работ по реализации ТП используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным составляется ленточная диаграмма Ганта.
3. Расчет сметы для технического проекта	При составлении сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям: - затраты на оборудование; - полная заработная плата исполнителей; - отчисления во внебюджетные страховые фонды; - накладные расходы .

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	18.02.2019 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, отделение социально-гуманитарных наук	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Ким Виктор Евгеньевич		

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является подтверждение целесообразности разработки технического проекта, отвечающего всем нынешним требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для достижения цели в данном разделе рассмотрены следующие задачи:

- составление SWOT-анализа работы Акционерного общества «Евраз Западносибирского металлургического комплекса;
- планирование технико-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

3.1 SWOT-анализ работы Акционерного общества «Евраз Западносибирского металлургического комплекса

SWOT – представляет собой комплексный анализ проекта. SWOT анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, которые помогают оценить возможности, угрозы сильных и слабых сторон.

Для того что бы найти сильные и слабые стороны проведем SWOT–анализ. Он проводится в несколько этапов.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Таблица 6 – Составление предварительной матрицы SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Универсальность применения разрабатываемых математических моделей; С2. Наличие опытного научного-руководителя; С3. Актуальность проводимого исследования. С4. Невысокая стоимость проекта относительно иностранных компаний при конкурентной надежности разработки С5. Широкая сфера применения	Слабые стороны проекта: Сл1. Возможность появления новых методов; Сл2. Требуется тщательного сбора исходных данных; Сл3. Многостадийность методики. Сл4. Требуется уникального оборудования Сл5. Иностранные конкуренты обеспечивают чуть более высокие показатели эффективности
--	--	--

Окончание таблицы 6.

Возможности: В1. Возможность создания партнерских отношений с рядом производственных металлургических предприятий; В2. Большой потенциал применения метода математического моделирования динамических процессов; В3. Большая стоимость конкурентных разработок; В4. Рост потребности в обеспечении безопасности технологического процесса и сокращения экономических издержек. В5. Возможность доработки проекта и изменения его под конкретные нужды потребителя	В1С1;С2;С3;С4;С5; В2С1;С2;С5; В3С3;С4;С5; В4С3;С5; В5С2;С3;	В1Сл1;Сл5; В2Сл1; В5Сл5;
Угрозы: У1. Развитая конкуренция в сфере математического моделирования технологических процессов	У1С1;	

металлургических производств У2.Захват внутреннего рынка иностранными компаниями У3.Малые скорости внедрения У4.Несвоевременное финансовое обеспечение У5.Вероятность доработки проекта для получения необходимых показателей работы	У2С1;С4; У4С4; У5С2;	
---	------------------------------------	--

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие). Результаты второго этапа SWOT анализа представлены в табл. 7-8.

Таблица 7 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	С1	С2	С3	С4	С5
В1	+	+	+	+	+
В2	+	+	-	-	+
В3	-	-	+	+	+
В4	-	-	+	-	+
В5	-	+	+	-	-
Возможности	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
В1	+	-	-	-	+
В2	+	-	-	-	-
В3	-	-	-	-	-
В4	-	-	-	-	-
В5	-	-	-	-	+

Таблица 8 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	С1	С2	С3	С4	С5
У1	+	-	-	-	-
У2	+	-	-	+	-
У3	-	-	-	-	-
У4	-	-	-	+	-
У5	-	+	-	-	-
Угрозы	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
У1	-	-	-	-	-
У2	-	-	-	-	-
У3	-	-	-	-	-
У4	-	-	-	-	-
У5	-	-	-	-	-

После проведения SWOT-анализа и на основании его результатов можно сказать:

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

3.1. Планирование выпускной квалификационной работы

Этапы и содержание дипломной работы (ДР) сведены в таблицу 9.

Трудоемкость характеризуется количеством живого труда, затраченного на изготовление какой либо продукции. Все этапы работы и значения трудоемкости занесены в календарный план-график , таблица 10.

Таблица 9 Этапы и содержание ВКР

Содержание работ	Продолжительность работ, ожид/день			Исполнители
	Минимально возможная трудоемкость	Максимально возможная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость	
1. Разработка технического задания	3	5	3,8	РП, Д
2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	4	5	4,4	РП, Д
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	6	11	8,0	Д
4. Кинематическая схема механизма	5	10	7,0	Д
5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	8	13	10,0	Д
6. Расчет мощности и выбор электродвигателя	5	7	5,8	Д
7. Выбор способа регулирования скорости	4	6	4,8	Д
8. Разработка математической модели системы АУ ЭП	10	15	12,0	Д
9. Оптимизация САР электропривода	7	10	8,2	Д
10. Разработка программы имитационного моделирования	8	12	9,6	Д
11. Вопросы безопасности и экологичности проекта	3	7	4,6	Д
12. Техничко-экономические расчеты	2	6	3,6	Д
13. Составление пояснительной записки	13	27	18,6	Д
14. Разработка графического сопровождения проекта	7	10	8,2	Д
15. Сдача проекта	3	4	3,4	РП, Д

РП – руководитель проекта;

Д – дипломник

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

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{мин i} + 2 \cdot t_{макс i}}{5}, \quad (1)$$

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

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

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

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 10 декад, начиная с третьей декады февраля, заканчивая третьей декадой мая. Продолжительность выполнения технического проекта составит 81 дней. Из них:

- 81 день – продолжительность выполнения работ дипломника;
- 7 дней – продолжительность выполнения работ руководителя;

3.3 Составление сметы технического проекта

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- затраты на специальное оборудование;
- полная заработная плата исполнителей ТП;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Материальные затраты на комплектующие, провода, шлейфы и т.д. не рассчитываются, так как они укомплектованы вместе с оборудованием.

Таблица 10– Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп-ли	раб. дн.	Продолжительность выполнения работ									
				Февр.	Март			Апрель			Май		
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Разработка ТЗ	Руководитель проекта	2										
		Дипломник	2										
2	Разраб. плана работ и технико-экон-е обоснование проекта	Руководитель проекта	2										
		Дипломник	2										
3	Описание объекта автоматизации	Дипломник	8										
4	Кинематическая схема механизма	Дипломник	7										
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Дипломник	10										
6	Расчет мощности и выбор электродвигателя	Дипломник	6										
7	Выбор регулирования скорости двигателя	Дипломник	6										
8	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Дипломник	6										
9	Оптимизация САР электропривода	Дипломник	4										
10	Разработка программы имитационного моделирования	Дипломник	5										
11	Вопросы безопасности экологичности пр.	Дипломник	5										
12	Технико-экономические расчеты	Дипломник	4										
13	Составление пояснительной записки	Дипломник	9										
14	Разработка графического сопровождения проекта	Дипломник	4										
15	Сдача проекта	Руководитель проекта	3										
		Дипломник	3										

3.3.1. Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле: [24]

$$З_{\text{м}} = \sum_{i=1}^m Ц_i \times N_{\text{расх}i}, \quad (2)$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным на сайте канцелярского магазина ТД „Карандаш”.

Таблица 11. – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	1	470	470
Ручка	2	19	38
Брошюровка	1	50	50
Калькулятор	1	290	290
Линейка	1	35	35
Корректор	1	77	77
Распечатка файлов	200	1.7	340
Итого			1300

3.3.2 Полная заработная плата исполнителей

В этом разделе рассчитывается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Полная заработная плата рассчитывается по формуле: [24]

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп} \quad (3)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата исполнителей рассчитывается по формуле: [24]

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Т_r \quad (4)$$

где $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$Т_r$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле: [24]

$$З_{дн} = \frac{З_{тс} + З_{р.к.}}{F_d} \quad (5)$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$З_{р.к.}$ – доплата с учетом районного коэффициента (30 %), руб.;

F_d – количество рабочих дней в месяце (26 при 6 – дневной рабочей неделе), раб. дн.

Таблица 12 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	Районная доплата, руб.	Месячная зарплата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Кол-во дней	Основная заработная плата руб.
Руководитель	33 664	10 099	43 763	1 683	7	11 800
Дипломник	12 300	3 690	15 990	615	81	49 800

Оклад [35]

Дополнительная заработная плата составляет 12 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэф. доплаты	Основная заработная плата руб	Дополнительная заработная плата руб	Полной заработная плата, руб.
Руководитель	0,15	11 800	1 800	13500
Дипломник	0,12	49 800	6 000	55800
Итого		61 600	7 800	69300

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле: [24]

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} \quad (6)$$

3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы: [24]

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (7)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные страховые фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 69,3 = 20,9 \text{ тыс. руб.}$$

3.3.4. Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции [24].

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Смета затрат технического проекта.

Наименование статьи	Сумма, тыс.руб.	Стр-ра затрат
1. Материальные затраты ТП	1,3	1
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	69,3	63,7
3. Отчисления во внебюджетные фонды	20,9	19,3
4. Накладные расходы	17,5	16,0
5. Итого	109,0	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 99 раб. дней для инженера и 6 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 106000 руб, из которых более половины (63,5 %) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы

3.5. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности: [24]

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i \quad (8)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i - весовой коэффициент разработки;

b_i - балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Для оценки ресурсоэффективности проекта были подобраны критерии эффективности такие как:

- повышение производительности труда пользователя осуществляется путем автоматизации технологического процесса;
- удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) – возможность диспетчеризации позволяет сократить количество осмотров системы за период эксплуатации;
- энергоэкономичность – применение в подъемных механизмах частотно-регулируемого электропривода дает возможность использовать плавный подъем груза;
- надежность – отсутствие ударов при переключении на другие скорости подъема или спуска не изнашивается механизм;

- уровень шума – применение частотно-регулируемого электропривода значительно снижает уровень шума подъемного механизма;
- безопасность – нет необходимости постоянного присутствия обслуживающего персонала, так как управление и мониторинг за работой подъемного механизма осуществляется дистанционно.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристик проекта.

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Повышение производительности труда пользователя	0,20	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5
3. Энергоэкономичность	0,20	5
4. Надежность	0,20	5
5. Уровень шума	0,10	4
6. Безопасность	0,15	5
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 4 \cdot 0.2 + 5 \cdot 0.15 + 5 \cdot 0.2 + 5 \cdot 0.2 + 4 \cdot 0.1 + 5 \cdot 0.15 = 4.7$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале) 4,7, что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

В данном разделе выпускной квалификационной работы были рассмотрены, раскрыты и рассчитаны следующие вопросы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. В таких случаях используют интерактивные матрицы возможностей и угроз. Анализ данных матрицы, установил, что соответствия угроз с сильными и слабыми сторонами имеют низкую вероятность, что нельзя сказать о возможностях. В итоге следует, что данный технический проект имеет несколько важных преимуществ, таких как высокая безопасность производства и

энергоэффективность, которые обеспечат повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства;

- при планировании технических работ была составлена ленточная диаграмма Ганта. Данная диаграмма позволяет оптимально спланировать время работы исполнителей проекта (руководителя и дипломника);

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта. По этим данным можно определить, стоит ли проводить дополнительные мероприятия по оптимизации затрат на проект или нет;

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала довольно высокий результат (4,7 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Ким Виктор Евгеньевич

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<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>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<i>Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i>
2. Производственная безопасность	Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы; разработка мероприятий по снижению вредных и опасных факторов: - Повышенный уровень шума. - Повышенный уровень вибрации. - Неудовлетворительный микроклимат. - Неудовлетворительное освещение. - Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования. - Поражение электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств); - решение по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	-Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; -Выбор наиболее типичной ЧС; -Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; -Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. -Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г4Б2	Ким Виктор Евгеньевич		

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В данном разделе рассматриваются эксплуатационные характеристики электропривода для механизма перемещения фурмы, установленной в Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ. 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.

Таблица 1 - Основные размеры маховиков управления и штурвалов.

- 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]

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 плоскости тела оператора

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

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 при эксплуатации трубопроводной арматуры для регулирования расхода газа.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)[1]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Электрооборудование и электропривод переменного тока механизма перемещения фурмы. Эксплуатация и ремонт электропривода управления механизма перемещения фурмы	1. Повышенный уровень шума. 2. Повышенный уровень вибрации; 3. Неудовлетворительное освещение. 4. Неудовлетворительный микроклимат.	1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; 2. Поражение электрическим током. 3. Пожаровзрывоопасность	1. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. 2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. 3. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. 4. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. 5. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. 6. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. 7. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. 8. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ.

4.2.1 Анализ потенциально возможных опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

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 рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий.	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

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.

В Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ имеются все вышеперечисленные устройства защиты от повышенного уровня шума[14].

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].

В Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ установлены все вышеперечисленные устройства защиты от повышенного уровня вибрации[14].

Освещение:

В Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ имеется естественное (боковое двухстороннее) и искусственное освещение. 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 Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ, 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 не должна быть более 300 лк .

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

В Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ условие труда по световому фактору соответствуют допустимым . КЛ 2 [14]

Микроклимат:

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.

Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ является помещением I б категории. Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.)

Таблица 19. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

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

Согласно специальной оценки условий труда в ТПУ микроклимат Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ, соответствует допустимым нормам[14].

4.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

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

В Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ в непосредственной близости от движущихся частей, находящихся вне поля видимости испытателя, установлены органы управления аварийной остановкой (торможением) [14].

Поражение электрическим током

Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ имеет класс опасности по поражению током

клас

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 электрозащитные 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.

В Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ имеются все необходимые средства защиты [14].

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 22.0.02-94 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;

4.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами ТПУ. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

- 1) Неработоспособное 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.

В корпусе № 8 ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения загорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации [14].

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. Электрический привод. Учебное пособие. Ю.Н.Дементьев.,А.Ю.Чернышев., И.А.Чернышев: Издательство ТПУ, 2008-223с
3. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. ч1,2. Учебное пособие. Томск., 2002-143С.
4. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Системы управления электроприводов. Учебное пособие. Томск., 2007-151с.
5. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1977, 391с.
6. Л.К.Бурулько., Ю.С.Боровиков. Специальные электроприводы переменного тока. Учебное пособие. Томск., 2007-145с.
7. . Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. ч7.Учебное пособие. Томск., 2007-163с.
8. Шицкова А.П., Новиков Ю.В., Климкина Н.В. Охрана окружающей среды от загрязнения предприятиями черной металлургии. М.: Металлургия, 1982-208с.
9. Предельно-допустимые концентрации веществ в воздухе и воде.-Л.: Химия, 1975456с.
10. ГОСТ 12.2.007.0 – 75 ССБТ „Изделия электротехнические. Общие требования безопасности”.
11. ГОСТ 12.1.007-76 „Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности”.
12. СНиП 11-33-75 „Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха”.
13. СНиП 23-05-95 „Естественное и искусственное освещение”.
14. Правила устройства электроустановок. М.: Минэнергоиздат, - 640с.
15. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2001.-192с.
16. Типовое положение о ТО и Р электрооборудования предприятий черной металлургии СССР, - Харьков, 1988.

17. Прейскурант №26-05-437 ч. 10 т.2 Министерства черной металлургии СССР - М.: 1990.
18. Руководство по эксплуатации MICROMASTER 440. 142с.
19. 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.
21. Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.
22. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.
23. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-возкон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.
24. ФИНАСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Издательство Томского политехнического университета 2014, 36 стр.
25. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»
26. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. Сибирское университетское издательство, 2011 г.
27. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. №
28. «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»
29. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и но- менклатура видов защиты.
30. ПОТ Р М-016-2001. Межотраслевые правила по охране труда (правила без- опасности) при эксплуатации электроустановок, РД 153-34.0-03.150-00. Межот-

раслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок.

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

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

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

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

35. СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»

36. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности»

37. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Квалификация»

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

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

40. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение»

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

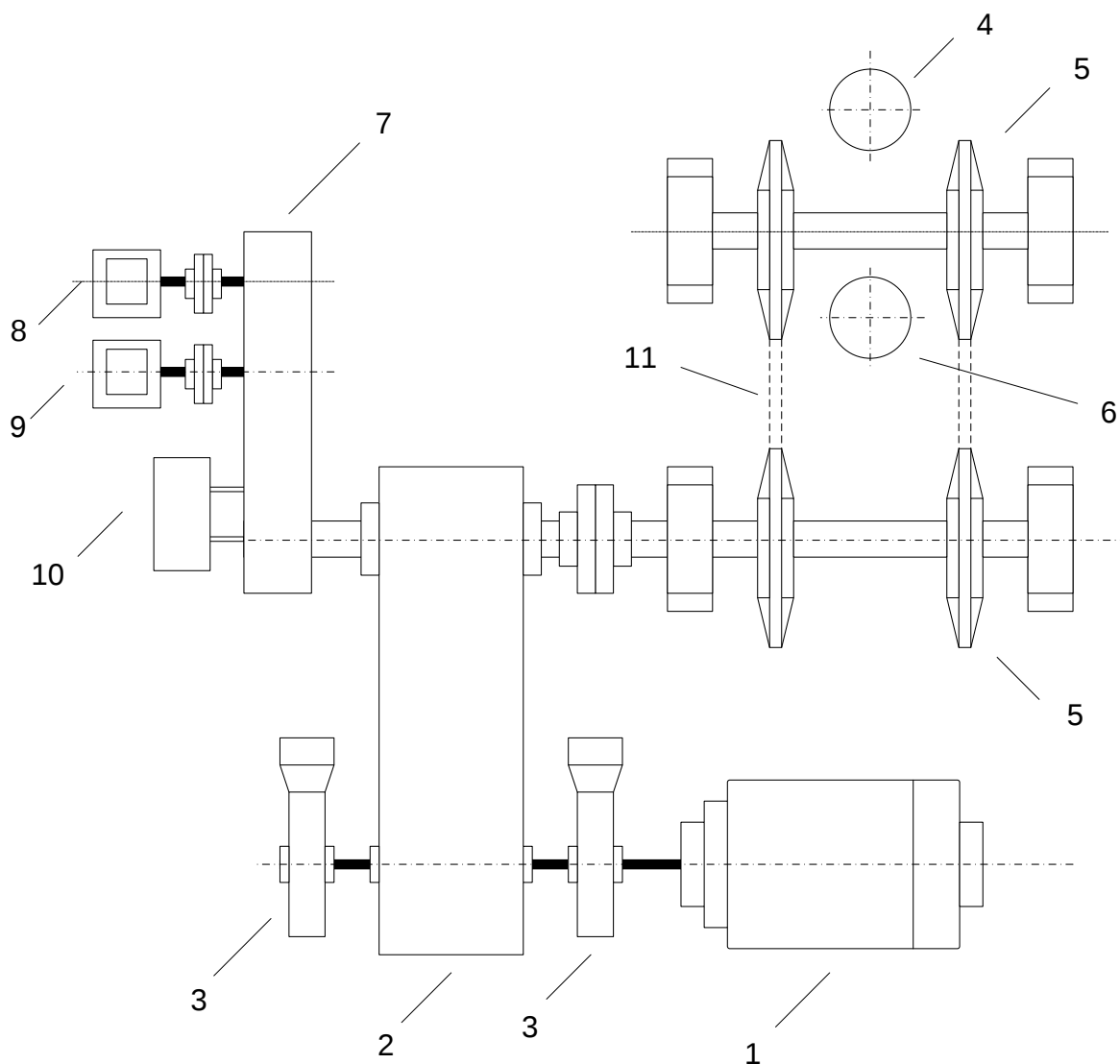
42. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»

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

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

45. ФЗ от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера»

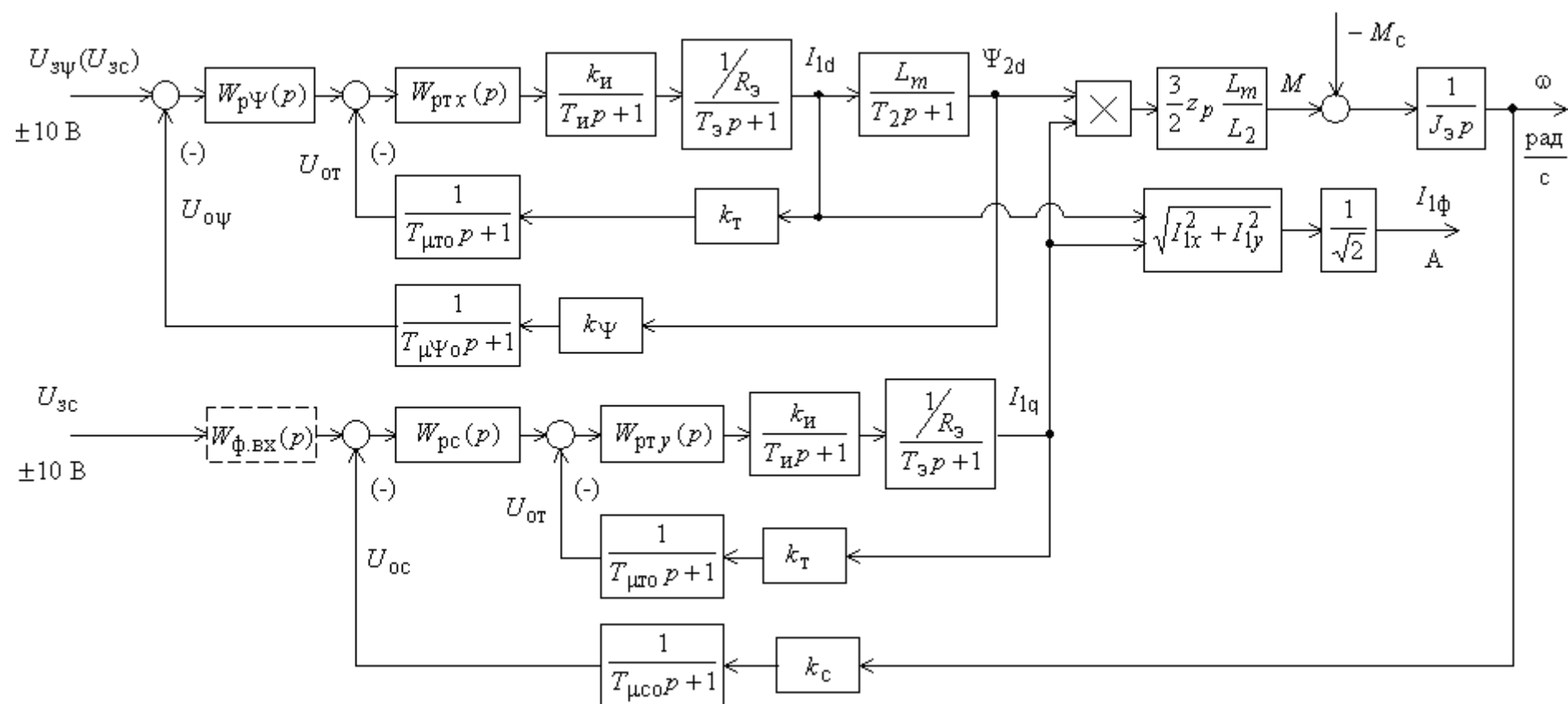
Приложение А.
Графический материал.



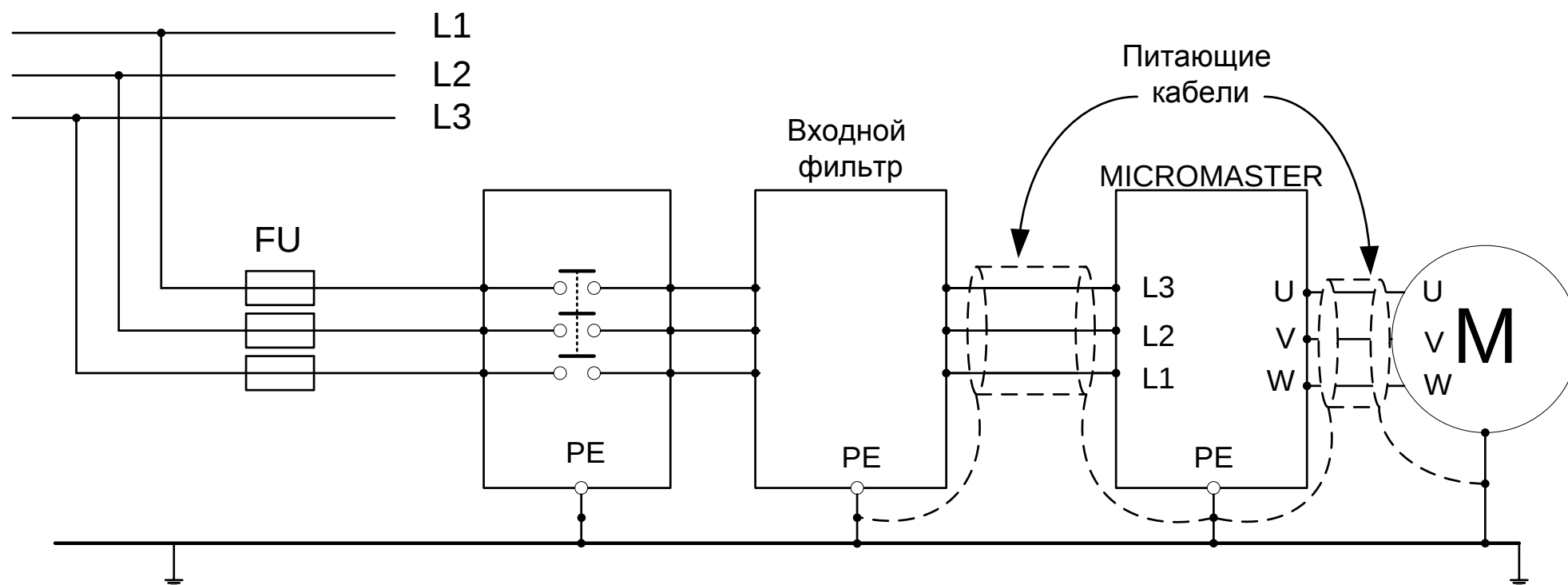
Кинематическая схема механизма подъёма фурмы

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.





Структурная схема линейризованной САУ электропривода



Подключение питающей сети и двигателя

Задание

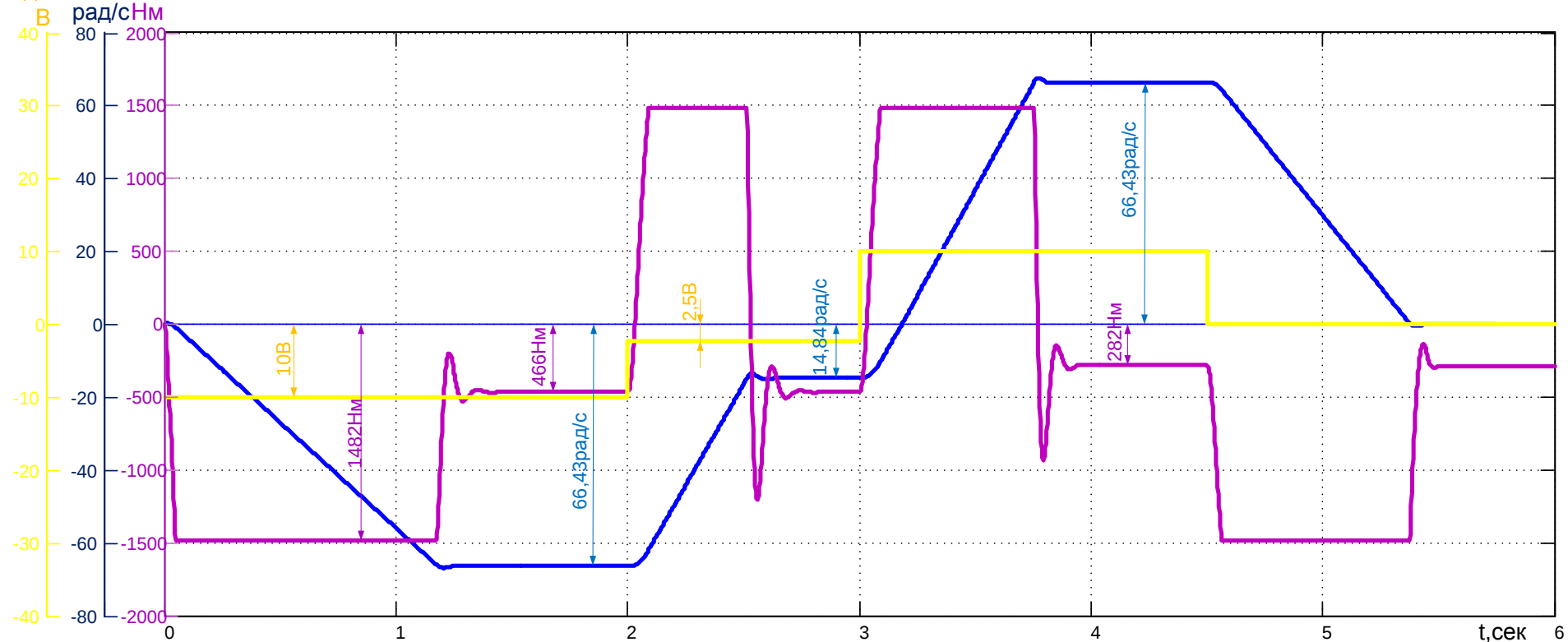


График переходных процессов цикла работы фурмы