

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Частотно-регулируемый электропривод ножей экструдера переработки полиэтилена

УДК 62-83-523:678.742.057.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Богданов Андрей Игоревич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Иван Георгиевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко Александр Сергеевич	к.т.н.		

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко
 (Подпись) _____ (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Богданову Андрею Игоревичу

Тема работы:

Частотно-регулируемый электропривод ножей экструдера переработки полиэтилена	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 06.05.2019 № 3483

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация на экструдер переработки полиэтилена и гранулирующей головки
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Подробное изучение технологического процесса, изучение конструктивных особенностей механизма резки гранул, расчет момента сопротивления создаваемого ножами экструдера, выбор двигателя, частотного преобразователя, исследование динамической модели АД в неподвижной системе координат со скалярным управлением, настройка параметров задатчика интенсивности и ограничителя максимального тока обмотки двигателя

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Кинематическая схема Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода Структурная схема ЭП с скалярным управлением Схема имитационной модели электропривода Переходные процессы асинхронного электропривода
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, кандидат экономических наук Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Ассистент Сотникова Анна Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Иван Георгиевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Богданов Андрей Игоревич		

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**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 преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Иван Георгиевич	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко Александр Сергеевич	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 расчёта <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 отчётов 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 учётом 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>

Оглавление

Реферат	8
ВВЕДЕНИЕ	9
1. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ	11
1.1. Технологический процесс дополнительной переработки полиэтилена экструдерной линии 2300.2	11
1.2. Техническое описание экструдера 2300.2	14
1.2.1. Устройство двухшнекового пресса	15
1.2.2. Загрузочное устройство	18
1.2.3. Гранулирующая головка	18
1.3. Параметры экструдера 2300.2	21
2. ОБОСНОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА	23
2.1. Обоснование выбора частотно-регулируемого электропривода	23
2.2. Выбор способа и закона частотного регулирования	27
2.3. Функциональная схема регулируемого электропривода	28
3. МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НОЖЕЙ ЭКСТРУДЕРА 2300.2	32
3.1. Обоснование расчета мощности привода режущего механизма	32
3.2. Расчет мощности необходимой для резки полиэтилена	33
3.3. Расчет сопротивления воды в камере гранулятора	35
3.4. Выбор электродвигателя для привода ножей	36
3.5. Расчетная схема замещения механизма	38
3.6. Расчет дополнительных параметров электродвигателя	39
3.7. Расчет параметров схемы замещения электродвигателя	40
3.8. Механические характеристики механизма резки	46
3.9. Расчет естественных характеристик приводного электродвигателя	47
4. СИЛОВАЯ ЦЕПЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОГРУЖНОГО НАСОСА	52
4.1. Выбор преобразователя частоты	52
4.2. Расчет искусственных механических и электромеханических характеристик системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель	55
4.2.1. Расчет и построение искусственных механических характеристик	55
4.2.2. Произведем расчет и построение искусственных электромеханических характеристик	60
4.3. Принципиальная электрическая схема регулируемого электропривода. Выбор силового электрооборудования	63
4.4. Структурная схема силового канала регулируемого электропривода	67
4.5. Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода	69

5. ИМИТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НОЖЕЙ ЭКСТУРДЕРА	71
5.1. Имитационная модель для исследования регулируемого электропривода	71
5.2. Имитационное исследование работоспособности регулируемого электропривода.....	77
5.3. Имитационное исследование работы регулируемого электропривода в режиме токоограничения.....	85
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	89
6.1. Основание для запуска проекта и его технико-экономическое обоснование	89
6.1.1. Потенциальный потребитель и перспективы развития проекта	90
6.1.2. Анализ и выбор преобразователя частоты	91
6.2. Планирование электромонтажных и пуско-наладочных работ по модернизации электропривода	94
6.3. Сметная стоимость проекта по модернизации электропривода	99
6.3.1. Стоимость оборудования по проекту модернизации	99
6.3.2. Стоимость вспомогательных материалов по проекту модернизации ...	101
6.3.3. Расчет заработной платы	102
6.3.4. Расчет накладных расходов	104
6.4. Расчет экономии текущих расходов при эксплуатации регулируемого электропривода.....	105
6.4.1. Расчет экономии на электроэнергию	105
6.4.2. Расчет расходов, связанных с отказом электрооборудования	107
6.4.3. Расчет изменения налога на имущество	107
7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	111
7.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	111
7.2. Производственная безопасность.....	113
7.2.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	115
7.2.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на работающего	117
7.2.3. Пожарная безопасность	121
7.3. Охрана окружающей среды и экологическая безопасность.....	122
7.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	124
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	126
CONCLUSION	128
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	129

Реферат

Представленная выпускная квалификационная работа содержит: 131 страниц машинописного текста, 18 таблицы, 33 рисунка, 20 использованных источников.

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросам модернизации реального электропривода ножей экструдера переработки полиэтилена Производства полиэтилен предприятия ООО «Томскнефтехим».

Ключевые слова: экструдер, механизм резки, гранулирующая головка, переработка полиэтилена, электропривод, асинхронный двигатель, скалярное управление, имитационная модель, коррекция вольт-частотной характеристики, искусственные механические характеристики, искусственные электромеханические характеристики.

Цель работы: замена устаревшего электропривода постоянного тока ножей экструдера на современный частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем А180М6 с перспективой последующего интегрирования в автоматизированную систему управления технологическим процессом дополнительной переработки полиэтилена.

Работа выполнена в текстовом редакторе *Microsoft Office Word 2013* с использованием пакета программ: *MATLAB R2018b*, *MathCAD 15*, *КОМПАС-3D V15*, *Microsoft Office Visio 2013*, *MathType 6* на белой бумаге формата А4.

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа представляет собой анализ эффективности производственного оборудования предприятия ООО «Томскнефтехим» и конкретные предложения по модернизации этого оборудования на примере электропривода ножей экструдера дополнительной переработки полиэтилена.

ООО «Томскнефтехим» входит в состав холдинга СИБУР, который является крупнейшей в России интегрированной нефтехимической компанией. Производственные площадки СИБУРа находятся более чем в 20 регионах России, а продукция реализуется потребителям в 80 странах мира. Компания имеет жесткую политику в области менеджмента и клиентоориентированности. Поэтому, невыпуск продукции из-за поломки оборудования, и как следствие не выполнение своих договорных обязательств перед потребителем является неприемлемым для компании с мировым именем. Ввиду этого СИБУР постоянно проводит модернизацию оборудования на своих производствах и инвестирует значительные средства в обновление старых и строительство новых производств.

За последние несколько лет на площадке Томскнефтехима было реализовано несколько крупных инвест-проектов. В том числе реконструкция основных производств: Производства мономеров, Производства полиэтилена и Полипропилена. На площадке постоянно действуют инвестиционные программы технического перевооружения, повышения устойчивости и увеличения надежности оборудования. Поэтому модернизация оборудования является актуальной и востребованной темой для данного производства.

Рассматриваемый в данной работе экструдер по переработки полиэтилена расположен на Установке производства и дополнительной переработки полиэтилена на основе технического углерода Производства полиэтилен. Данная линия была смонтирована и введена в эксплуатацию в 1994 году. С этого времени технологическая линия практически постоянно находилась в работе. Поэтому, к настоящему моменту сложилась ситуация, когда действующее

оборудование имеет большой моральный и физический износ и требует замену на более современное и надежное.

Выходом из данной ситуации может стать поэтапная модернизация устаревших узлов технологической линии, с внедрение новых, современных цифровых систем управления, что так же позволит увеличить уровень их автоматизации, срок службы и энергоэффективность.

Надежность и технико-экономическая рентабельность работы установки дополнительной переработки полиэтилена, предназначенной для изготовления композиций, в значительной степени определяется эффективностью работы гранулирующей головки экструдера. Кроме требований по надежности и экономичности, возможности работы на переменных режимах, к ней предъявляются специфические требования, связанные с длительной эксплуатацией, регулировкой оборотов и поддержание постоянного момента [1].

Для выполнения вышеперечисленных требований, автоматизации, энергосбережения и достижения нового, более качественного, уровня технологического процесса гранулирования композиций на основе полиэтилена необходимо спроектировать и установить для механизма резки современный частотно-регулируемый привод.

Поэтому *целью работы* будет являться модернизация электропривода ножей экструдера переработки полиэтилена 2300.2 Установки производства и дополнительной переработки полиэтилена на основе технического углерода (цех 410) Производства полиэтилен предприятия ООО «Томскнефтехим».

1. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1.1. Технологический процесс дополнительной переработки полиэтилена экструдерной линии 2300.2

Технологическая линия 2300.2 установлена в экструдером зале на отметке 7.200 корпуса 428, Производства полиэтилен. В состав технологической линии, изображенной на рисунке 1, дополнительной переработки полиэтилена 2300.2 входят следующие позиции [6]:

- Расходные бункеры 2600.1-13, 2610.1-12, 2550.1-3;
- Системы пневмотранспорта ПТ2 и ПТ3;
- Ленточные весы-дозаторами 5310.2, 5340.2;
- Загрузочная воронка со шнековым дозатором 2330.2;
- Двухшнековый экструдер;
- Гранулирующая головка;
- Насос конденсата подводной грануляции 4020.2;
- Комкоотделитель 2370.2;
- Центрифуга с отбойным ситом 2340.2;
- Секторный питатель 7110.2,14;
- Воздуходувка линии пневмотранспорта 5070.2,14;

Экструдер предназначен для получения полимеров различных рецептур. На экструдере 2300.2 получают стабилизированную композицию на основе полиэтилена, марки 153-10К. Принцип действия экструзионной линий следующий:

Гранулят полиэтилена базовой марки подается в расходные бункеры 2600.2 отделения производства композиций системами пневмотранспорта ПТ3 из бункеров 2550.1-3, 2670.1-3 или из пневматических смесителей 2540.1-4 системами пневмотранспорта ПТ2 (Рисунок 1).

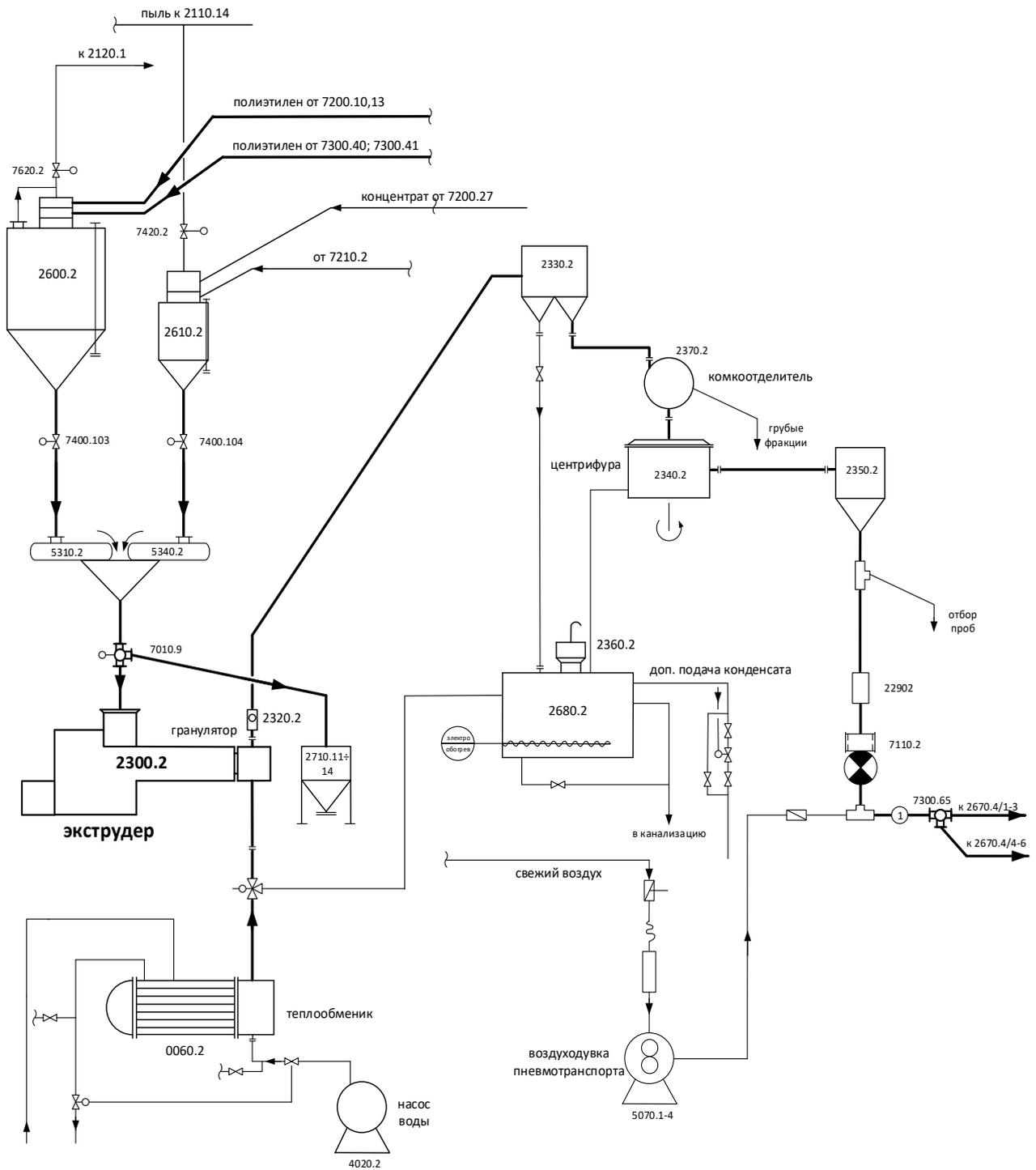


Рисунок 1. Технологическая схема производства композиции на экструдере 2300.2

Концентрат полиэтилена соответствующей рецептуры подается из корп.431 в расходные бункеры 2610.2 пневмотранспортом.

Гранулят базовой марки из бункеров 2600.2 подается в загрузочную воронку экструдера ленточными дозаторами 5310.2. Концентраты подаются в загрузочную воронку экструдеров из бункеров 2610.2 ленточными дозаторами 5340.2.

Из загрузочной воронки гранулы подаются с помощью шнека в дозирующее устройство. Далее гранулы за счет интенсивного сдвигового усилия пластифицируются, частично расплавляются, гомогенизируются, при этом добавка равномерно распределяется в массе. Далее расплав фильтруется и продавливается через фильеру.

Выходящие из фильеры стренги попадают в камеру подводного гранулирования, где режутся вращающимися ножами на гранулы размером 2-5 мм в любом направлении. Полученные гранулы уносятся грануляционной водой из камеры гранулирования. Вода в камеру гранулирования подается из емкости 2680.2 насосом 4020.2.

Полученные гранулы охлаждаются и транспортируются водой в водоотделитель 2330.2 (Рисунок 1), где отделяется основное количество воды, которая сливается в емкость 2680.2, а оставшаяся вода с гранулятом проходит через отделитель крупных частиц 2370.2, в котором крупные частицы полимера отделяются на сетчатом барабане.

Далее гранулят с водой поступает в центрифугу 2340.2 для отделения воды и осушки. Основной поток направляется на секторный питатель 7110.2.14 и подается в линию пневмотранспорта ПТ-2 для транспортировки в товарные бункеры или бункеры некондиции.

В установку пневмотранспорта ПТ-2 входят воздуходувки 5070.2, и 5070.14, из них вторая является резервной. Установка пневмотранспорта управляется по месту и дистанционно с ДПУ.

Кондиционный продукт с линий экструзии подается соответствующими системами пневмотранспорта ПТ 2 в секции товарных бункеров 2670.2.

Все электрические цепи экструдера взаимосвязаны и пуск экструдера возможен только после устранения всех неполадок и выхода параметров на соответствующий режим.

1.2. Техническое описание экструдера 2300.2

Экструдер 2300.2 представляют собой двухшнековый пресс для производства композиций полиэтилена. Изображение экструдера представлено на Рисунке 2.

Принцип действия экструдера следующей [6]. Чистый полиэтилен базовой марки 153К произведённый в 408 цехе подается в загрузочную воронку дозирующего устройство совместно с концентрированной добавкой. Далее регулируемым дозатором гранулят подается в экструдер, где захватываются двумя шнеками, вращающимися в одном направлении, подаются в разогретые зоны цилиндра, плавятся на месильных кулачках. Для увеличения перемешивания и создания в этой зоне давления после кулачков установлен элемент с обратным направлением винтовой резьбы. Расплавленный материал проходит две зоны растяжения расплава, диспергирования добавок, тщательной гомогенизации расплава, после этого расплав фильтруется через формовочное устройство и гранулируется.

Основными узлами экструдера являются:

- электродвигатель главного привода, установленный на неподвижной станине;
- редукторный узел передачи с маслостанцией и маслобаком;
- входная часть;
- технологическая часть (цилиндр, шнеки);
- приводная часть режущих ножей;
- электродвигатели управления работой экструдера.

Каждый узел экструдера имеет возможность горизонтального перемещения для разборки. Для этого они смонтированы на передвижные тележки, которые перемещаются по двум рельсам имеющих треугольный профиль для точной фиксации.

1.2.1. Устройство двухшнекового пресса

Электродвигатель постоянного тока главного привода с принудительной вентиляцией для охлаждения имеет мощность 400 кВт. Охлаждение вентиляционного воздуха обдува главного привода осуществляется в теплообменнике, в который подается вода. Число оборотов двигателя регулируется бесступенчато с пульта управления экструдера, фиксируется тахометром. Крутящий момент от вала приводного двигателя с помощью эластичной кулачковой муфты передается на понижающий редуктор, в котором крутящий момент по двум одинаковым кинематическим цепям передается на два выходных вала. Два промежуточных вала служат для передачи крутящего момента от выходных валов понижающего редуктора (передаточное число 5,898) к приводным валам основной передачи. От выходных валов основной передачи, крутящие моменты с помощью зубчатых муфт передаются на шнековые валы.

Благодаря симметричному разветвлению крутящего момента в основной передаче приводные и выходные валы свободны от радиальных усилий за счет основного редуктора (рисунок 2).

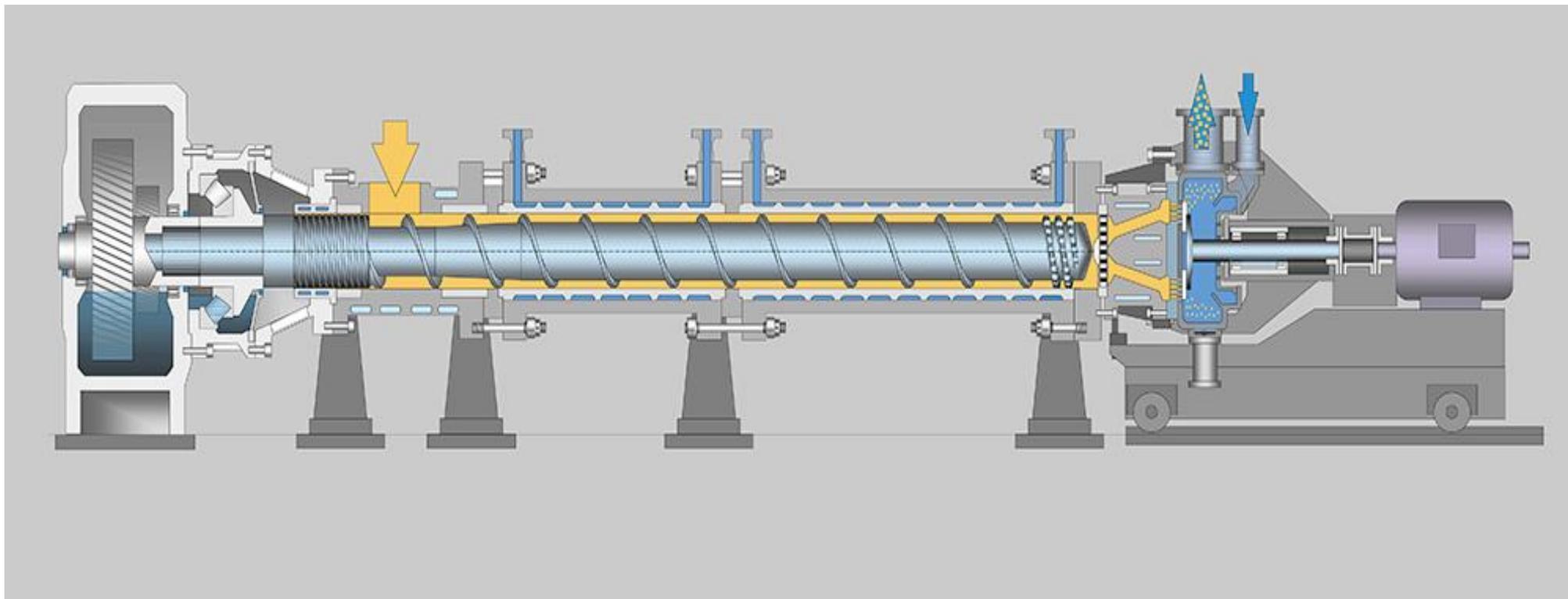
Корпус основной передачи остается свободным от осевой нагрузки, возникающей в результате перемещения расплава шнеками по цилиндру экструдера. Осевая нагрузка шнеков экструдера воспринимается подшипником противодействия. Осевое перемещение вала, которое фиксируется микровыключателем при повышении давления расплава.

Корпус основной передачи редуктора соединяется с шестисекционным цилиндром с помощью откидных хомутов.

Во время остановки экструдера при необходимости можно произвести откатывание цилиндра от станины главного привода и освободить шнеки для ремонта или технического обслуживания, не разъединяя зубчатые муфты.

Для этого сначала необходимо отсоединить от цилиндра входную часть установки гранулирования, загрузочное устройство.

Цилиндр экструдера расположен на сварной раме передвижной тележки и может быть отведен от неподвижной станины главного привода на всю длину шнека. Для передвижения цилиндра внутри сварной рамы установлены два телескопических механизма со стопорными устройствами (фиксаторами), которые управляются гидроцилиндрами. Цилиндр экструдера состоит из шести отдельных секций, соединенных между собой стягивающими болтами. Каждая секция цилиндра в своем корпусе имеет два больших горизонтально расположенных рядом друг с другом, соединяющихся в виде восьмерки, отверстия для шнеков и малые продольные поперечные отверстия для подачи, охлаждающей воды. На наружной поверхности секций, кроме секций загрузки, установлены электронагревающие тэны, закрытые теплоизоляционным кожухом. Внутренняя поверхность цилиндра и внешняя поверхность рабочих шнеков закалены по способу азотирования.



Рисунк 2. Функциональная схема экструдера производства композиции на основе полиэтилена

Расположенные в цилиндре шнеки находятся в зубчатом зацеплении друг с другом и состоят каждый из гладкого вала, на который в определенной последовательности насажены различные шнековые втулки с винтовой поверхностью или месильные кулачки, с одной стороны шнековые валы соединены через зубчатые муфты с приводными валами основной передачи и удерживается в крепежном фланце устройства для восприятия всего усилия. С другой стороны, на шнековые валы навинчены конусные наконечники, фиксирующие шнековые втулки от осевых перемещений в цилиндре.

1.2.2. Загрузочное устройство

Загрузочное устройство для подачи в экструдер гранулята смонтировано на поворотной колонне и состоит из загрузочного бункера и горизонтального шнекового дозатора с приводом.

К нижней конусной части бункера подсоединена горизонтальная камера с дозирующим шнеком, переходящая с другой стороны в нисходящую загрузочную шахту. Скорость вращения дозирующего шнека может без ступенчато регулироваться изменением числа оборотов приводного электродвигателя постоянного тока с тиристорным управлением. От скорости дозирования гранулята напрямую зависит производительность экструдера и качество получаемой композиции [3].

1.2.3. Гранулирующая головка

На передвижной раме входной части последовательно друг за другом расположены:

- присоединительная секция с встроенным пусковым клапаном;
- устройство для фильтрации расплава;
- входная секция с фильерой;
- корпус гранулирования.

Входная часть, как и цилиндр экструдера, обогревается электронагревающими элементами, но не имеет принудительного охлаждения. Обогрев входной части осуществляется в семи зонах нагрева с помощью покрывающих наружные поверхности нагревающих электролит и вставных патронов. В каждую зону нагрева вставляется термометр для измерения температуры, а в присоединительной секции, кроме того, установлен датчик для измерения давления расплава. Снаружи обогреваемые поверхности входной части закрыты ограждающими кожухами [6].

Присоединительная секция с помощью встроенного в нее двухходового клапана позволяет направлять поток расплавленного полиэтилена из цилиндра экструдера по одному из двух направлений:

- к фильере в корпус гранулирования;
- под тележку входной части.

Когда при первоначальном пуске и наладке экструдера из цилиндра выходит некачественный расплав, пусковой клапан присоединительной секции устанавливаются так, что расплав выпускается наружу и сбрасывается под тележку вниз входной части. Поворотом на 90° с помощью гидроцилиндра пусковой клапан переводится в рабочее положение, при котором расплав из цилиндра поступает через фильеру в камеру гранулирования. Гидроцилиндр пускового клапана приводится в действие гидроприводом, установленным на тележке приводной части установки гранулирования.

В секции входной части расположено устройство для фильтрации расплава, очищающее его от различных загрязнений и тем самым, предотвращая забивку отверстия фильеры.

Устройство для фильтрации расплава состоит из корпуса, в котором с помощью гидроцилиндра передвигается шибер со сменными сетчатыми дисками.

Входная секция и корпус гранулирования, неразъемно-соединенные друг с другом, служат для равномерной подачи расплава к фильере и выдавливания расплава через фильеру и проведения непрерывного процесса гранулирования в

потоке охлаждающего конденсата. Внутри входной секции по оси движения расплава установлен наконечник корпуса, примыкающий в основании к корпусу фильеры (предназначен для рассекания потока расплава). Фильера экструдера (рисунок 2) 2300.2 имеет 110 отверстий диаметром 2.8 мм. К ней присоединяется камера подводного гранулирования. Конус присоединяется к приемнику патронов, расположенному в центральной части фильеры. Со стороны корпуса гранулирования к фильере вплотную примыкает сменное кольцо решетки, к которому при работе прижаты вращающиеся режущие ножи. Качество прижатия ножей к решетке и процесс гранулирования можно контролировать визуально через смотровое стекло в корпусе гранулирования. Сверху к корпусу гранулирования подведены два трубопровода для входа и выхода конденсата подводной грануляции, причем на выходящей трубе имеется смотровой фонарь для визуального контроля. Внизу расположена выпускная трубка с запорным клапаном для освобождения камеры гранулирования от гранводы.

Для проведения работ по обслуживанию в корпусе гранулирования имеется внутреннее освещение и открывающаяся дверца. Кроме того, имеется возможность отвести в сторону от корпуса гранулирования приводную часть установки гранулирования. Для этого необходимо освободить откидные болты на крышке корпуса гранулирования и вручную откатить тележку приводной части по направляющим рельсам на требуемое расстояние. На тележке приводной части установки гранулирования находится привод ножей, соединенный с валом кассеты режущих ножей, а также гидроагрегат для перевода пускового клапана и подвода гранулирующих ножей. В качестве приводного двигателя режущих ножей используется электродвигатель постоянного тока параллельного возбуждения с тиристорным управлением, который и является объектом нашего исследования, благодаря которому без ступенчато регулируется скорость вращения ножей. Вал электродвигателя через соединительную муфту связан с приводной цапфой, которая расположена на шлицевом валу, за счет которого возможно осевое перемещение ножевого вала.

Режущие ножи подводятся и отводятся от решетки с помощью рабочего гидроцилиндра, который приводится в действие от гидропривода, смонтированного на тележке гранулятора.

Гидропривод представляет собой резервуар, в котором установлены шестеренчатый насос, нагнетающий масло к рабочему гидроцилиндру пускового клапана и установки ножей. Регулировкой давления гидравлического масла выбирается оптимальная сила прижатия ножей к решетке фильеры, она не должна превышать 1,5 Мпа. При помощи дополнительного дросселя, в составе гидропривода, так же регулируется и скорость подвода ножей.

1.3. Параметры экструдера 2300.2

Основными параметрами для расчета привода ножей экструдера являются: его производительность, конструктивные особенности фильеры (решетки гранулятора), технические данные гранулирующей головки (количество ножей, геометрические размеры, частота вращения. Технические данные экструдера переработки полиэтилена 2300.2 сведены в таблицу 1, а данные гранулирующей головки в таблицу 2.

Таблица 1. Технические данные экструдера 2300.2

Производительность экструдера $Q, \text{кг/ч}$	Давление расплава $P, \text{МПа}$	Температура расплава $T, \text{°C}$	Кол-во отверстий фильеры $Z, \text{шт}$	Диаметр отверстий фильеры $d, \text{м}$
1000	23	250	100	0.0028

Таблица 2. Технические данные гранулирующей головки

Кол-во ножей режущей кассеты $K_H, \text{шт}$	Линейны размер гранул, м	Максимальная рабочая частота вращения $n_{НОЖ}, \text{об/мин}$	КПД механизма $\eta_{НАС}, \%$	Момент инерции механизма $J_{НОЖ}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$
10	0.003	900	84	0.12

Так же, важное значение для правильного подбора привода, имеют характеристики производимой композиции. Такие как, ПТР (показатель текучести расплава), рабочая температура расплава, плотность и прочность при разрыве. Характеристики производимой композиции 153-10К приведены в таблице 3.

Таблица 3. Технические данные композиции 153-10К

Плотность, кг/м ³	Показатель текучести расплава, г/10 мин	Максимальная рабочая частота вращения $n_{НОЖ}$, об/мин	Прочность при разрыве, МПа, не менее	Температура гранулирования T , °C
910	0,21-0,39	900	13,7	210

Кинематическая схема производственного механизма – привод ножей экструдера переработки полиэтилена представлена на рисунке 3.

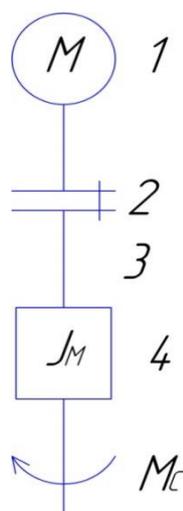


Рисунок 3. Кинематическая схема электропривода ножей экструдера 2300.2

- 1 – M – асинхронный электродвигатель;
- 2 – соединительная муфта;
- 3 – вал механизма
- 4 – J_M – механизм со своим моментом инерции.

2. ОБОСНОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА

Технологическая линия 2300.2 используется на производстве «Томскнефтехим» для получения композиции полиэтилена марки 153-10К [6]. Согласно ГОСТ 16336-2013, марка 153-10К – композиция черного цвета стойкая к термоокислительному старению при переработке и эксплуатации, а также стойкая к фотоокислительному старению при эксплуатации. Рекомендуется для наложения изоляции, оболочек и защитных покровов кабелей. Поскольку данная марка полиэтилена используется для производства кабельной продукции она пользуется стабильным большим спросом на российском и зарубежном рынке и остается востребованной на протяжении многих лет. Поэтому компания заинтересована в стабильной и безотказной работе технологической линии и готова инвестировать в модернизацию оборудования и замену «уставших» узлов установки.

2.1. Обоснование выбора частотно-регулируемого электропривода

Существует ряд факторов, которые обуславливают необходимость модернизации электропривода ножей технологической линии производства композиций 2300.2 предприятия ООО «Томскнефтехим»:

I. Установленный на данный момент электропривод постоянного тока не позволяет гарантировать без аварийную работу технологической линии. Экструдер 2300.2 был смонтирована и введен в эксплуатацию в 1994 году. С этого времени технологическая линия практически постоянно находилась в работе. Поэтому к настоящему моменту сложилась ситуация, когда действующее оборудование имеет большой моральный и физический износ.

Это приводит к частым аварийным остановкам технологической линии и к значительным финансовым потерям связанными с недовыпуском продукции. Простой линии из-за отказа электрооборудования в 2018 году, по данным

эксперта по надежности Службы главного энергетика ООО «Томскнефтехим», составил 348 часов. Около 30 % этих остановок связаны с поломкой электропривода ножей экструдера. Недовыпуск продукции при этом составил 105 тон за год.

Кроме прямых финансовых показателей, снижаются также показатели производительности труда и надежности электрооборудования. Так же недовыпуск продукции негативно сказывается на репутации компании в целом, поскольку приводит к невыполнению договорных обязательств с потребителями. А поскольку у холдинга Сибур достаточно жесткая политика в области менеджмента и компания придерживается принципа клиентоориентированности, такая ситуация является неприемлемой.

Для решения данной проблемы необходима поэтапная комплексная замена физически изношенного оборудования [3].

Наиболее современным решением является регулирование с помощью преобразователя частоты (ПЧ), который позволит плавно регулировать частоту вращения асинхронного электродвигателя.

Достоинства управления с помощью ПЧ:

- возможно поддержание необходимой частоты вращения режущих ножей гранулирующей головке экструдера переработки полиэтилена, что является одним из важнейших технических требования, предъявляемых к электроприводу гранулятора 2300.2;

- при необходимости возможна регулировка частоты вращения электродвигателя оператором вручную в заданном диапазоне с местного пульта управления;

- КПД механизма резки гранул 2300.2 в диапазоне регулирования остается максимальным;

- повышается уровень автоматизации, появляется перспектива интеграции в систему управления более высокого уровня.

II. Электрический привод ножей выбран в расчете на максимальную производительность экструдера $Q=1000$ кг/ч и оснащен двигателем постоянного

тока с номинальной рабочей частотой вращения 1500 об/мин. Таких оборотов двигателя не требуется для производства композиции 153-10К. Реальная рабочая частота вращения ножей составляет 600-900 об/мин [5]. Это говорит о том, что установленный привод постоянного тока работает не эффективно и имеет низкий КПД. Что приводит к значительным потерям электроэнергии.

III. Электрический привод постоянного тока из-за наличия коллекторного двигателя требует постоянного технического обслуживания. Щеточно-коллекторный узел машины постоянного тока является слабым звеном привода из-за низкой надежности и необходимость постоянного контроля за щеточным аппаратом и своевременной замены изношенных щеток и обслуживания машины.

Данная проблема приводит к необходимости постоянно останавливать работу технологической линии для регламентированного технического обслуживания. Время планового простоя экструдера 2300.2 для проведения технического обслуживания электрооборудования за 2018 год, по данным инженера по эксплуатации, составило 576 часов. Это снижает производительность всей линии и требует привлечение дополнительного обслуживающего персонала производства. Что в свою очередь сказывается на экономических показателях компании, таких как производительность труда и себестоимость продукции.

IV. Еще одним важным недостатком аналогового привода постоянного тока является низкая невозможность интеграции его в современные системы автоматизированного управления технологическим процессом (АСУ ТП). Причинами этому является отсутствие в морально и технически устаревшем электроприводе цифровых интерфейсов связи. Сибур инвестирует значительные средства в модернизацию систем управления производством. В компании действует инвестиционная программа цифровизации производства. Это приводит к необходимости замены устаревшего оборудования на современный привод переменного тока с управлением от преобразователя частоты.

Упрощенная функциональная схема управления ножами экструдера производства композиции 2300.2 с помощью преобразователя частоты изображена на рисунке 4.

На вход системы подаются сигналы задания скорости, получаемый с пульта управления экструдера. Под воздействием этого сигнала задания ПЧ изменяет скорость вращения электродвигателя режущего механизма экструдера.

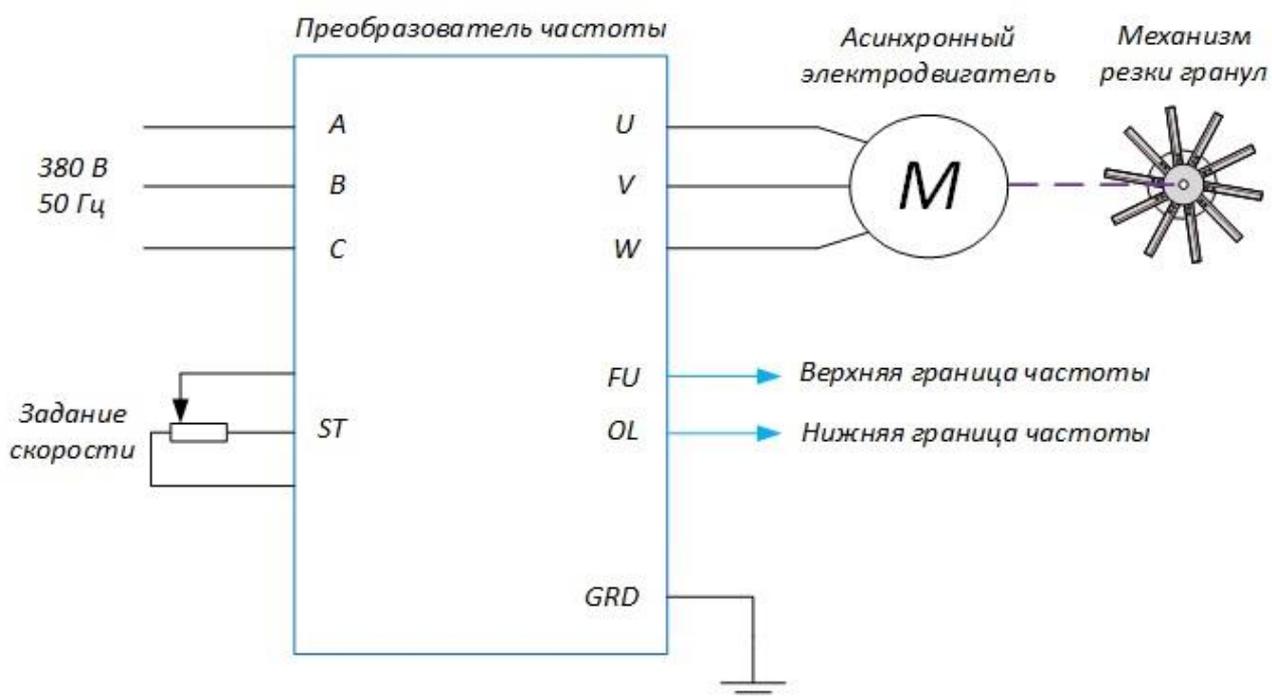


Рисунок 4. Упрощенная функциональная схема управления ножами экструдера 2300.2 с помощью преобразователя частоты.

2.2. Выбор способа и закона частотного регулирования

Под частотным управлением понимается управление электродвигателем переменного тока путем изменения амплитуды и частоты питающего напряжения, подаваемого на электродвигатель [11].

Для осуществления технологического процесса резки гранул композиции полиэтилена частота вращения ножей зависит от физических свойств производимой композиции и от производительности экструдера. В любом случае, частота вращения ножей находится в пределах от 400 до 950 об/мин. Поэтому для управления приводом требуется небольшой диапазон (менее 10) регулирования скорости электродвигателя.

В качестве способа управления выберем, более дешевый, разомкнутый скалярный с коррекцией вольт-частотной характеристики способ регулирования скорости приводного электродвигателя ножей экструдера [10].

Данный способ управления позволит плавно изменять скорость вращения ножей экструдера 2300.2 в соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми к электроприводу и повысить пусковой момент приводного электродвигателя на малых скоростях до требуемых значений.

Поскольку диаметр и количество стренгов полиэтилена проходящих через фильеру и свойства полимера остаются постоянными и не зависят от производительности экструдера, то момент, требуемый для резки стренгов будет также постоянным. Это значит, что характер основной полезной нагрузки на привод не зависит от частоты вращения ножей.

Принимая во внимание вышесказанное в качестве закона частотного

управления принимаем закон: $\frac{U}{f} = const$.

2.3. Функциональная схема регулируемого электропривода

Выбираем для регулирования параметров электропривода ножей экструдера тип преобразователя частоты (ПЧ). Самым распространённым преобразователем на сегодняшний день является преобразователь с промежуточным звеном постоянного тока. Функциональная схема силовой части такого преобразователя представлена на рисунке 5.

Основной особенностью данного типа преобразователей частоты производится двукратное преобразование напряжения сети: сначала оно выпрямляется в постоянное напряжение (звено UD), а затем при помощи инвертора (звено UZ) постоянное напряжение преобразуется в переменное напряжение необходимой частоты и амплитуды. В звене постоянного тока необходимо включать сглаживающий фильтр Z , для снижения пульсации выпрямленного напряжения.

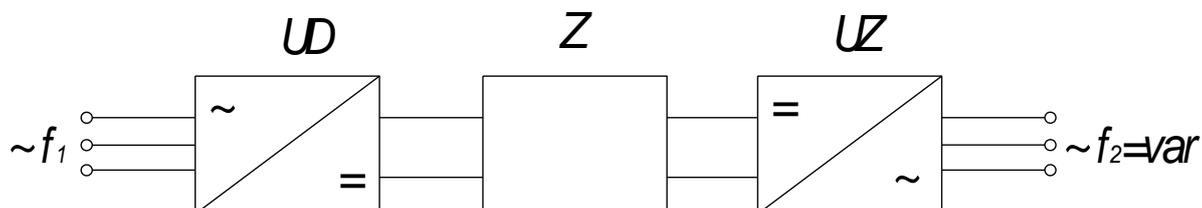


Рисунок 5. Функциональная схема силовой части преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока

Главными достоинствами ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока являются, во-первых, возможность получения на его выходе за счет автономного инвертора практически любой (требуемой в практике) изменяемой в широких пределах частоты, независимо от частоты питающей сети, во-вторых, его относительная дешевизна по сравнению со многими другими ПЧ. Основной недостаток – это двукратное преобразование энергии, что снижает его КПД и увеличивает массу и габариты [11].

Исходя из всего вышесказанного, функциональная схема реализации асинхронного частотно-регулируемого электропривода ножей экструдера переработки полиэтилена 2300.2 со скалярным управлением без датчика скорости с $U/f=\text{const}$ законом управления приведена на рисунке 6.

Функциональная схема строится по модульному принципу. Модули (платы) расширения содержат в своем составе аналоговые и дискретные входы и выходы, а также интерфейсы связи.

Основными элементами функциональной схемы частотно-регулируемого электропривода ножей экструдера со скалярным управлением являются: асинхронный электродвигатель, силовая часть преобразователя частоты, блок управления преобразователем, формирователь $\frac{U}{f}$ – характеристики, блок U_d - коррекции управления напряжением инвертора, линейный задатчик интенсивности скорости

Надежная работа преобразователя частоты во многом определяется как надежностью применяемых ключей, так и организацией правильного управления и защиты силовых модулей. Эти функции и обеспечиваются драйверами.

Для повышения момента приводного двигателя на малых скоростях вращения ножей экструдера в преобразователе предусмотрена функция повышения начального значения выходного напряжения (начального напряжения вольт-частотной характеристики) для этого применяются модули U_d – коррекции. В результате происходит увеличение пускового момента двигателя [8].

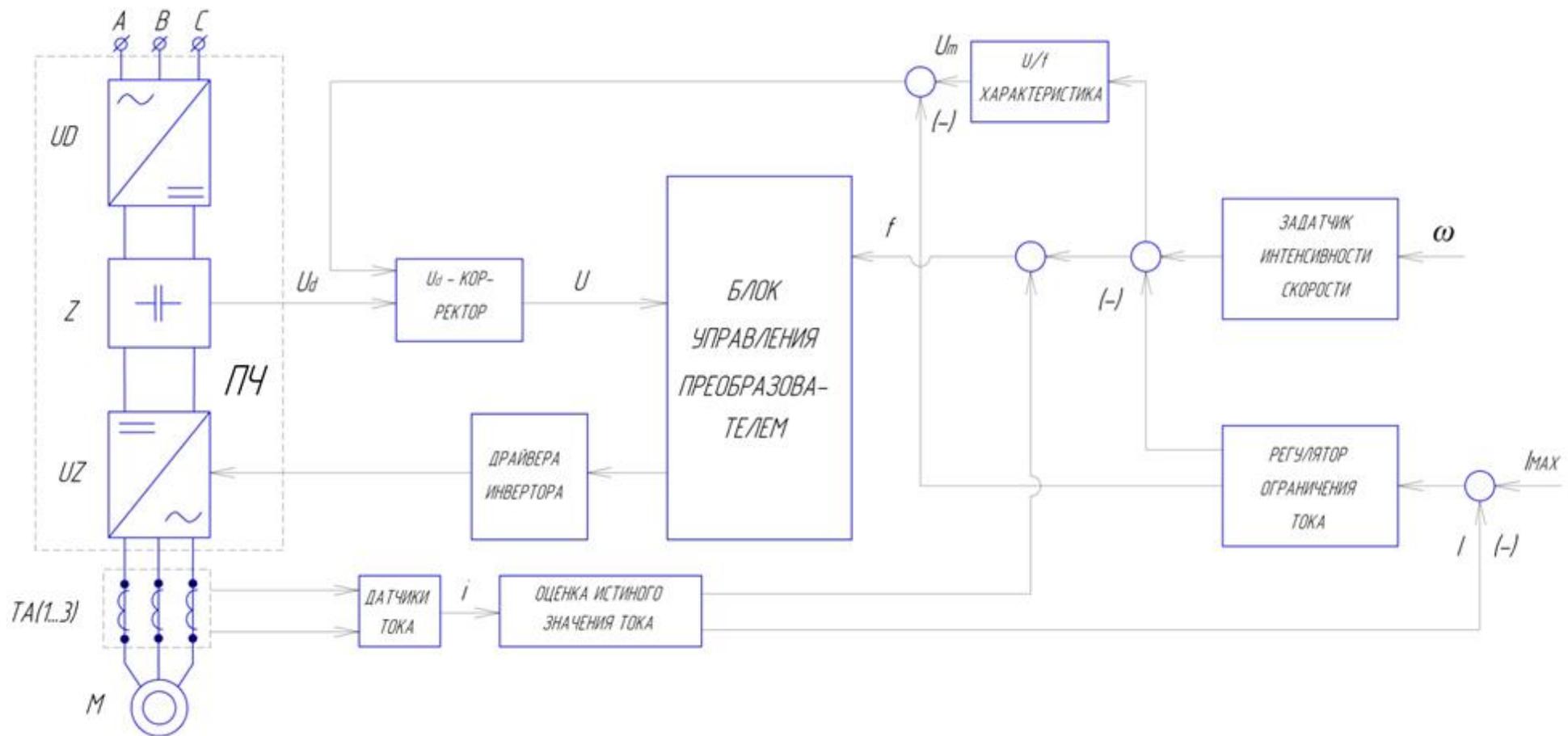


Рисунок 6. Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода ножей экструдера

Ограничение тока двигателя с помощью датчика и регулятора тока необходимо при кратковременных перегрузках приводного двигателя ножей экструдера. Это исключит аварийное отключение привода ножей средствами защитной аппаратуры. Для защиты преобразователя частоты VLT FC-302 фирмы «Danfoss» и приводного электродвигателя A180M6 от перегрузки по току, а механизма резки от перегрузки по моменту используется ограничитель тока. Регулятор ограничения тока работает только тогда, когда ток обмотки статора электродвигателя превышает установленное значение. При этом ограничитель тока может уменьшать выходное напряжение преобразователя и частоту отдаваемого напряжения. Целесообразно одновременно уменьшать и то и другое поддерживая тем самым постоянный момент электродвигателя.

Для ограничения тока двигателя в пуско-тормозных режимах электропривода ножей экструдера 2300.2 применяется задатчик интенсивности (ЗИС), который устанавливается на входе электропривода в канале задания скорости.

Для электромеханической системы (рисунок б) настроечными параметрами являются: тип и параметры ЗИС, максимальный ток регулятора ограничения тока, значение минимальной частоты ПЧ, закон регулирования $\frac{U}{f}$ и коррекция вольт-частотной характеристики.

3. МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НОЖЕЙ ЭКСТРУДЕРА 2300.2

3.1. Обоснование расчета мощности привода режущего механизма

При резке гранул наиболее важно значение в плане технологии процесса имеет частота вращения ножей [1]. От нее зависит геометрический размер гранул, который строго нормирован ГОСТом, а также качество самой резки. При низкой частоте вращения ножей расплав может размазываться на решётке и прилипать к ножу. Для устранения этого дефекта частота вращения ножа должна быть достаточной, чтобы сила инерции преодолевала силу адгезии.

На рассматриваемом экструдере тех. позиция 2300.2 для гранулирования полиэтилена используется подводная грануляция (рисунок 2). Процесс резки гранул происходит в камере заполненной водой. Это означает, что ножи при вращении дополнительно преодолевают силу сопротивления воды, и это необходимо учитывать при расчете и выборе электродвигателя и электропривода.

Момент, создаваемый приводным двигателем механизма резки, расходуется:

1. Непосредственно на резку стренгов полиэтиленовой композиции подаваемых через фильер (полезная работа);
2. Преодоление вращающимися ножами сопротивление воды в камере подводной грануляции;
3. Механические потери в редукторе и подшипниках;
4. Преодоление сопротивления, вызванного трением вращающихся ножей о фильеру.

Последним пунктом можно пренебречь, поскольку он имеет место, только в первый момент времени, при подводе ножей к фильере. Далее расплав, проходящего через фильеру под давлением, давит на нож в момент срезания и

прохождения ножа над отверстием решётки и тем самым немного отодвигает его. Нормальная величина зазора между ножом и фильерой колеблется в пределах 15-50 мкм [2].

3.2. Расчет мощности необходимой для резки полиэтилена

Исходные технические данные экструдера и механизма резки, необходимые для расчета:

- массовая производительность экструдера:

$$Q_B = 1000 \text{ кг/час ;}$$

- плотность материала при температуре расплава:

$$\rho = 910 \text{ кг/м}^3;$$

- диаметр отверстия в фильере:

$$d_p = 2.8 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

- число отверстий в фильере:

$$z = 110$$

- число ножей механизма резки:

$$K_H = 10$$

- Длина гранул, образующихся при гранулировании:

$$L_{gp} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Определим скорость экструзии полимера через фильеру [3]:

$$u = \frac{4 \cdot Q_B}{60 \cdot \pi \cdot d_p^2 \cdot \rho \cdot z} = \frac{4 \cdot 16.67}{60 \cdot 3.14 \cdot (2.8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 910 \cdot 110} = 0.45 \text{ м/с}$$

где

$$Q_B = \frac{1000}{60} = 16.67 \text{ кг/мин}$$

Частота вращения ножей, необходимая для получения гранул нужной длины ($L_{gp} = 3 \text{ мм}$):

$$n = \frac{60 \cdot u}{K_H \cdot L_{gp}} = \frac{60 \cdot 0.45}{10 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} = 902 \text{ мин}^{-1}$$

Если полимер имеет высокий показатель текучести расплава (ПТР), как в нашем случае, сила адгезии расплава к ножу возрастает. Необходимо подбирать для каждой пластмассы оптимальный угол заточки ножа и зазор между ножом и решеткой гранулятора.

Частота вращения режущих ножей также зависит от свойств перерабатываемого материала, однако рекомендуется принимать не более 1500 мин^{-1} во избежание быстрого износа ножей и фильеры ($5 - 23 \text{ м/с}$).

Принимаем $n = 900 \text{ мин}^{-1}$

Линейная скорость ножа в средней его части:

$$U_H = \frac{\pi \cdot R \cdot n}{30} = \frac{3.14 \cdot 0.13 \cdot 900}{30} = 12.25 \text{ м/с}$$

где $R = 130 \text{ мм}$ - радиус держателя ножа или расстояние от оси вращения ножа до средней точки резания.

Усилие резания всех стренгов выходящих из фильеры, равно:

$$F_{рез} = 0.785 \cdot k_1 \cdot z \cdot d_p^2 = 0.785 \cdot 97 \cdot 10^4 \cdot 110 \cdot (2.8 \cdot 10^{-3})^2 = 656.7 \text{ Н}$$

где $k_1 = 970 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$ - коэффициент учитывающий сопротивление материала (зависит от материала и режима переработки);

Необходимая мощность привода N (кВт) для гранулирующих ножей при горячей резке приближенно может быть определена по формуле:

$$P_{НОЖ} = \frac{F_{рез} \cdot U_H}{10^3 \cdot \eta} = \frac{656.7 \cdot 12.25}{10^3 \cdot 0.84} = 9.58 \text{ кВт}$$

где $\eta = 0.84$ - коэффициент полезного действия механизма резки;

Если производительность экструзионной машины отличается от расчетной, то частоту вращения ножей регулируют так, чтобы сохранить постоянную величину гранул:

$$n' = n \cdot \frac{Q'}{Q}$$

где n' – новая частота вращения при производительности Q' ; Q' – новая производительность экструдера.

Момент, требуемый для механизма резки:

$$M_{рез} = F_{рез} \cdot R = 656.7 \cdot 0.13 = 85.4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Таким образом момент нагрузки гранулятора зависит только от свойств полимера и остается постоянным вне зависимости от оборотов ножей. Однако при этом существует несколько ограничений по частоте вращения ножей гранулятора [3]:

1. Частота вращения прямо пропорциональна производительности экструдера, то есть зависит от скорости экструзии. Это необходимо для сохранения геометрических размеров гранул.
2. При резке гранул расплав может размазываться на решётке и прилипать к ножу. Для устранения этого дефекта частота вращения ножа должна быть достаточной, чтобы сила инерции преодолевала силу адгезии.
3. Чем выше скорость вращения, тем больше скорость износа ножей и фильеры. Во избежание быстрого износа рекомендуется принимать частоту вращения не более 1500 об/мин.

3.3. Расчет сопротивления воды в камере гранулятора

Сила сопротивления среды движению одной лопасти-ножа равна [2]

$$X_B = C_{хл} \cdot \frac{\rho \cdot U_H^2}{2} \cdot S_{л} = 0.85 \cdot \frac{988.1 \cdot 12.25^2}{2} \cdot 10^{-3} = 50.1 \text{ Н}$$

где $C_{хл}$ – коэффициент сопротивления лопасти, учитывающий ее форму в плане, форму профиля, угол атаки и качество обработки поверхности. Принимаем $C_{хл} = 0.85$, поскольку нож не имеет специальной обтекаемой

аэродинамической формы, а представляет по сути прямоугольный параллелепипед с незначительным скосом лобовой части (угол атаки ножа 72°). Специальная обработка и покрытие поверхности так же отсутствует;

U_H – линейная скорость ножа в средней его точке, при максимально возможных рабочих оборотах гранулятора $n = 900 \text{ мин}^{-1}$

$$U_H = 12.25 \text{ м/с}$$

ρ – плотность воды при рабочей температуре 50°C

$$\rho = 988.1 \text{ кг/м}^3$$

$S_{\text{л}}$ – площадь лопасти в плане

$$S_{\text{л}} = 100 \cdot 10 = 10^3 \text{ мм}^2 \text{ или } S_{\text{л}} = 10^{-3} \text{ м}^2$$

Момент сопротивления вращения ножей в воде

$$M_{\text{С.В.}} = X_B \cdot R \cdot K_H = 50.1 \cdot 0.13 \cdot 10 = 65.1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где $K_H = 10$ – количество ножей режущей кассеты.

Мощность, теряемая на сопротивление воды при вращении на максимальных рабочих оборотах (900 об/мин):

$$P_{\text{С.В.}} = \frac{M_{\text{С.В.}} \cdot \omega_{\text{max}}}{10^3} = \frac{65.1 \cdot 94.2}{10^3} = 6.13 \text{ кВт}$$

где ω_{max} – максимальные обороты ножей

$$\omega_{\text{max}} = \frac{\pi \cdot n}{30} = 94.2 \text{ рад/сек}$$

3.4. Выбор электродвигателя для привода ножей

Условиями выбора приводного электродвигателя ножей экструдера 2300.2 являются:

1. Электродвигатель выбираем общепромышленного (общего) назначения серии А с самовентиляцией со степень защиты $IP54$, что удовлетворяет техническим требованиям к регулируемому электроприводу.

2. Номинальная скорость электродвигателя выбирается исходя из условия $\omega_{\text{дв.н}} \geq \omega_{\text{эл.макс}}$, что требует регулирования скорости двигателя в первой зоне ($f_{\text{и}} \leq 50$ Гц), где $\omega_{\text{эл.макс}} = \omega_{\text{нас}}$.

3. Мощность электродвигателя выбирается в соответствии с зависимостями длительно допустимого и кратковременно допустимого тока и момента или мощности двигателя в функции скорости.

4. Номинальная мощность электродвигателя выбирается в режиме длительной работы в соответствии со следующим условием $P_{\text{дв.н}} \geq P_{\text{дв.потр}}$, где $P_{\text{дв.потр}} = P_{\text{полн}}$.

Электропривод режущего механизма экструдера, исходя из технических требований к нему, работает в режиме S1 – продолжительная работа с постоянной нагрузкой. Поэтому электродвигатель режущего механизма по мощности выбирается из условия работы ножей с максимальной производительностью.

Полная мощность электродвигателя ножей гранулирующей головки экструдера поз. 2300.2 равна:

$$P_{\text{полн}} = k_3 \cdot (P_{\text{нож}} + P_{\text{с.в.}}) = 1.1 \cdot (9.58 + 6.13) = 17.3 \text{ кВт},$$

где k_3 – коэффициент запаса, принимаем $k_3 = 1.1$.

При максимальной рабочей скорости $n_{\text{нож}} = 900$ об/мин ближайшим по мощности является электродвигатель А180М6, номинальная мощность которого равна 18.5 кВт.

Выбираем электродвигатель А180М6 У3, степень защиты IP54.

Технические данные выбранного электродвигателя сведены в таблице 4.

Таблица 4. Технические данные электродвигателя

Типоразмер	$n_0, \text{об/мин}$	$U_{1Н}, \text{В}$	$P_{\text{ДВ.Н}}, \text{кВт}$	При номинальной нагрузке			$J_{\text{ДВ}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$
				$s_{\text{Н}}, \%$	$\cos\varphi_{\text{Н}}$	$\eta_{\text{Н}}, \%$	
A180M6	970	380	18.5	3	0.85	89	0.090

Продолжение таблицы 4

$m_{\text{П}} = \frac{M_{\text{ПУСК}}}{M_{\text{Н}}}$	$m_{\text{К}} = \frac{M_{\text{МАКС}}}{M_{\text{Н}}}$	$m_{\text{М}} = \frac{M_{\text{МИН}}}{M_{\text{Н}}}$	$k_{\text{ДВ}} = \frac{I_{\text{ПУСК}}}{I_{\text{Н}}}$	Степень защиты
2.2	3.0	1.9	6.0	IP54

3.5. Расчетная схема замещения механизма

В приведенной расчетной схеме все инерционные элементы осуществляют один и тот же вид движения, а именно вращательный.

Расчетная схема замещения механической системы электропривода ножей экструдера 2300.2 (рисунок 7) может быть представлена в виде одномассовой системы.

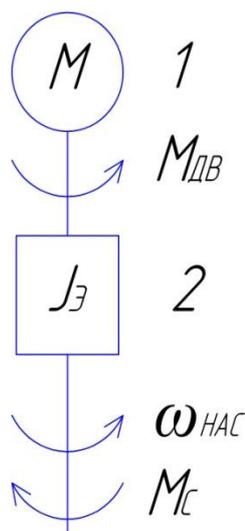


Рисунок 7. Расчетная схема механической системы электропривода ножей экструдера переработки полиэтила

На схеме рисунок 7 приняты следующие обозначения:

1 – M – асинхронный электродвигатель;

2 – $J_{\text{Э}}$ – эквивалентный момент инерции привода, приведенный к валу электродвигателя;

$M_{\text{дв}}$ – вращающий момент, развиваемый на валу электродвигателя;

M_C – момент нагрузки с учетом потерь в механизме, приведенный к валу двигателя;

$\omega_{\text{НОЖ}}$ – угловая скорость.

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 1000}{30} = 104.7 \text{ рад/с} .$$

Номинальная угловая частота вращения режущего механизма

$$\omega_{\text{дв.н}} = \omega_{\text{эп.макс}} = (1 - s_{\text{Н}}) \cdot \omega_0 = (1 - 0.03) \cdot 104.7 = 101.5 \text{ рад/с} .$$

Эквивалентный момент инерции электропривода

$$J_{\text{Э}} = 1.1 \cdot J_{\text{дв}} + J_{\text{НОЖ}} = 1.1 \cdot 0.09 + 0.22 = 0.31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 ,$$

где $J_{\text{дв}} = 0.09 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент инерции электродвигателя А180М6;

$J_{\text{НОЖ}} = 0.22 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент инерции механизма резки.

3.6. Расчет дополнительных параметров электродвигателя

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 1000}{30} = 104.7 \text{ рад/с} .$$

Номинальная частота вращения двигателя

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - s_{\text{Н}}) \cdot n_0 = (1 - 0.03) \cdot 1000 = 970 \text{ об/мин}$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{18.5 \cdot 10^3}{101.5} = 182.27 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_k = m_k \cdot M_{дв.н} = 3 \cdot 182.27 = 546.81 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске (по паспортным данным)

$$M_{дв.пуск} = m_{п} \cdot M_{дв.н} = 2.2 \cdot 182.27 = 400.1 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Соединение обмоток согласно паспортным данным для данного электродвигателя - звезда, следовательно, для расчета номинального фазного напряжения следует принять:

$$U_{1н} = \frac{U_{1лн}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В} .$$

Ток, потребляемый двигателем из сети в номинальном режиме работы

$$I_{1лн} = I_{1фн} = \frac{P_{дв.н}}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{18.5 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.85 \cdot 0.89} = 37.05 \text{ А} .$$

3.7. Расчет параметров схемы замещения электродвигателя

Расчет коэффициентов математической модели сводится к определению параметров схемы замещения асинхронной машины по данным каталога.

Определение параметров схемы замещения будем проводить при следующих основных допущениях [7]:

- магнитные и механические потери в двигателе составляют $0.02 \cdot P_{дв.н}$;
- активные сопротивления статорной и роторной обмоток полагаются независимыми от режима работы двигателя, т.е. эффекты вытеснения тока не учитываются.

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя воспользуемся его математической моделью, соответствующей простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя Т-образной схеме замещения [4].

Т – образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы приведена на рисунке 8.

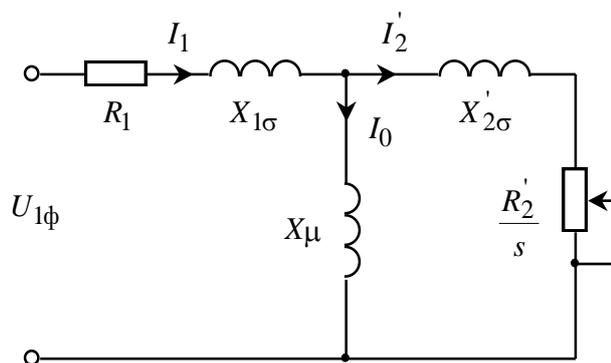


Рисунок 8. Схема замещения асинхронного двигателя

Рассчитывается ток холостого хода асинхронного двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(k_3 \cdot I_{1нн} \cdot \frac{1-s_H}{1-k_3 \cdot s_H} \right)^2}{1 - \left(k_3 \cdot \frac{1-s_H}{1-k_3 \cdot s_H} \right)^2}},$$

где I_{11} – ток статора двигателя при частичной нагрузке.

$$I_{11} = \frac{k_3 \cdot P_{дв.н}}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_{k_3} \cdot \eta_{k_3}} = \frac{0.75 \cdot 18.5 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.843 \cdot 0.89} = 28.02 \text{ А},$$

где $k_3 = 0.75$ – коэффициент загрузки двигателя;

$\eta_{k_3} = \eta_H = 0.89$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке;

$\cos \varphi_{k_3} = \cos \varphi_{0.75} = \cos \varphi_H \cdot 0.98 = 0.86 \cdot 0.98 = 0.843$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке (исходя из рисунка 9).

Поскольку большинство электродвигателей проектируются на работу с неполной нагрузкой (на 10-15% меньше номинальной) КПД при номинальной нагрузке и частичной нагрузке практически равны между собой.

– коэффициент мощности при той же нагрузке значительно отличается от коэффициента мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие в значительной степени зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости [8], приведенной на рисунке 9.

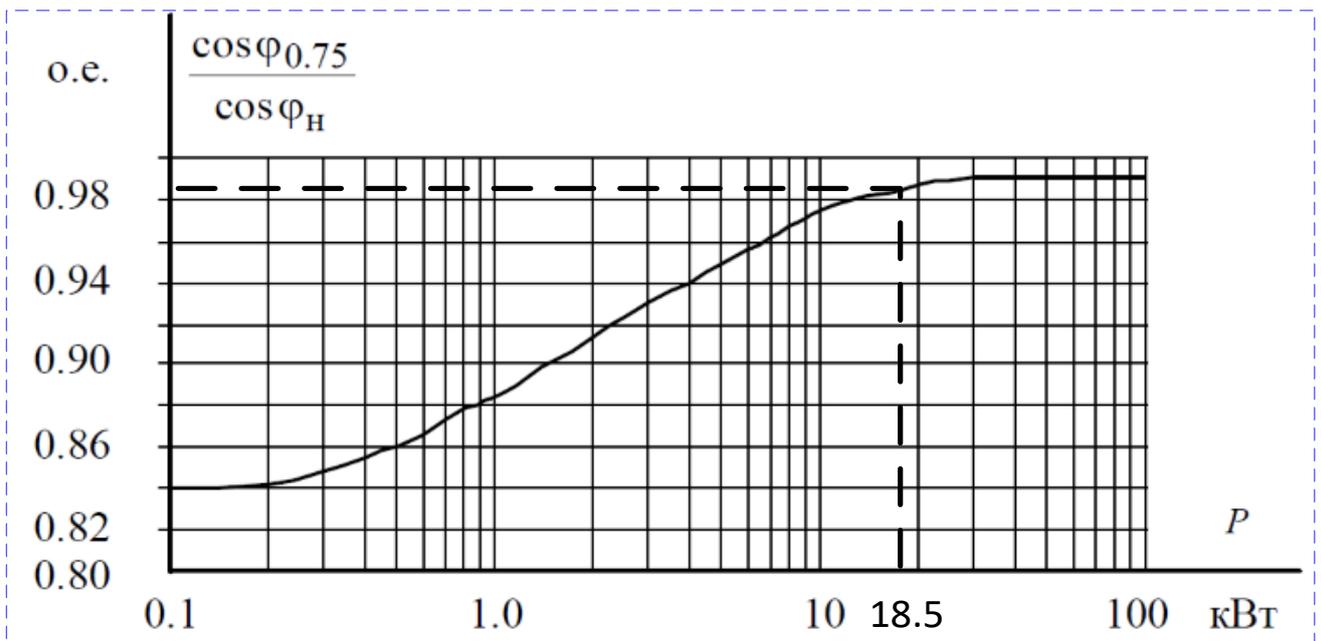


Рисунок 9. График зависимости $\cos \varphi_{0.75} / \cos \varphi_H$ от мощности асинхронного двигателя

Тогда, ток холостого хода асинхронного электродвигателя можно найти из выражения:

$$I_0 = \sqrt{\frac{28.02^2 - \left(0.75 \cdot 37.05 \cdot \frac{1-0.03}{1-0.75 \cdot 0.03}\right)^2}{1 - \left(0.75 \cdot \frac{1-0.03}{1-0.75 \cdot 0.03}\right)^2}} = 7.45 \text{ A.}$$

Критическое скольжение по формуле Клосса, принимая в первом приближение $\beta=1$:

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

$$= 0.03 \cdot \frac{3 + \sqrt{3^2 - [1 - 2 \cdot 0.03 \cdot 1 \cdot (3 - 1)]}}{[1 - 2 \cdot 0.03 \cdot 1 \cdot (3 - 1)]} = 0.199.$$

Определяются значения коэффициентов

$$C_1 = 1 + \left(\frac{I_0}{2 \cdot k_{iДВ} \cdot I_{1лн}}\right) = 1 + \left(\frac{7.45}{2 \cdot 6 \cdot 37.05}\right) = 1.017;$$

$$A_1 = m \cdot U_{1H}^2 \cdot \frac{1 - s_H}{2 \cdot C_1 \cdot m_K \cdot P_{ДВ.Н}} = 3 \cdot 220^2 \cdot \frac{1 - 0.03}{2 \cdot 1.02 \cdot 3 \cdot 18.5 \cdot 10^3} = 1.248,$$

где $m = 3$ – число фаз асинхронного двигателя.

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K}\right) \cdot C_1} = \frac{1.248}{\left(1 + \frac{1}{0.199}\right) \cdot 1.017} = 0.204 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1.017 \cdot 0.204 \cdot 1 = 0.207 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания при нормальном режиме

$$X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 4.914 \cdot 1.017 \cdot 0.204 = 1.02 \text{ Ом,}$$

где γ – параметр, позволяющий найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_K^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0.199^2} - 1^2} = 4.914.$$

Найденное значение коэффициента $\gamma = 4.914$, практически определяющее отношение индуктивного сопротивления короткого замыкания в номинальном режиме к приведенному активному сопротивлению обмотки ротора (коэффициент $C_1 \approx 1$), для двигателя мощностью 18.5 кВт является приемлемым.

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора

$$X_{2\delta}' = 0.58 \cdot \frac{X_{кн}}{C_1} = 0.58 \cdot \frac{1.02}{1.017} = 0.582 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора

$$X_{1\delta} = 0.42 \cdot X_{кн} = 0.42 \cdot 1.02 = 0.428 \text{ Ом.}$$

Произведем проверку расчетов индуктивных сопротивлений рассеяния обмоток двигателя через индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$X_{кн} = X_{1\delta} + X_{2\delta}' = 0.428 + 0.582 = 1.01 \text{ Ом.}$$

Так как $1.01 \text{ Ом} \approx 1.02 \text{ Ом}$, то данный расчет верен и для дальнейших расчетов примем $X_{\text{кн}} = 1.01 \text{ Ом}$.

ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора (главным полем) в номинальном режиме

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\text{н}} \cdot \cos \varphi - I_{1\text{лн}} \cdot R_1)^2 + (U_{1\text{н}} \cdot \sin \varphi - I_{1\text{лн}} \cdot X_{1\sigma})^2} = \\ = \sqrt{(220 \cdot 0.86 - 37.05 \cdot 0.207)^2 + (220 \cdot 0.51 - 37.05 \cdot 0.428)^2} = 205.493 \text{ В},$$

где

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} = \sqrt{1 - 0.86^2} = 0.51.$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{205.493}{7.453} = 27.572 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0.428}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 1.363 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_{2\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0.582}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 1.851 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием полюсов статора (индуктивность контура намагничивания) [2]:

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{27.572}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.088 \text{ Гн}.$$

Номинальный электромагнитный момент двигателя при прямом пуске

$$M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_{\text{н}} \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.204}{101.5 \cdot 0.03 \cdot \left[1.02^2 + \left(0.207 + \frac{0.204}{0.03} \right)^2 + \left(\frac{0.207 \cdot 0.204}{0.03 \cdot 27.572} \right)^2 \right]} = 194 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При найденных параметрах схемы замещения электродвигателя должны выполняться условия:

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}} \leq 1.1 \cdot M_{\text{дв.н}};$$

$$182.27 \text{ Н} \cdot \text{м} < 194 \text{ Н} \cdot \text{м} \leq 1.1 \cdot 182.27 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$182.27 \text{ Н} \cdot \text{м} < 194 \text{ Н} \cdot \text{м} < 200.5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Следовательно, параметрах схемы замещения электродвигателя найдены верно.

Рассчитанные параметры двигателя приведены в таблице 5.

Таблица 5. Рассчитанные параметры схемы замещения двигателя А180М6

$R_2', \text{ Ом}$	$R_1, \text{ Ом}$	$L_{2\sigma}', \text{ Гн}$	$L_{1\sigma}, \text{ Гн}$	$L_{\mu}, \text{ Гн}$	$X_{\text{кн}}, \text{ Ом}$	$X_{2\delta}', \text{ Ом}$	$X_{1\delta}, \text{ Ом}$	$X_{\mu}, \text{ Ом}$
0.204	0.207	$1.851 \cdot 10^{-3}$	$1.363 \cdot 10^{-3}$	0.088	1.02	0.582	0.428	27.572

3.8. Механические характеристики механизма резки

Механическая характеристика ножей подводной грануляции экструдера 2300.2 при нормальном режиме работы складывается из трех составляющих [2]:

1. Характеристика резки гранул ножами гранулирующей головки.
2. Характеристика вращения ножей в гранулирующей камере заполненной водой.
3. Характеристика потерь в механической системе привода.

Таким образом, выражение полного момента сопротивления на валу электродвигателя имеет вид

$$M_c(\omega) = M_{рез} + M_{с.д} + M_{С.В.}(\omega),$$

где $M_{рез}$ – момент гранулирования полиэтилена

$$M_{рез} = F_{рез} \cdot R = 85.4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$M_{с.д}$ – момент от сил трения приводного двигателя

$$\Delta M_{с.дв} = M_{эм.н} - M_{дв.н} = 194 - 182.27 = 11.7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$M_{С.В.}(\omega)$ – момент сопротивления воды

$$M_{С.В.}(\omega) = C_{ХЛ} \cdot \frac{\rho \cdot R^3 \cdot \omega^2}{2} \cdot S_L \cdot K_H = 0.85 \cdot \frac{988.1 \cdot 0.13^3 \cdot \omega^2}{2} \cdot 10^{-3} \cdot 10$$

$$M_{С.В.}(\omega) = 9.23 \cdot 10^{-3} \cdot \omega^2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тогда выражение для механической характеристики полного момента сопротивления на валу двигателя имеет вид:

$$\begin{aligned} M_c(\omega) &= M_{рез} + M_{с.д} + M_{С.В.}(\omega) = 85.4 + 11.7 + 9.23 \cdot 10^{-3} \cdot \omega^2 = \\ &= 91.1 + 9.23 \cdot 10^{-3} \cdot \omega^2 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Механическая характеристика механизма резки гранул композиции на основе полиэтилена экструдера 2300.2 представлена на рисунке 10.

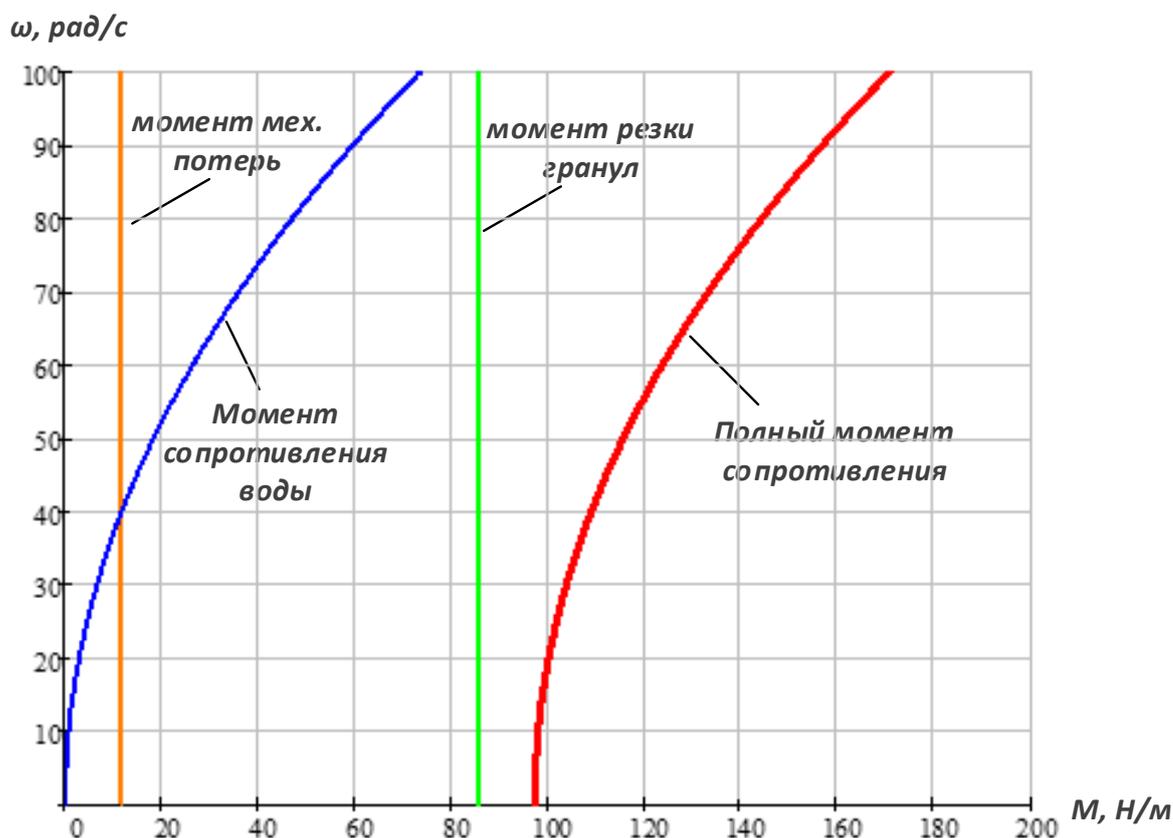


Рисунок 10. Механические характеристики ножей подводной грануляции

Для дальнейших расчетов будем пользоваться характеристикой полного момента сопротивления $M_c(\omega)$, так как следует учитывать и момент от сил трения собственно приводного двигателя.

3.9. Расчет естественных характеристик приводного электродвигателя

Расчет естественных характеристик двигателя проводится с целью оценки степени совпадения параметров основных характерных точек расчетных естественных характеристик электродвигателя с параметрами этого двигателя определенными по справочным техническим данным выбранного электродвигателя [4].

Произведем расчет и построение естественных механической и электромеханических характеристик приводного электродвигателя А180М6.

Естественная механическая характеристика $M_{эм}(s)$ электродвигателя для частоты $f_{1н} = 50$ Гц рассчитывается по выражению:

$$M_{эм}(s) = \frac{3 \cdot U_{1фн}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.204}{104.7 \cdot s \cdot \left[1.02^2 + \left(0.207 + \frac{0.204}{s} \right)^2 + \left(\frac{0.207 \cdot 0.204}{s \cdot 27.572} \right)^2 \right]}.$$

По результатам расчета строится механическая характеристика $\omega(M_{эм})$ (см. рисунок 11), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению $\omega = \omega_0 \cdot (1-s) = 104.7 \cdot (1-s)$.

Параметры характерных точек на естественной механической характеристике двигателя (см. п. 3.4.):

- значение электромагнитного номинального момента при номинальном скольжении s_n : $M_{эм.н} = 194 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- значение критического скольжения $s_k = 0.199$;
- значение электромагнитного критического момента при критическом скольжении

$$M_{эм}(s_k) = M_{эм.к} = \frac{3 \cdot U_{1фн}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left(R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{кн}^2)} \cdot \left[1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2 \right] \right)} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 104.7 \cdot \left(0.207 + \sqrt{(0.207^2 + 1.02^2)} \cdot \left[1 + \left(\frac{0.207}{27.572} \right)^2 \right] \right)} = 555.63 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

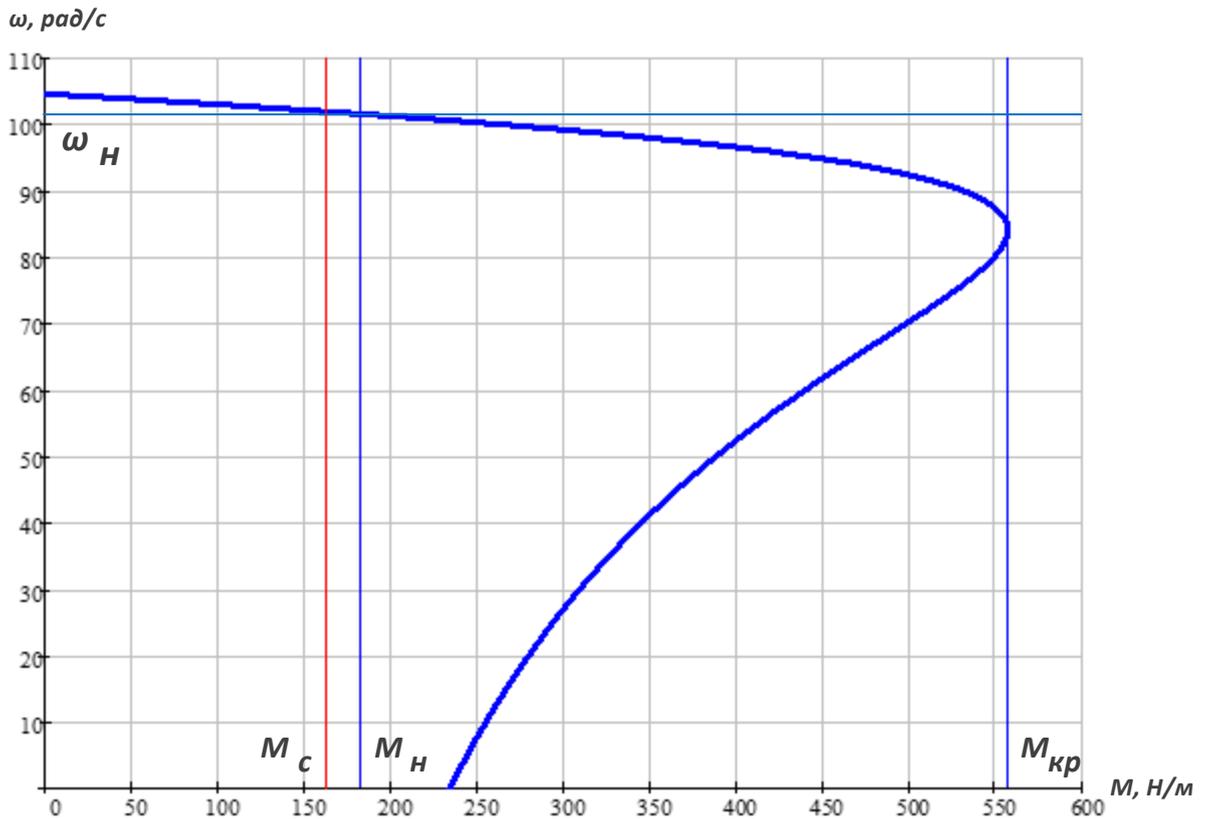


Рисунок 11. Естественная механическая характеристика приводного электродвигателя А180М6

Действующее значение тока холостого хода электродвигателя

$$I_0 = \frac{U_{1\Phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\delta} + X_\mu)^2}} = \frac{220}{\sqrt{0.207^2 + (0.428 + 27.572)^2}} = 7.857 \text{ A.}$$

Естественные электромеханические характеристики $I_1(s)$ и $I_2'(s)$ электродвигателя рассчитывается для частоты $f_{1H} = 50$ Гц по выражениям:

– действующее значение фазного тока двигателя

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \phi_2(s)} = \sqrt{7.857^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot 7.857 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \phi_2(s)}$$

где

$$\sin(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}} = \frac{1.02}{\sqrt{\left(0.207 + \frac{0.204}{s}\right)^2 + 1.02^2 + \left(\frac{0.207 \cdot 0.204}{s \cdot 27.572}\right)^2}}$$

– приведенный к обмотке статора ток ротора

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\text{фн}}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}} = \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0.207 + \frac{0.204}{s}\right)^2 + 1.02^2 + \left(\frac{0.207 \cdot 0.204}{s \cdot 27.572}\right)^2}}$$

По результатам расчета строятся электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ и $\omega(I_2')$ (см. рисунок 12), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению $\omega = \omega_0 \cdot (1-s) = 104.7 \cdot (1-s)$.

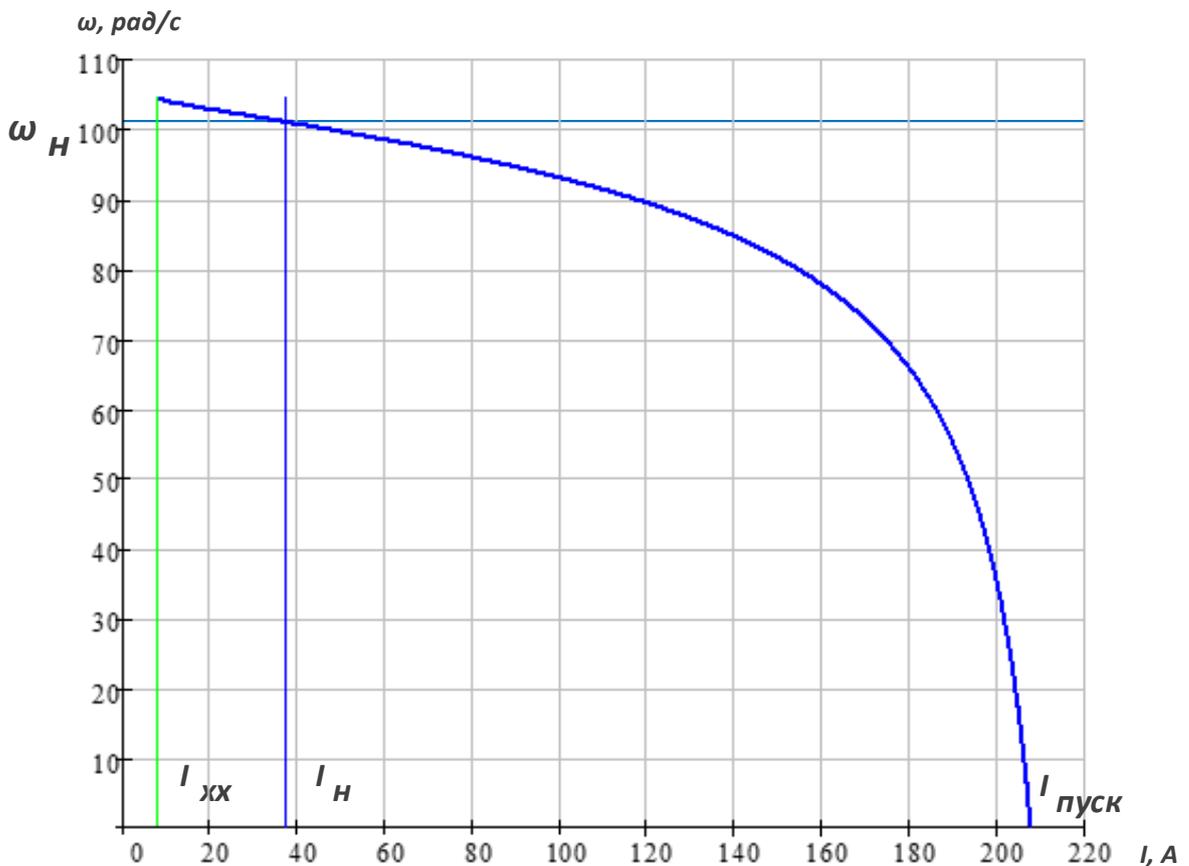


Рисунок 12. Естественные электромеханические характеристика приводного электродвигателя А180М6

Значения расчетных параметров характерных точек естественных характеристик двигателя:

$$M_{\text{МИН}} = m_M \cdot M_{\text{дв.н}} = 1.9 \cdot 182.27 = 346.3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{МАКС}} = m_K \cdot M_{\text{дв.н}} = 2.7 \cdot 182.27 = 492.129 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{ПУСК}} = m_{\text{П}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 2.2 \cdot 182.27 = 400.1 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$I_{\text{ПУСК}} = k_{\text{дв}} \cdot I_{\text{1лн}} = 6 \cdot 37.05 = 222.3 \text{ А}.$$

Сравнив значения расчетных параметров точек естественных характеристик приводного электродвигателя с его справочными данными, видим, что рассчитанные характеристики на рабочих участках примерно соответствуют каталожным параметрам приводного двигателя. Следовательно, полученные расчетные параметры схемы замещения двигателя (таблица 5) адекватны и могут быть использованы для расчета искусственных статических характеристик и имитационного моделирования динамических процессов частотно-регулируемого электропривода ножей подводной грануляции экструдера 2300.2.

4. СИЛОВАЯ ЦЕПЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОГРУЖНОГО НАСОСА

4.1. Выбор преобразователя частоты

Преобразователь частоты для управления электродвигателя механизма резки гранул экструдера производства композиций 2300.2 должен соответствовать следующим характеристикам:

- номинальная мощность, не менее	18.5 кВт
- номинальный (длительно допустимый) ток, не менее	37.05 А
- максимальный (кратковременный) ток, не менее	37.05 А
- диапазон регулирования скорости, не менее	1:10
- точность регулирования скорости, не менее	0.01
- плавность регулирования, не менее	0.01
- напряжение питающей сети	3×380 В
- частота питающей сети	50 Гц

Поскольку для технологического процесса не требуется значительный диапазон регулирования скорости выбираем преобразователь частоты с возможностью скалярного способа управления электродвигателем [3].

Предварительно, для управления ножами экструдера 2300.2, выберем преобразователь частоты марки *VLT FC 302 AUTOMATIONDRIVE* фирмы «Danfoss», номинальной мощностью 22 кВт.

Параметры выбранного ПЧ сведены в таблице 6.

Таблица 6. Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение U_H , В	Выходная частота f_H , Гц	Выходной ток		Номинальная мощность P_2 , кВт
	$U_{1Л}$, В	f_c , Гц			$I_{VLT.H}$, А	$I_{VLT.макс}$, А	
VLT FC-302 «Danfoss»	3×(380÷440)	50	380	0.2-132	44	70.4	22

где $I_{ин} = I_{VLT.H}$ и $I_{ИМАКС} = I_{VLT.макс}$.

Несущая частота инвертора ПЧ марки VLT FC 302 $f_{ШИМ} = 3 \div 10$ кГц.

Принимаем несущую частоту инвертора $f_{ШИМ} = 5$ кГц.

Виды защит, обеспечиваемые преобразователем [4]:

- электронная тепловая защита двигателя от перегрузки;
- температурный контроль радиатора;
- защита преобразователя от короткого замыкания на клеммах двигателя;
- защита от потери фазы отключением преобразователя;
- постоянный контроль напряжения промежуточной цепи постоянного тока;
- защита от неисправности заземления на клеммах двигателя.

Степень защиты корпуса преобразователя IP20.

Основываясь на паспортных данных и рекомендациях завода изготовителя, можно сделать вывод что выбранный преобразователь частоты VLT FC 302 соответствует требуемым характеристикам и подходит для работы с электродвигателем A180M6. А приняв во внимание Сравнительный анализ предлагаемых на рынке преобразователе частоты различных производителей, проведенный методом экспертных оценок в разделе Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение (раздел № 6, табл. 9), окончательно выбираем преобразователь частоты VLT FC 302 AUTOMATIONDRIVE фирмы «Danfoss» (Дания). Функциональная схема преобразователя частоты VLT FC 302 представлена на рисунке 13.

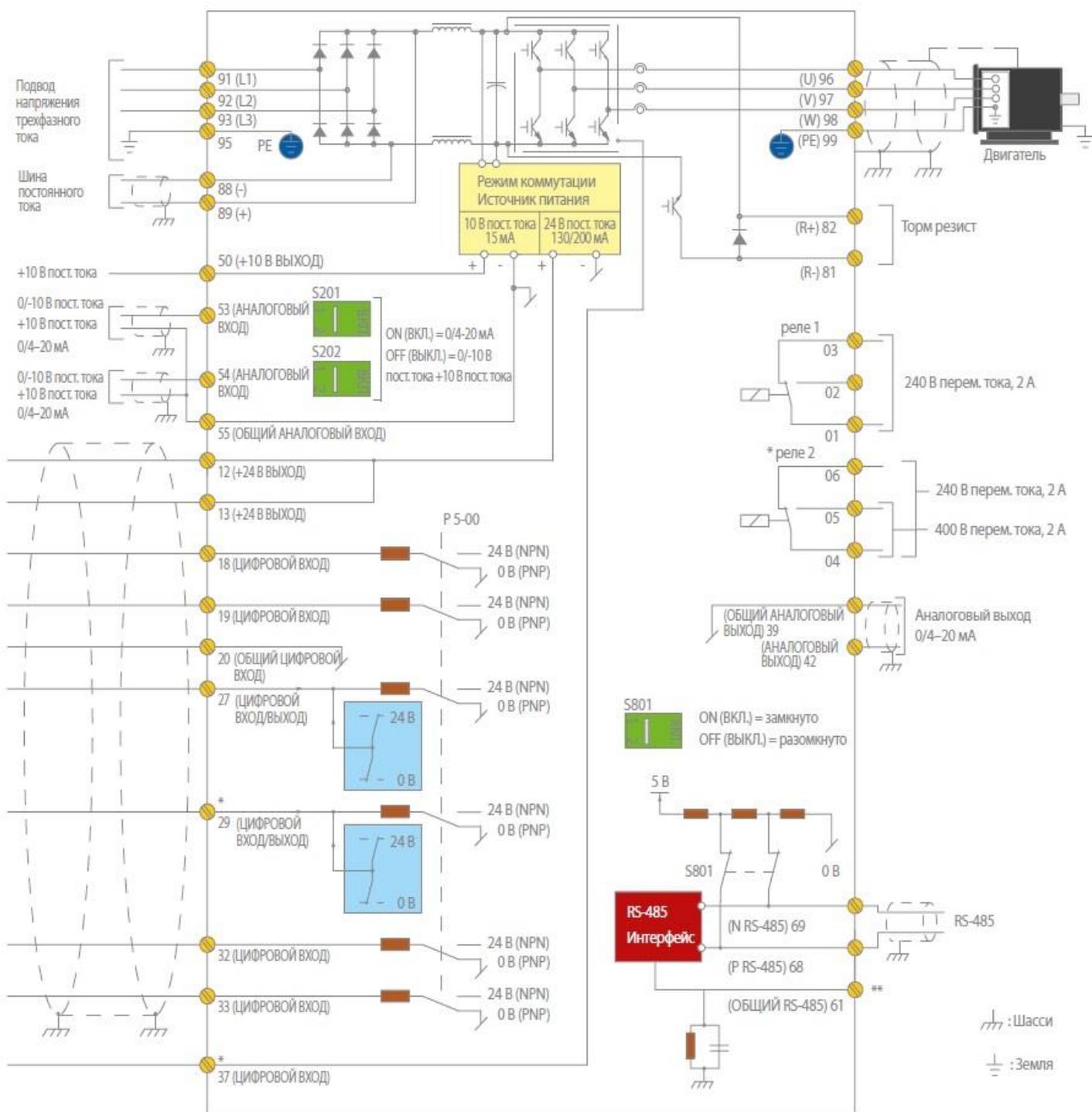


Рисунок 13. Функциональная схема подключения VLT FC 302

4.2. Расчет искусственных механических и электромеханических характеристик системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель

Для обеспечения пусковой характеристики принимаем минимальную частоту инвертора $f_{1\text{мин}} = 5$ Гц.

Минимальная частота вращения ножей, в соответствии с техническими требованиями к электроприводу $n_{\text{дв.раб.мин}} = 400$ об / мин . Следовательно минимальная рабочая частота инвертора

$$f_{\text{р.мин}} = \frac{n_{\text{дв.раб.мин}}}{n_{\text{дв.н}}} \cdot f_{\text{сети}} = \frac{400}{970} \cdot 50 = 20 \text{ Гц}$$

А максимальная частота инвертора, соответствующая работе привода ножей при максимальных рабочих оборотах $n_{\text{дв.раб.макс}} = 900$ об / мин , равна:

$$f_{\text{р.макс}} = \frac{n_{\text{дв.раб.макс}}}{n_{\text{дв.н}}} \cdot f_{\text{сети}} = \frac{900}{970} \cdot 50 = 46.4 \text{ Гц} .$$

При скалярном управлении электроприводом ножей экструдера 2300.2 следует рассчитать и построить семейство механических характеристик электродвигателя в диапазоне частот от 5 Гц до 50 Гц.

4.2.1. Расчет и построение искусственных механических характеристик.

Искусственная механическая характеристика $M_{\text{эм}}(s)$ электродвигателя для частоты f_1 при законе управления $\frac{U}{f} = \text{const}$ рассчитывается по выражению:

$$M_{\text{эм}}(s, f_1) = \frac{3 \cdot \left(U_{1\text{фн}} \cdot \frac{f_1}{f_{\text{сему}}} \right)^2 \cdot R_2'}{\omega_0(f_1) \cdot s \cdot \left[\left(X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_1}{f_{\text{сему}}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{\text{сему}}}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot \left(220 \cdot \frac{f_1}{50} \right)^2 \cdot 0.204}{\omega_0(f_1) \cdot s \cdot \left[\left(1.02 \cdot \frac{f_1}{50} \right)^2 + \left(0.204 + \frac{0.207}{s} \right)^2 + \left(\frac{0.207 \cdot 0.204}{s \cdot 27.572 \cdot \frac{f_1}{50}} \right)^2 \right]},$$

где $\omega_0(f_1) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{\text{сему}}} = 104.7 \cdot \frac{f_1}{50}$.

По результатам расчета строятся механические характеристика $\omega(M_{\text{эм}})$ для частоты f_1 (см. рисунок 12), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению $\omega = \omega_0(f_1) \cdot (1-s)$. На рисунке 14 изображены искусственные механические характеристики соответствующие частотам $f_1 = 5 \text{ Гц}, 10 \text{ Гц}, 20 \text{ Гц}, 30 \text{ Гц}, 40 \text{ Гц}, 50 \text{ Гц}$.

Анализ приведенных механических характеристик электропривода ножей и нагрузки на рисунке 12 показывает, что при законе управления $U/f = \text{const}$, момент для пуска электродвигателя с минимальной частоты в 3 Гц недостаточный.

С целью обеспечения двукратного пускового момента экспериментально выберем параметры начального участка вольт-частотной характеристики ПЧ (см. рисунок 15).

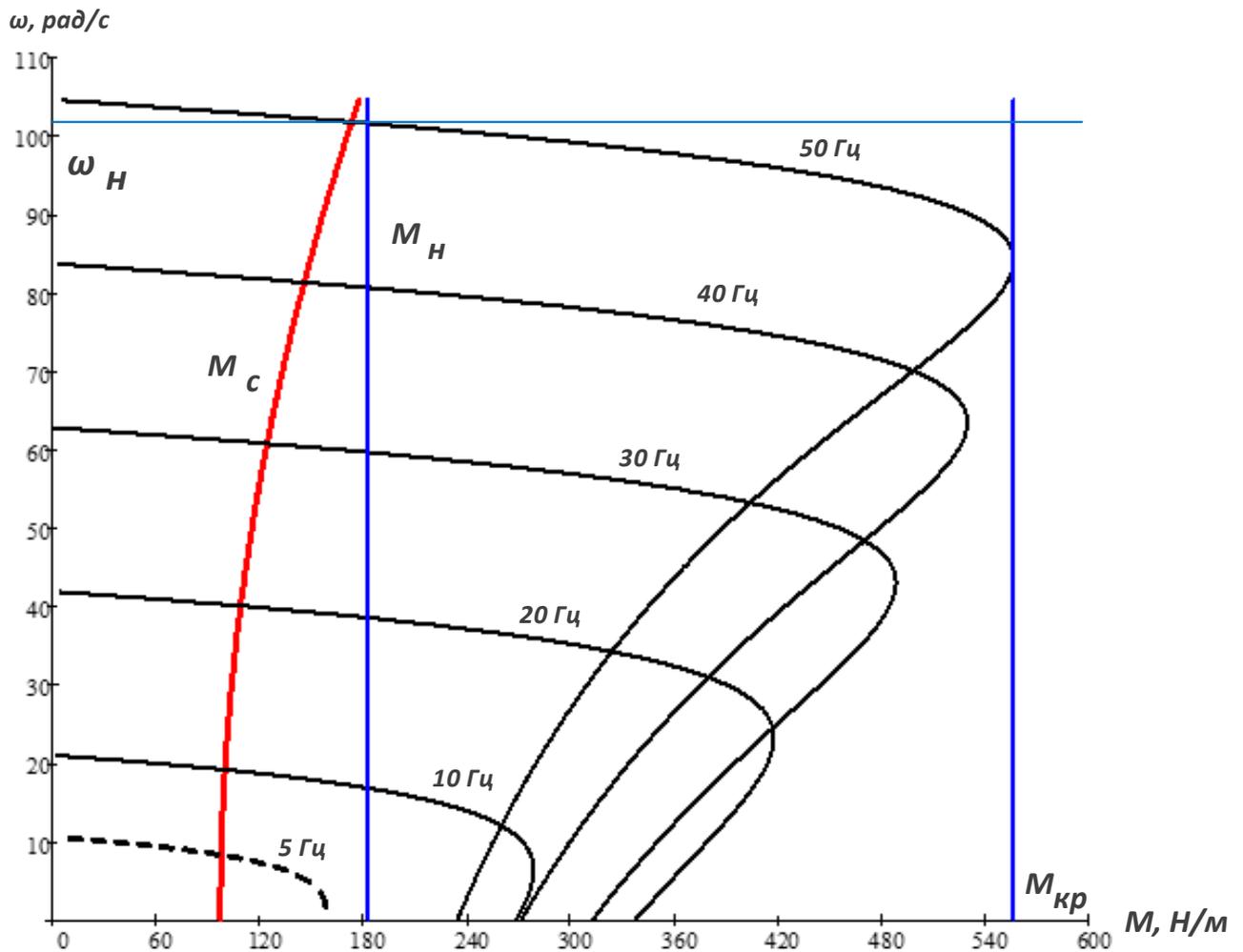


Рисунок 14. Искусственные механические характеристики системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель без коррекции вольт-частотной характеристики

Определяя параметры вольт-частотной характеристики, нижним частотам ставят в соответствие значения напряжений выше, чем при выбранном законе регулирования [4].

Для частоты до 7 Гц выбрано следующее значение начального напряжения:

$$U_{1\text{мин}} = 22\text{В}.$$

В результате вольт-частотная характеристика представлена зависимостью:

$$U_1(f_1) = U_{1\text{мин}} = 22 \text{ при } f_1 \leq 7 \text{ Гц}$$

$$U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{\text{сети}}} \right) = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right) \text{ при } f_1 > 7 \text{ Гц}.$$

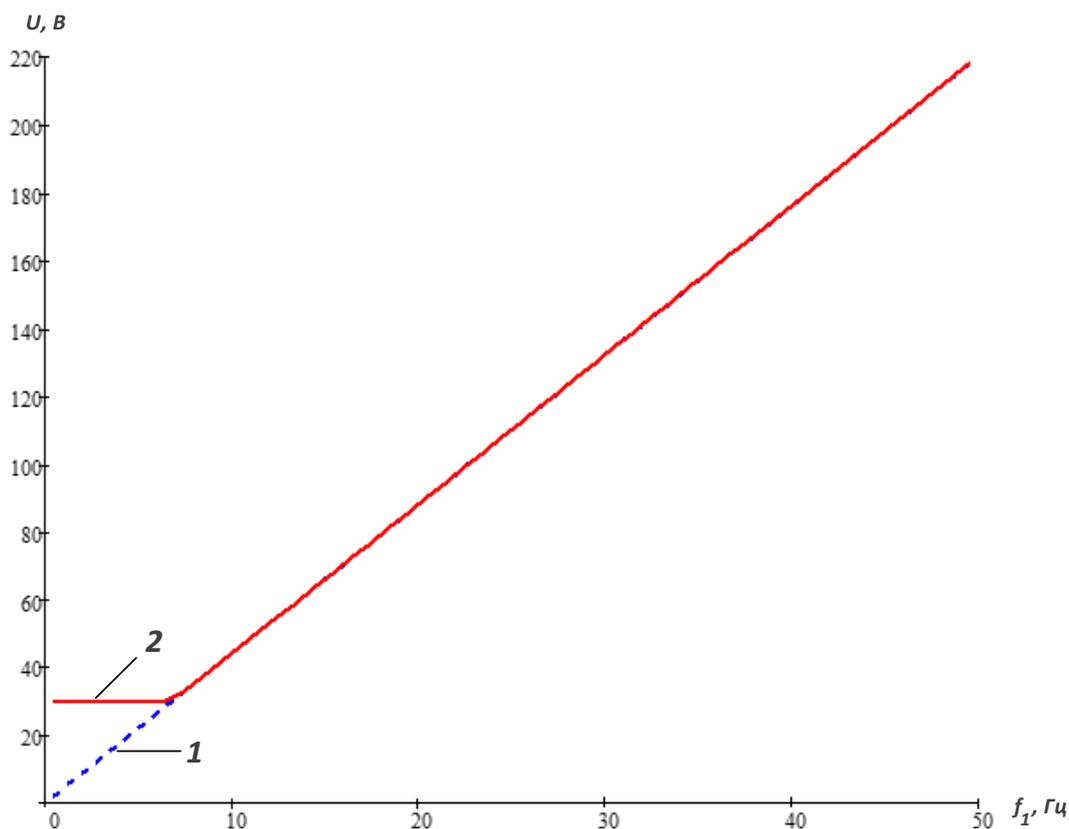


Рисунок 15. Вольт-частотная характеристика при законе управления $\frac{U}{f} = const$:

1 – без коррекции вольт-частотной характеристики; 2 – с коррекцией вольт-частотной характеристики

Теперь механические характеристики системы ПЧ-АД с учетом выбранной настройки вольт-частотной характеристики при законе управления $\frac{U}{f} = const$ приведены на рисунке 16. Видим, что при законе управления $\frac{U}{f} = const$ и настройке вольт-частотной характеристики удается обеспечить достаточный момент для пуска электропривода при $f_{\text{мин}} = 5$ Гц.

Также рассчитывается и строится зависимость длительно допустимого момента электродвигателя $M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega)$, где $k = 0.7$ – значение коэффициента вентиляции для двигателей с самовентиляцией (которым и является А180М6):

При $\omega \leq 0.5 \cdot \omega_{\text{дв.н}}$:

$$M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) = M_{\text{эм.н}} \cdot \left(k + \frac{(1-k) \cdot 2 \cdot \omega}{\omega_{\text{дв.н}}} \right) = 188 \cdot \left(0.7 + \frac{(1-0.7) \cdot 2 \cdot \omega}{101.5} \right);$$

при $\omega > 0.5 \cdot \omega_{\text{дв.н}}$:

$$M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) = M_{\text{эм.н}} = 188 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Исходя из рисунка 15, можно сделать вывод, что заданный диапазон регулирования скорости электропривода ножей экструдера 2300.2 будет поддерживаться, так как $M_{\text{с макс}} < M_{\text{эм.н}}$.

На рисунке 16 изображены искусственные механические характеристики соответствующие частотам $f_1 = 5 \text{ Гц}, 10 \text{ Гц}, 20 \text{ Гц}, 30 \text{ Гц}, 40 \text{ Гц}, 50 \text{ Гц}$.

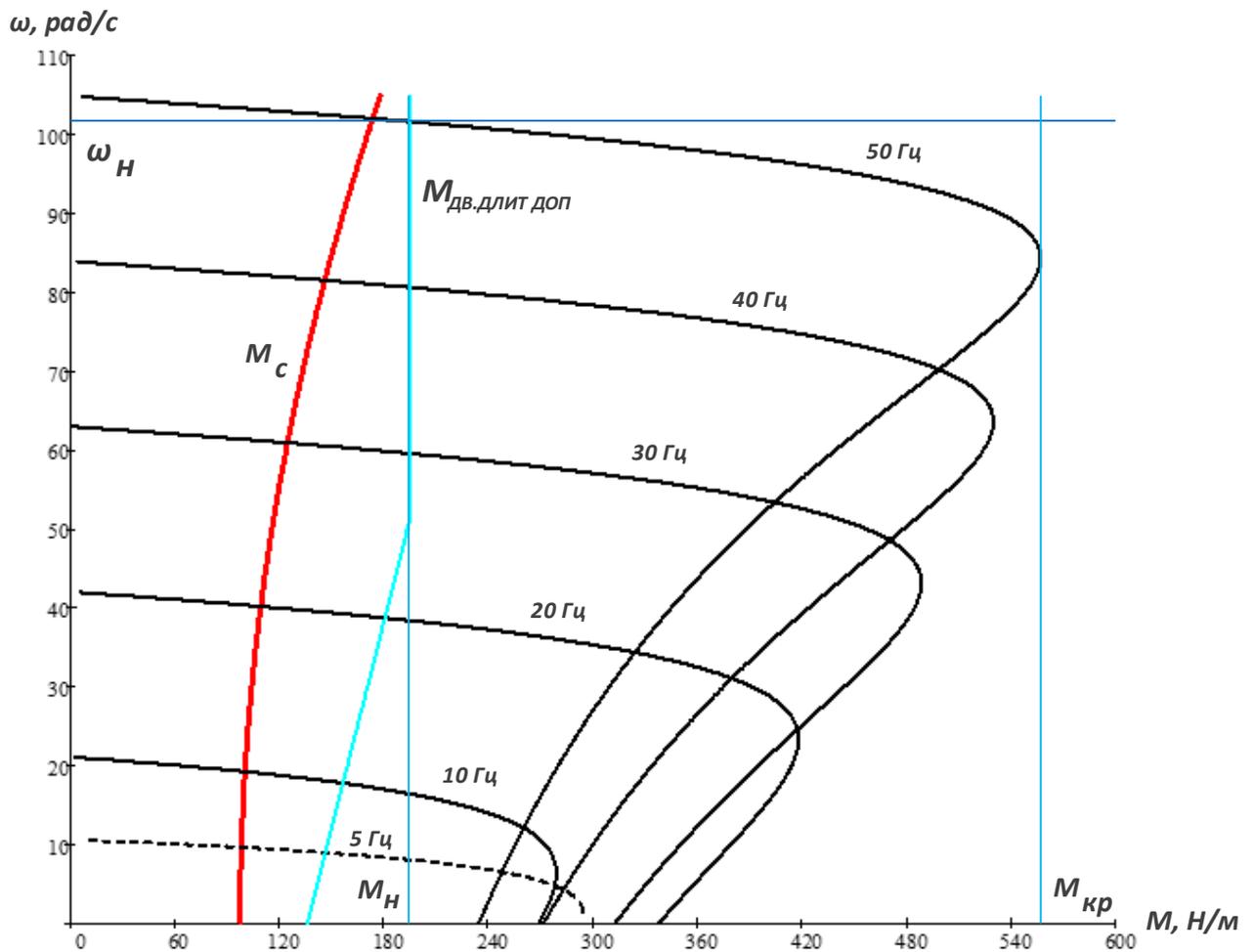


Рисунок 16. Искусственные механические характеристики системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с коррекцией вольт-частотной характеристики

4.2.2. Произведем расчет и построение искусственных электромеханических характеристик.

Искусственные электромеханические характеристики $I_1(s)$ и $I_2'(s)$ электродвигателя для частоты f_1 после настройки вольт-частотной характеристики рассчитываются по выражениям [4]:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(s, f_1) \cdot \sin \phi_2(s, f_1)} ;$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\delta} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{cemu}}\right)^2}} = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0.207^2 + (0.428 + 27.572)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2}} ;$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{cemu}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu} \cdot \frac{f_{cemu}}{f_1}\right)^2}} =$$

$$= \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(0.207 + \frac{0.204}{s}\right)^2 + 1.02^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2 + \left(\frac{0.207 \cdot 0.204}{s \cdot 27.572} \cdot \frac{50}{f_1}\right)^2}} ;$$

$$\sin \phi_2(s, f_1) = \frac{X_{KH} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{cemu}}\right)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{KH})^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{cemu}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu} \cdot \frac{f_{cemu}}{f_1}\right)^2}} =$$

$$= \frac{1.02 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)}{\sqrt{\left(0.207 + \frac{0.204}{s}\right)^2 + 1.02^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2 + \left(\frac{0.207 \cdot 0.204}{s \cdot 27.572} \cdot \frac{50}{f_1}\right)^2}}$$

По результатам расчета строятся электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ для частоты f_1 , где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению $\omega = \omega_0 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{cemu}}\right) \cdot (1-s) = 104.7 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right) \cdot (1-s)$.

Также рассчитывается и строится зависимость длительно допустимого тока электродвигателя $I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega)$, где $k=0.7$ – значение коэффициента вентиляции для двигателей с самовентиляцией (которым и является АИР180М6):

при $\omega \leq 0.5 \cdot \omega_{\text{дв.н}}$:

$$I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) = I_{1\text{фн}} \cdot \left(k + \frac{(1-k) \cdot 2 \cdot \omega}{\omega_{\text{дв.н}}} \right) = 37.05 \cdot \left(0.7 + \frac{(1-0.7) \cdot 2 \cdot \omega}{101.5} \right)$$

при $\omega > 0.5 \cdot \omega_{\text{дв.н}}$;

$$I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) = I_{1\text{фн}} = 37.05 \text{ А , при}$$

Рассчитываются и строятся зависимости статического тока нагрузки $I_{\text{смакс}}(\omega)$, $I_{\text{эпмакс}}(\omega)$ и $I_{\text{с1}}(\omega)$, соответствующие нагрузке создаваемой ножами $M_{\text{с}}(\omega) = M_{\text{рез}} + M_{\text{с.д}} + M_{\text{с.в.}}(\omega)$ для частоты f_1 . Для этого необходимо на естественной характеристике $M(\omega)$ определить соответствующее значение скольжений s_1 , s_2 и s_3 , численно решив относительно s совместное уравнение:

$$\frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot R_2'}{\left(\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{\text{сему}}} \right) \cdot s \cdot \left[\left(X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_1}{f_{\text{сему}}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{\text{сему}}}} \right)^2 \right]} = M_{\text{с}}(\omega) = M_{\text{рез}} + M_{\text{с.д}} + M_{\text{с.в.}}(\omega).$$

– Для $I_{\text{смакс}}(\omega)$ нужно рассчитать значение тока $I_{\text{смакс}} \Big|_{f_{\text{и}}=f_{\text{иН}}}$ и скорости

$$\omega_1 = \omega_0 \cdot (1 - s_1) .$$

Зависимость $I_{\text{смакс}}(\omega)$ рассчитывается по выражениям:

$$I_{\text{смакс}}(\omega) = I_{\text{смакс}} \Big|_{f_{\text{и}}=f_{\text{иН}}} \text{ при } \omega \leq \omega_1 .$$

Решив уравнение относительно s , получаем $I_{\text{смакс}}(\omega_1) = 31.59 \text{ А} .$

– Для $I_{\text{смакс}}(\omega)$ нужно рассчитать значение тока $I_{\text{эп.макс}} \Big|_{f_{\text{и}}=f_{\text{иМнн}}}$ и скорости

$$\omega_2 = \omega_0 \cdot (1 - s_2) .$$

Зависимость $I_{\text{ЭП.макс}}(\omega)$ рассчитывается по выражениям:

$$I_{\text{ЭП.макс}}(\omega) = I_{\text{ЭП.макс}} \Big|_{f_{\text{и}}=f_{\text{мин}}} \quad \text{при } \omega \leq \omega_2 ;$$

Решив уравнение относительно s , получаем $I_{\text{ЭП.макс}}(\omega_2) = 47.41 \text{ А}$.

По результатам расчетов на рисунке 17 построено семейство искусственных электромеханических характеристик $\omega(I_1)$ системы ПЧ-АД.

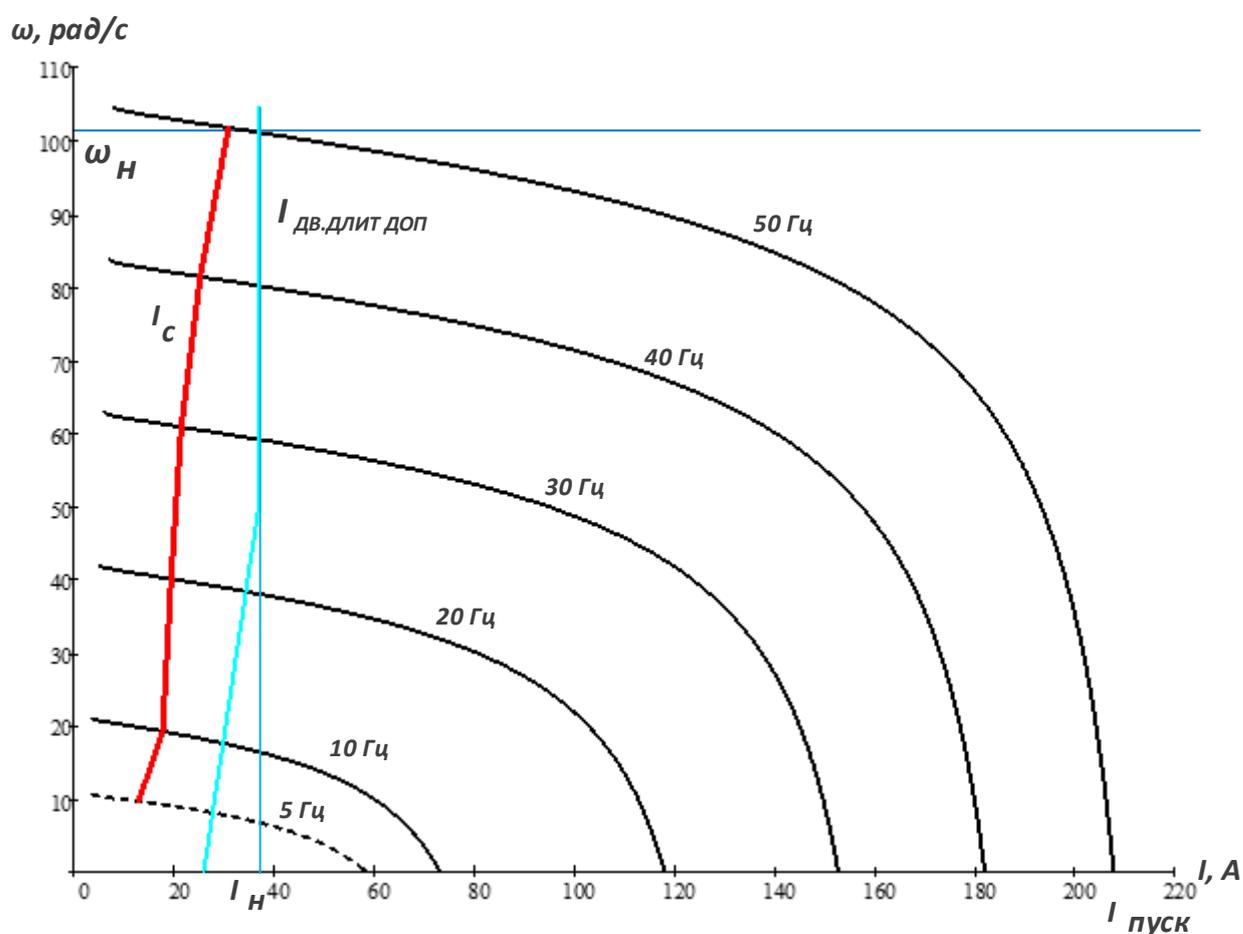


Рисунок 17. Искусственные электромеханические характеристики системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с коррекцией вольт-частотной характеристики

Анализ приведенных на рисунках 16 и 17 характеристик электропривода ножей экструдера 2300.2 и насосной нагрузки показывает, что при законе

2. Промежуточная цепь, представляющая собой фильтр, содержащий в случае использования инвертора напряжения только конденсатор, и сглаживающая выпрямленное напряжение. Индуктивность L в цепи постоянного тока представляет собой коммутационный, а не сглаживающий дроссель [4].

3. Инвертор напряжения, который предназначен для формирования выходного напряжения с необходимыми значениями амплитуды и частоты, то есть требуемой формы.

Произведем выбор силового электрооборудования.

1. Автоматический выключатель (АВ) предназначен для отключения электрической цепи, непосредственно, при нормальных режимах – включений и отключений номинальных токов нагрузки и аварийных режимах – перегрузках, коротких замыканий, чрезмерном понижении напряжения питания, изменения направления мощности.

Произведем выбор АВ для электропривода ножей экструдера 2300.2 [12]/
Максимальный потребляемый ток двигателя А180М6 при прямом пуске

$$I_{\text{макс}} = k_{\text{идВ}} \cdot I_{\text{лн}} = 6 \cdot 37 = 222 \text{ А.}$$

Выбор автоматический выключатель производится:

– по соотношению номинальных напряжений выключателя и питающей сети $U_{QF} \geq U$.

– по соотношению номинального тока выключателя и пускового тока двигателя $I_{QF} \geq I$.

К установке принимаем автоматический трехфазный выключатель типа РКЗМ4-50 с номинальным током 50 А.

Каталожные данные АВ сведены в таблицу 7.

Таблица 7. Выбор АВ электропривода

Исходные и расчетные данные	Каталожные данные [9]
	Автоматический выключатель
Производитель	EATON
Тип выключателя	PKZM4
Номинальное напряжение, В	380
Номинальный ток, А	50
Номинальная отключающая способность, кА	50
Количество силовых полюсов	3

2. Выходной синусоидальный фильтр [19] обеспечивает синусоидальность линейного напряжения на клеммах двигателя, снижает нагрузку на изоляцию двигателя и устраняет акустический шум от двигателя. Так же снижаются протекающие подшипниковые токи [4].

Для электропривода ножей принимаем выходной синусоидальный фильтр марки MCC102A40KTME20B фирмы «Danfoss» с номинальным током 68 А.

Условия выбора:

$$I_{L2} \geq I_{1лн};$$

$$68 \text{ А} \geq 37 \text{ А}.$$

Параметры выходного фильтра марки MCC102A40KTME20B сведены в таблицу 8.

Таблица 8. Каталожные данные выходного фильтра MCC102A40KTME20B [11]

Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Рабочая частота электродвигателя, Гц
68	3х (200÷500)	20÷68	0÷60

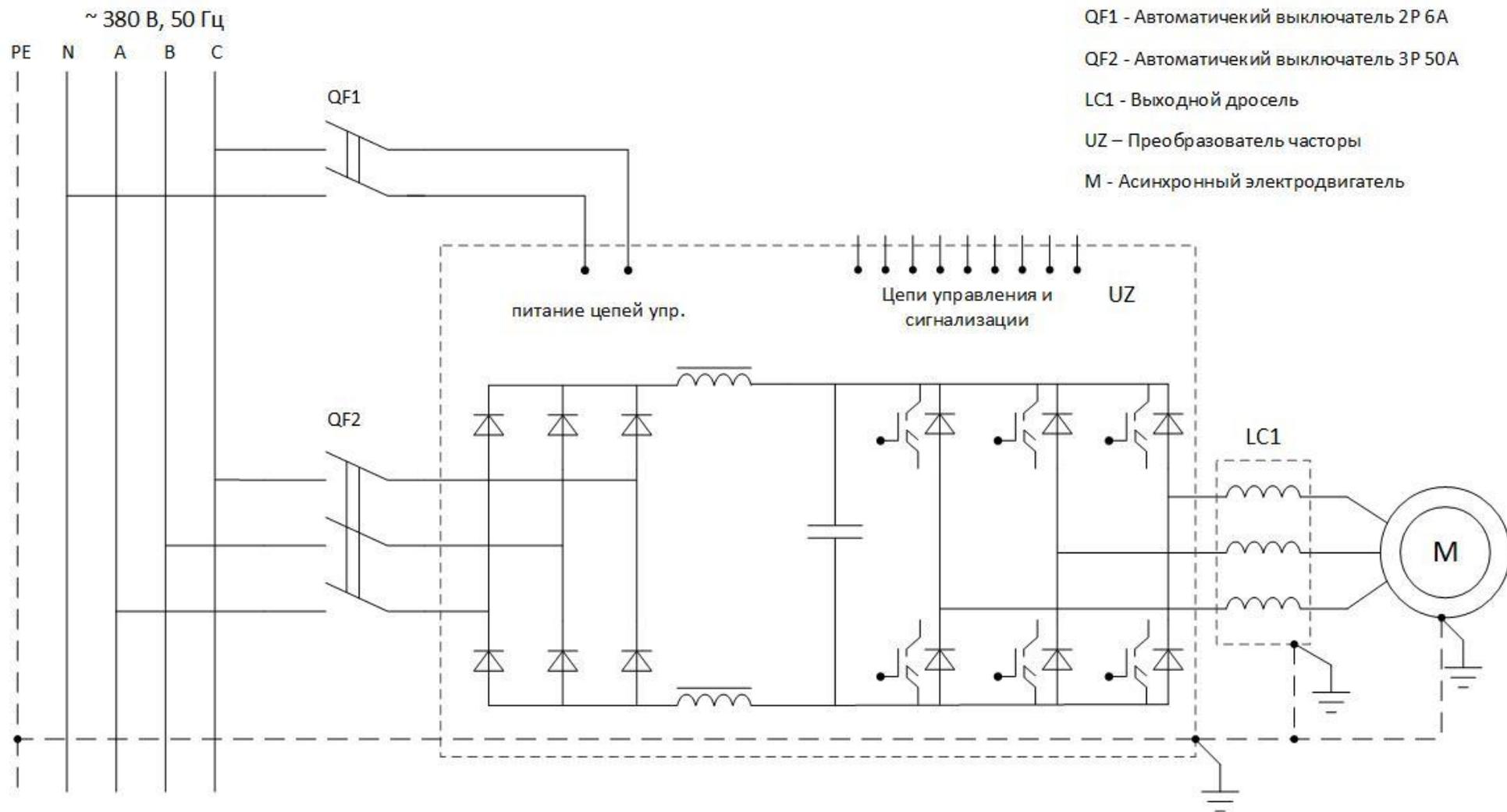


Рисунок 18. Принципиальная электрическая схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода ножей экструдера 2300.2

4.4. Структурная схема силового канала регулируемого электропривода

Современные методы расчета и проектирования в сочетании с компьютерными и информационными технологиями позволяют решать задачу разработки, проектирования и настройки различных электромеханических комплексов в целом, и в частности, частотно-регулируемых асинхронных электроприводов со скалярным управлением. Поэтому для модернизации электропривода ножей экструдера 2300.2 и последующего его исследования выбрана структурная схема эквивалентного двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат [4].

Структурная схема АД с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат α, β приведена на рисунке 19.

Входными величинами на структурной схеме рисунок 19 являются напряжения переменного тока – фазные напряжения статорных обмоток приводного двухфазного асинхронного электродвигателя:

$$U_{1\alpha}(t) = U_{1m} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t) \quad \text{и} \quad U_{1\beta}(t) = U_{1m} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t).$$

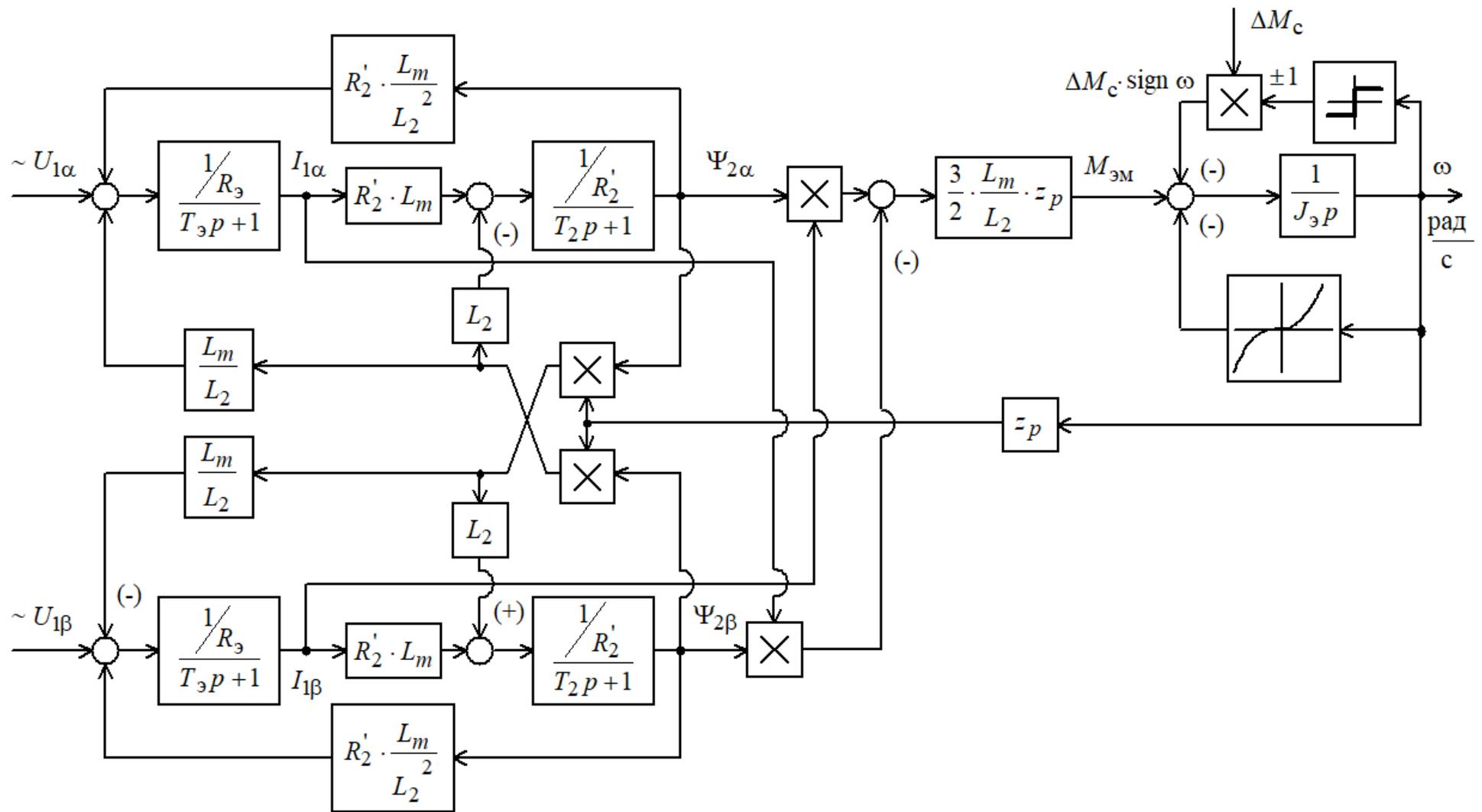


Рисунок 19. Структурная схема асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат статора α , β

4.5. Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода

Найдем параметры преобразователя частоты [11].

В простейшем случае без учета ШИМ инвертор представляет собой линейный усилитель с чистым запаздыванием на величину периода широтно-импульсной модуляции $T_{\text{ШИМ}}$.

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = \frac{1}{5 \cdot 10^3} = 0.0002 \text{ с},$$

где $f_{\text{ШИМ}} = 5 \cdot 10^3$ Гц – несущая частота инвертора (частота ШИМ).

Максимальное значение амплитудного фазного напряжения электродвигателя

$$U_{1\text{ф}m} = \sqrt{2} \cdot U_{1\text{фн}} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311.13 \text{ В}.$$

С учетом ШИМ напряжения инвертора и при соединении обмоток статора двигателя в звезду параметры преобразователя выбираются в соответствии с приведенными ниже выражениями.

Для питания выбранного преобразователя частоты требуется напряжение сети находящееся в диапазоне 380÷440 В. Как правило, нехватка напряжения питающей сети может существенно сказаться на требуемые показатели проектируемого электропривода [4]. На начальном этапе проектирования примем напряжение питающей сети $U_c = 420$ В, с учетом того что имеется повышающий трансформатор.

Напряжение звена постоянного тока ПЧ

$$U_{d0} = 1.35 \cdot U_c = 1.35 \cdot 420 = 567 \text{ В}.$$

Условие согласования напряжения преобразователя и двигателя

$$U_{d0} \geq \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1\text{фн}}}{\gamma_{\text{макс}}} \geq \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 220}{0.96} \geq 561.34 \text{ В},$$

где $\gamma_{\text{макс}} = 0.96$ – максимальное значение ключей инвертора.

Тогда, $567 \text{ В} > 561.34 \text{ В}$. Следовательно, напряжения преобразователя и двигателя согласованы.

Коэффициент усиления инвертора

$$k_{и} = \frac{U_{1\phi m}}{U_{упмакс}} = \frac{U_{1\phi m}}{10} = 327.36,$$

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

Малая постоянная времени цепи обратной связи контура тока

$$T_{\muго} = T_{ос.г} + T_{ф.от} = 0.0002 + 0 = 0.0002 \text{ с},$$

где $T_{ос.г} = T_{шим} = 0.0002 \text{ с}$ – интервал квантования сигналов в цепи обратной связи контура тока;

$T_{ф.от} = 0 \text{ с}$ – постоянная времени аналогового фильтра в цепи измерения тока.

Найдем параметры звеньев структурной схемы двигателя.

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_{\mu} = 1.363 \cdot 10^{-3} + 0.088 = 0.089 \text{ Гн};$$

– ротора

$$L_2' = L_{2\sigma}' + L_{\mu} = 1.851 \cdot 10^{-3} + 0.088 = 0.09 \text{ Гн}.$$

Коэффициент рассеяния магнитного поля

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2'} = 1 - \frac{0.088^2}{0.089 \cdot 0.09} = 0.033.$$

Эквивалентное активное сопротивление цепи статора (без учета сопротивления соединительных проводов)

$$R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_2'^2} = 0.207 + 0.204 \cdot \frac{0.088^2}{0.09^2} = 0.402 \text{ Ом}.$$

Электромагнитные постоянные времени цепи статора и ротора:

$$T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3} = \frac{0.033 \cdot 0.089}{0.402} = 7.305 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

$$T_2 = \frac{L_2'}{R_2'} = \frac{0.09}{0.204} = 0.441 \text{ с}$$

5. ИМИТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НОЖЕЙ ЭКСТРУДЕРА

5.1. Имитационная модель для исследования регулируемого электропривода

На основе функциональной схемы частотно-регулируемого электропривода ножей экструдера (рисунок 6) и структурной схемы асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат статора α, β (рисунок 18) в программе *MATLAB* разработана имитационная модель частотно-регулируемого электропривода ножей экструдера 2300.2 со скалярным управлением. Данная модель однозонного регулируемого асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением с датчиками токов $i_{1\alpha}, i_{1\beta}$, коррекцией вольт-частотной характеристики $\frac{U}{f} = const$ и регулятором ограничения тока представлена на рисунке 19.

Имитационная модель содержит следующие основные составные части:

- преобразователя частоты, состоящий из формирователя задания скорости электропривода, задатчика интенсивности скорости с линейной характеристикой (рисунок 20), модели формирователя фазных напряжений статорной обмотки двухфазного двигателя в неподвижной системе координат (рисунок 21), модели контура ограничения тока с ПИ-регулятором;
- модель асинхронного электродвигателя (рисунок 24);
- преобразователь координат (рисунок 21);
- одномассовую механическую систему с моментом нагрузки (рисунок 25).

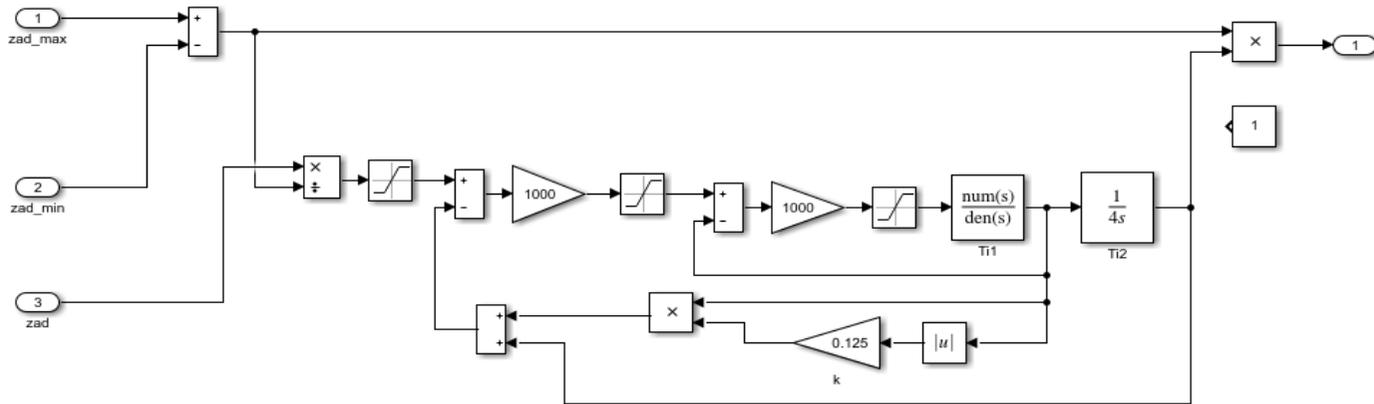


Рисунок 21. Имитационная модель задатчика интенсивности скорости с линейной характеристикой

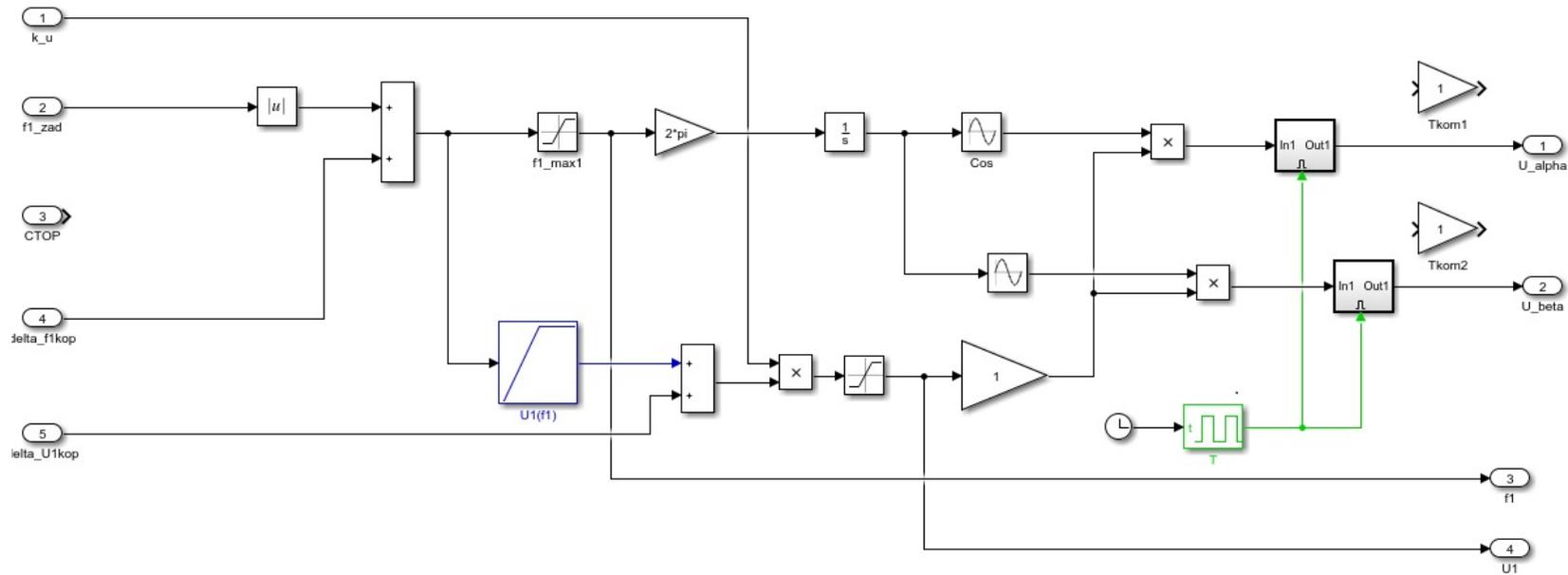


Рисунок 22. Имитационная модель формирователя формы напряжений статорной обмотки двухфазного двигателя в неподвижной системе координат

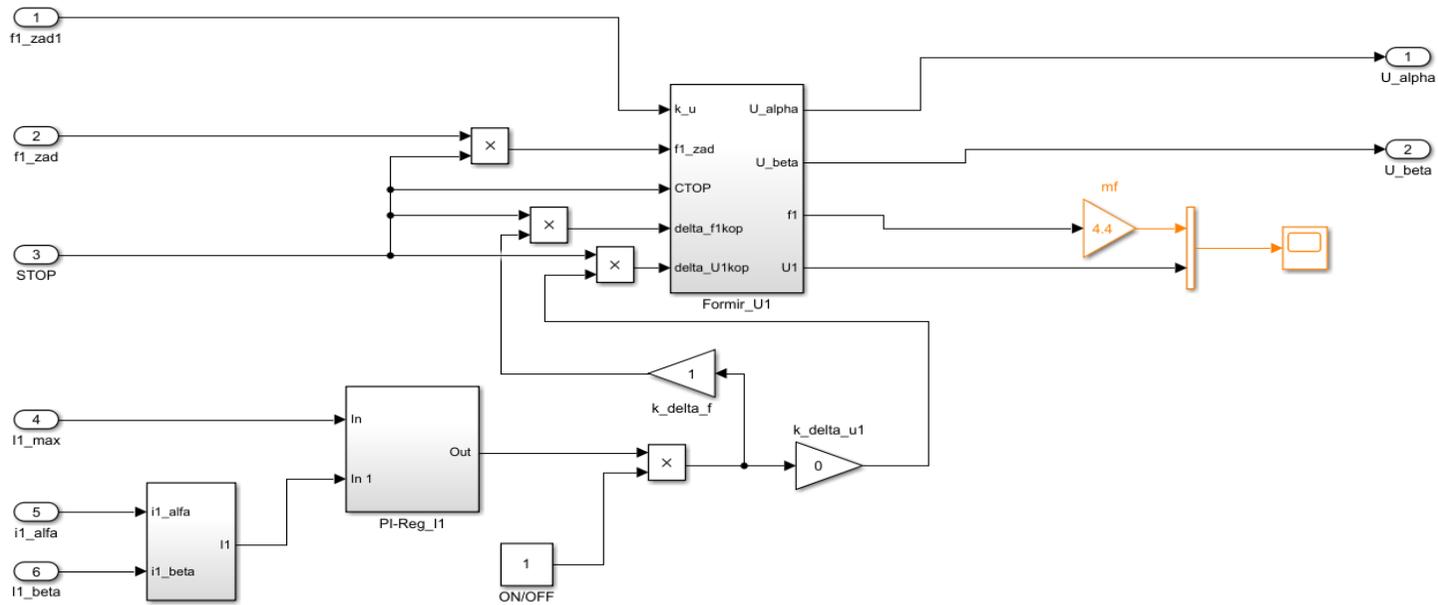


Рисунок 23 Имитационная модель формирования напряжений статорной обмотки с учетом ограничителя максимального тока

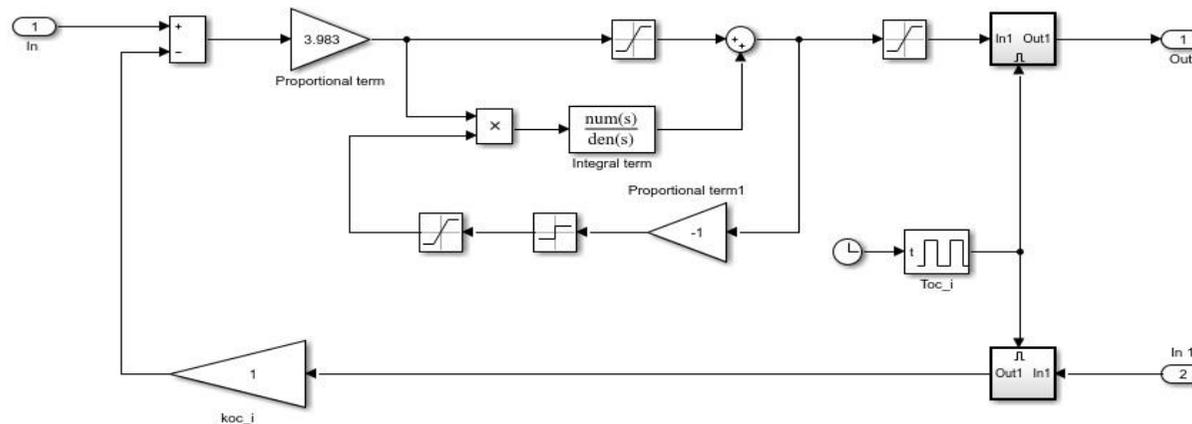


Рисунок 24. Имитационная модель ограничителя максимального тока

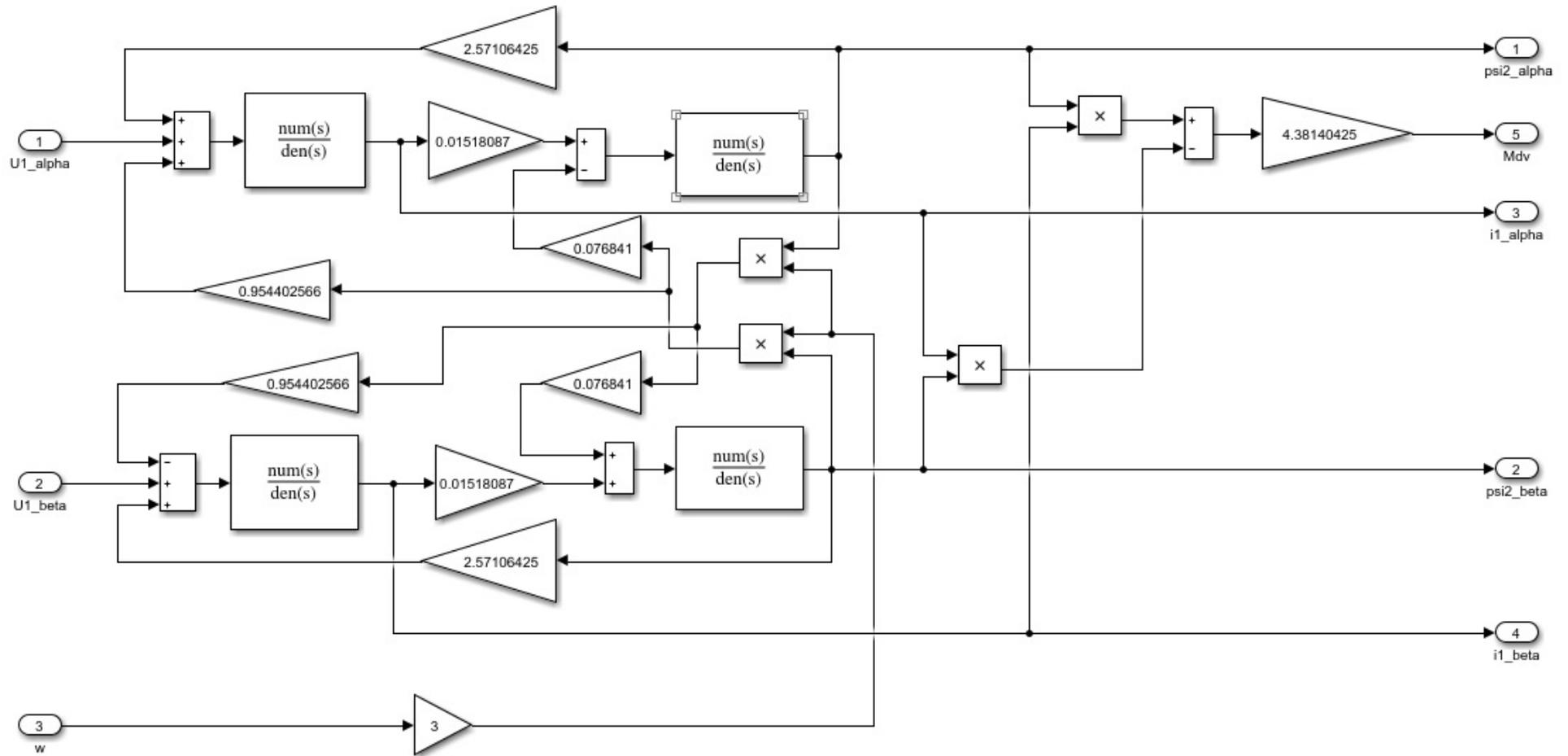


Рисунок 25. Имитационная модель асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат статора α, β

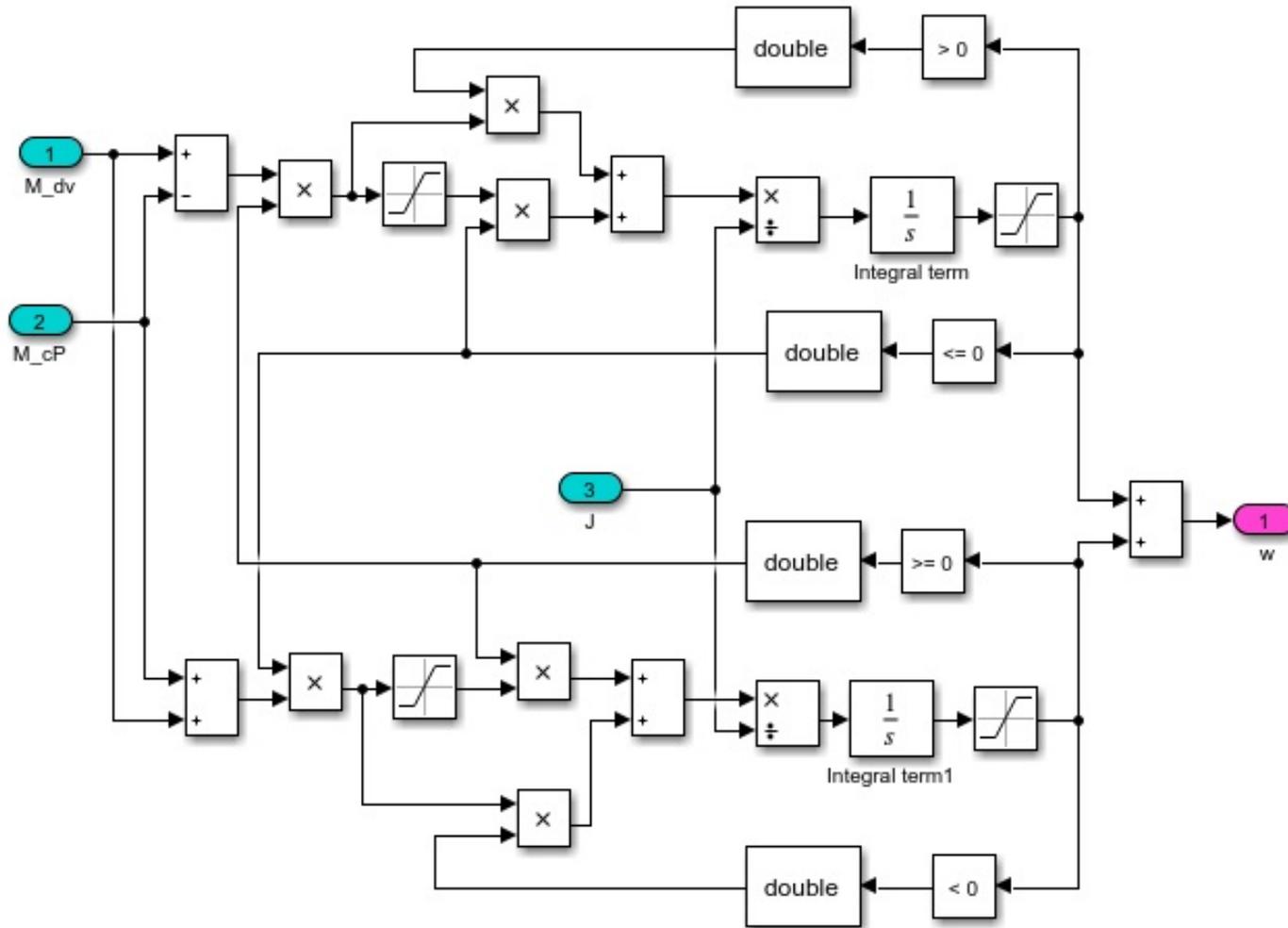


Рисунок 26. Имитационная модель одномассовой механической системы

5.2. Имитационное исследование работоспособности регулируемого электропривода

Имитационные исследования частотно-регулируемого электропривода ножей экструдера проводятся с целью проверки его работоспособности в различных режимах работы. Такие как: пуск на минимальную и максимальную рабочую скорость вращения ножей; переход с одной скорости вращения ножей на другую; изменение нагрузки при работе на различных оборотах, останов его в режиме электрического торможения.

В данной выпускной квалификационной работе по модернизации электропривода режущего механизма экструдера 2300.2 для определения и рассмотрения всех режимов работы электромеханической системы регулируемый электропривод – механизм резки достаточно рассмотреть следующее:

- пуск электропривода на максимальную скорость без нагрузки;
- пуск и остановка на максимальную скорость электропривода с номинальной нагрузкой;
- пуск и остановка электропривода без нагрузки с задатчиком интенсивности;
- пуск и остановка электропривода с нагрузкой и с задатчиком интенсивности;
- работа электропривода по заданному алгоритму;
- останов электропривода путем увеличения нагрузки до полного торможения ротора.

На рисунке 27 изображен пуск регулируемого электропривода ножей экструдера на максимальную скорость $\omega_{\text{макс}} = \omega_{\text{дв.н}} = 101.5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ без линейным заданием интенсивности скорости на холостом ходу (без нагрузки).

Далее, на рисунке 28 представлена работа электропривода ножей под номинальной нагрузкой.

Моделирование выполняется методом Эйлера с постоянным шагом расчета, значение которого выбирается из условия $\Delta t \leq 0.00001 \text{ с}$. [2].

Из рисунков 27 и 28 мы видим что для изменения оборотов электродвигателя, в том числе пуска и останова, для снижения бросков токов необходимо использовать задатчик интенсивности скорости.

К электроприводу ножей экструдера не предъявляется жестких требований к динамическим показателям, следовательно, линейный задатчик интенсивности скорости необходимо настраивать исходя из условия обеспечения плавного пуска электродвигателя.

На рисунках 29 и 30 изображены характеристики пуска на максимальные обороты и останов электропривода ножей с задатчиком интенсивности скорости на холостом ходу и с номинальной нагрузкой соответственно.

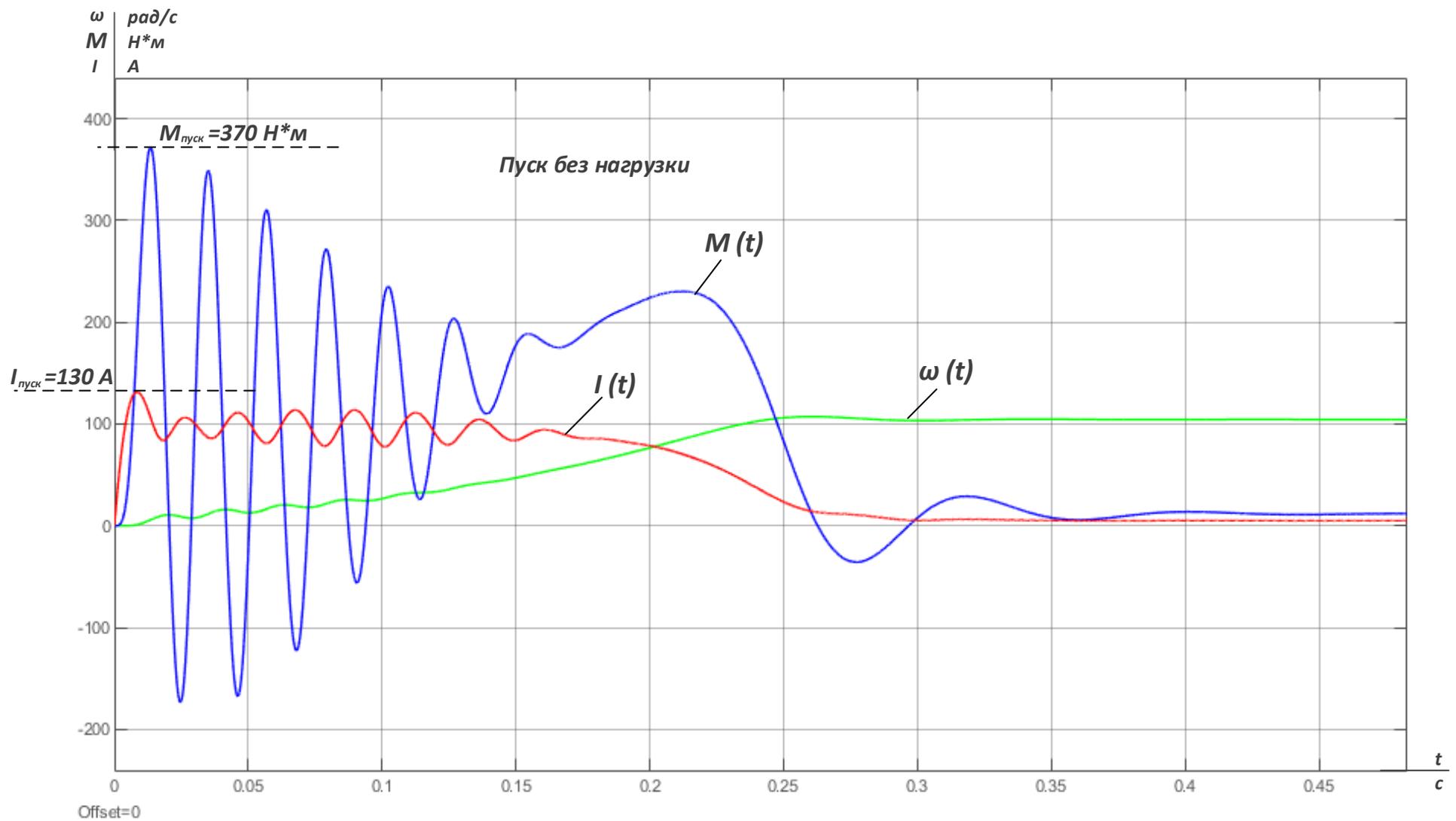


Рисунок 27. Результаты имитационных исследований регулируемого электропривода ножей экструдера при пуске на максимальную скорость без нагрузки и без датчика интенсивности.

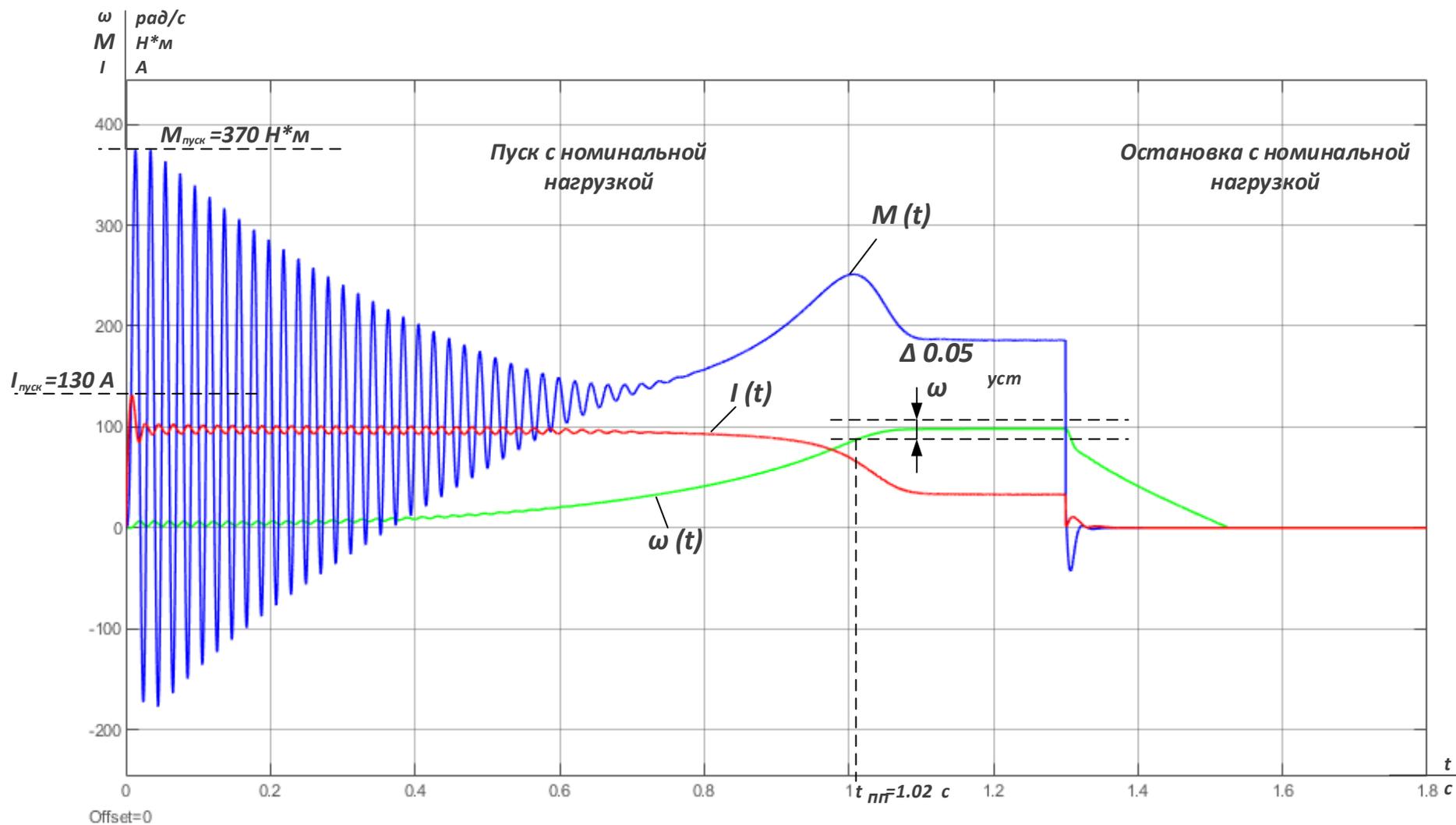


Рисунок 28. Результаты имитационных исследований регулируемого электропривода ножей экструдера при пуске на максимальную скорость с номинальной нагрузкой с последующим остановом без датчика интенсивности

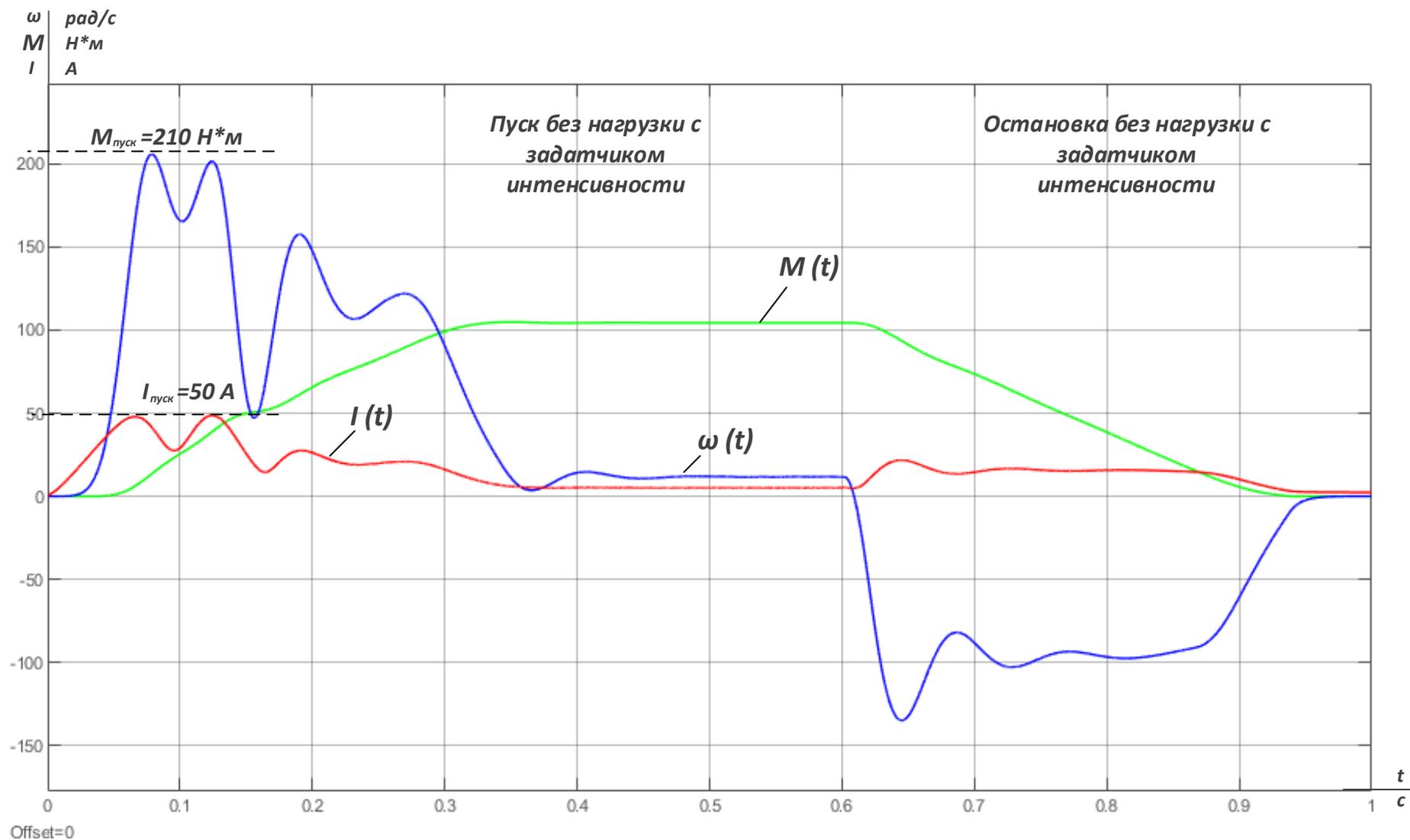


Рисунок 29. Результаты имитационных исследований регулируемого электропривода ножей экструдера при пуске на максимальную скорость без нагрузки с последующим остановом с задатчиком интенсивности

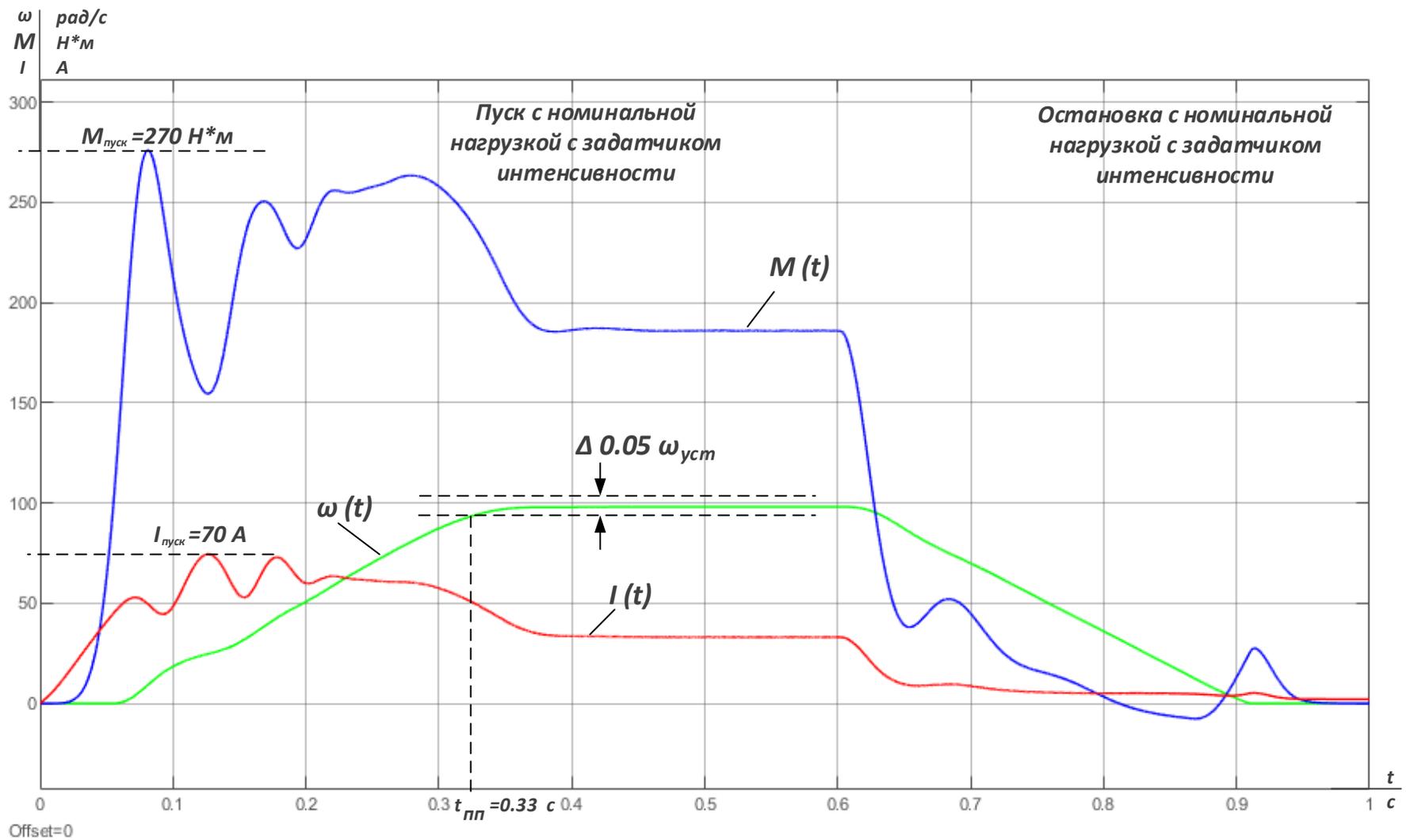


Рисунок 30. Результаты имитационных исследований регулируемого электропривода ножей экструдера при пуске на максимальную скорость с номинальной нагрузкой с последующим остановом с датчиком интенсивности

По результатам моделирования работы электропривода (рисунок 27-30) однозначно можно сказать что при использовании датчика интенсивности скорости, характеристики работы становятся более мягкие и значительно снижаются броски тока и момента при старте с места и переходах с одной скорости на другую. Это в значительной мере снижает пиковую нагрузку на электродвигатель и частотный преобразователь. Так же благоприятно сказывается и на механической системе, убираю ударную нагрузку на механическую часть привода при мгновенном изменении частоты поля статора. Поэтому использование датчика интенсивности скорости в частотном преобразователе необходимо и дальнейшее моделирование будем проводить с ним.

Далее рассмотрена отработка электроприводом ножей экструдера алгоритма максимально приближенного к реальным условиям работы привода.

Моделирование выполнено по следующему циклу работы (рисунок 30):

- пуск без нагрузки на минимальную рабочую частоту $f_{\text{мин. раб}} = 30$ Гц ;
- увеличение нагрузки до номинальной;
- переход под нагрузкой до максимальной рабочей частоты $f_{\text{макс. раб}} = 50$ Гц ;
- снятие нагрузки и переход на работу на холостом ходу;
- остановка электропривода;

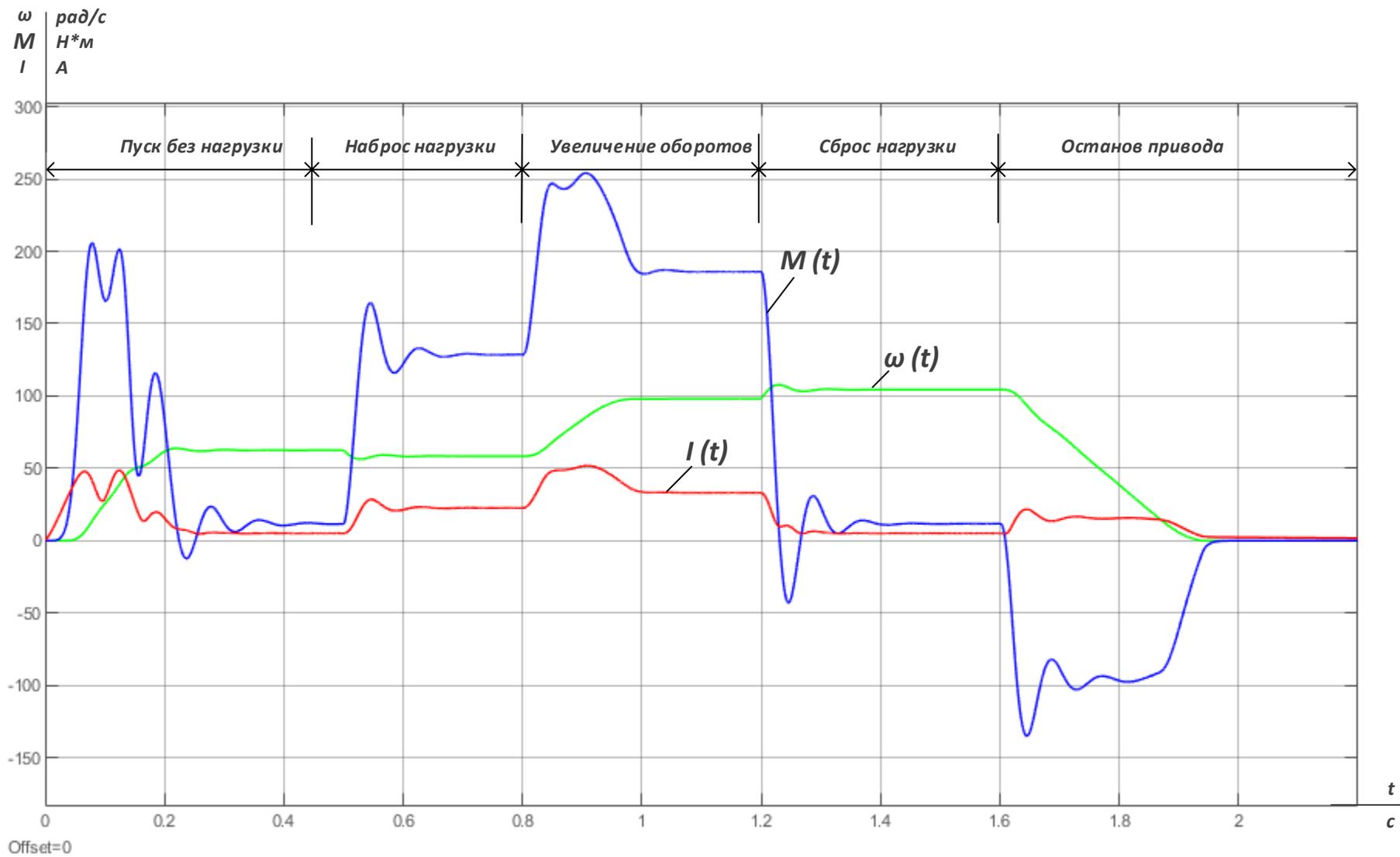


Рисунок 31. Результаты имитационных исследований регулируемого электропривода ножей экструдера при работе по заданному алгоритму

Полученные результаты имитационных исследований на рисунках 26-31 показывают, что частотно-регулируемый асинхронный электропривод ножей экструдера со скалярным законом управления $\frac{U}{f} = const$, корректировкой вольт-частотной характеристики и задатчиком интенсивности обеспечивает пуск приводного электродвигателя с начальной частоты $f_{\text{мин}} = 5$ Гц, а также требуемый диапазон регулирования скорости режущего механизма.

Переходные процессы в электроприводе ножей экструдера 2300.2 протекают плавно с ограничением динамического момента и тока приводного двигателя, за исключением момента пуска электродвигателя, где, между тем, значения пускового момента в 3 раза меньше паспортного пускового момента электродвигателя.

Время пуска и электрического торможения электропривода определяется и может быть изменено путём выбора значения постоянной времени задатчика скорости [4].

5.3. Имитационное исследование работы регулируемого электропривода в режиме токоограничения

Основным режимом работы контура ограничения тока является реакция на возмущающие воздействия, в результате которых ток двигателя стремится превысить заданное допустимое значение.

Для исследования работы регулятора ограничения тока электропривода погружного насоса следует произвести пуск на максимальную скорость двигателя ножей экструдера с последующим добавлением механической линейно изменяющейся нагрузки до перехода электропривода в режим стопорения.

На рисунке 32 приведены результаты имитационных исследований работы регулятора ограничения тока регулируемого электропривода ножей экструдера

в режиме линейно нарастающего статического момента при работе на максимальной скорости до перехода электропривода ножей экструдера в режим стопорения.

Из рисунков 32 видно, что регулятор ограничения тока частотно-регулируемого электропривода обеспечивает максимальное ограничение тока на установленном уровне в 72 А, не зависимо от нагрузки.

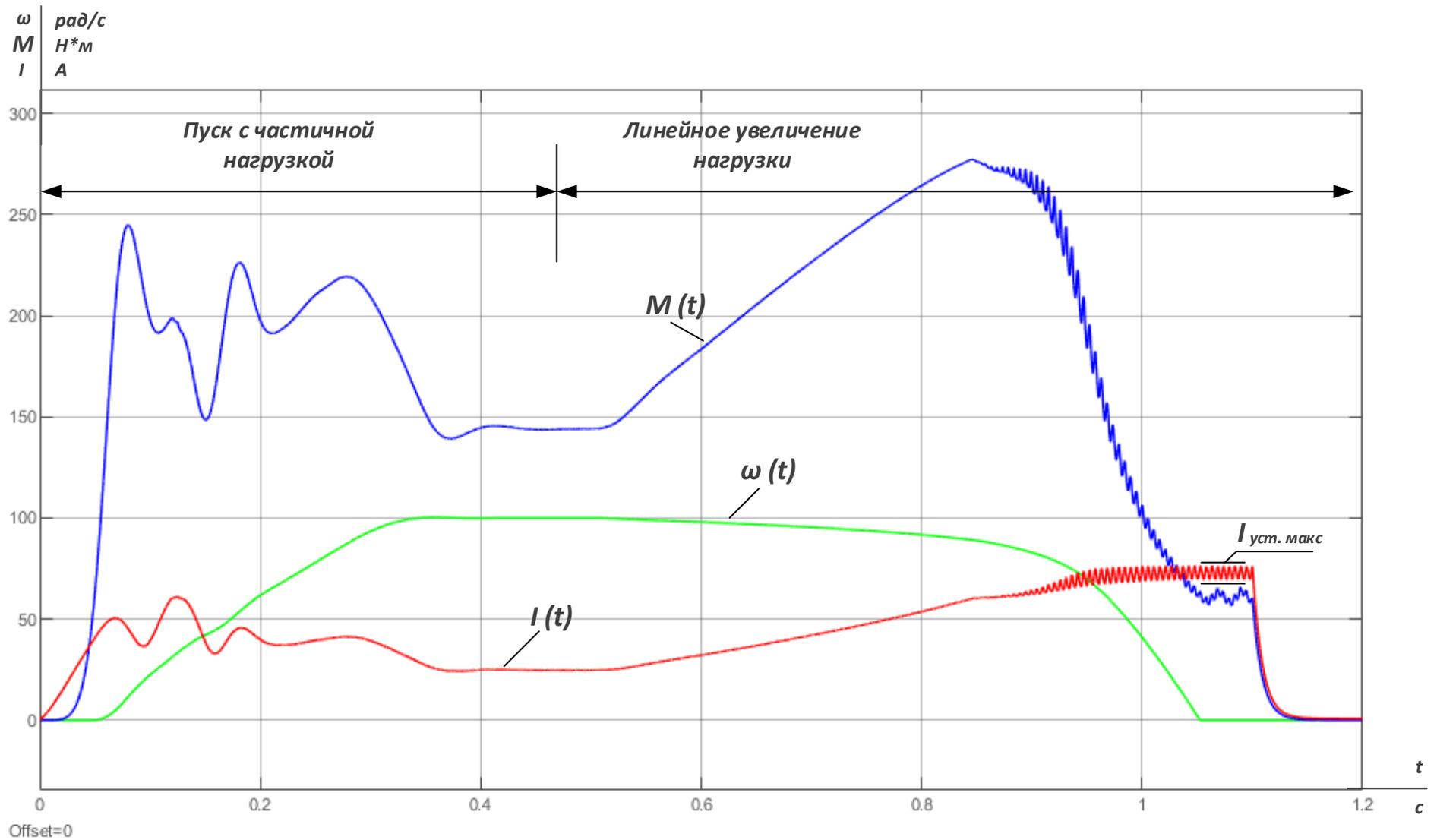


Рисунок 32. Результаты имитационных исследований регулируемого электропривода ножей в режиме токоограничения при пуске на максимальную скорость и увеличении нагрузки до полной остановки

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Богданов Андрей Игоревич

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

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

1. <i>Стоимость затрат, необходимых для реализации проекта</i>	Стоимость оборудования определяется по стоимости заводов изготовителей и официальных представителей. Заработная плата рассчитывается в соответствии с тарифными ставками сотрудников ООО «Томскнефтехим»
2. <i>Продолжительность работ по монтажу и пуско-наладке</i>	Приблизительная оценка продолжительности выполнения работ определяется на основании Федеральных единичных расценок на монтаж оборудования ФЕРм-2001

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Выбор преобразователя частоты</i>	Для выбора рассматриваются три варианта преобразователя разных производителей. Экспертная группа оценивает технические и экономические показатели каждого варианта. Для сравнения составляется оценочная карта.
2. <i>Планирование электромонтажных и пуско-наладочных работ</i>	Рассчитывается необходимое время проведения работ и количество исполнителей. Составляется линейный график выполнения монтажных и пуско-наладочных работ.
3. <i>Сметная стоимость проекта по модернизации электропривода</i>	В процессе формирования сметы проекта используется следующая группировка затрат по статьям: материальные затраты; полная заработная плата исполнителей; отчисления во внебюджетные фонды; накладные расходы
4. <i>Расчет экономии текущих расходов при эксплуатации регулируемого электропривода</i>	На основе расчета срока окупаемости капитальных вложений, за счет увеличения чистой прибыли предприятия

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценочная карта сравнения преобразователей частоты;</i>
2. <i>Линейный график проведения электромонтажных и пуско-наладочных работ.</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Богданов Андрей Игоревич		

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В данной части выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос о экономической целесообразности замены устаревшего электропривода постоянного тока на более современный привод переменного тока, состоящий из трехфазного асинхронного электродвигателя и комплектного преобразователя частоты для управления этим двигателем.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ, предлагаемых на данный момент на рынке, частотных преобразователей различных производителей, и сделать обоснованный выбор при помощи метода экспертных оценок;
- оценить необходимость, потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения работ;
- рассчитать стоимость вновь приобретаемого оборудования;
- определить смету затрат на электромонтажные и пуско-наладочные работы при замене и вводе в эксплуатацию электропривода ножей.
- дать заключение о экономической эффективности полученном в случае реализации проекта и сроках его окупаемости.

6.1. Основание для запуска проекта и его технико-экономическое обоснование

Современный рынок требует от отечественного производителя коренной реконструкции и модернизации устаревшего технологического оборудования. Совершенствование технологий производства с целью повышения качества продукции, экономии затраченных средств, внедрение новых идей и

соответственно появление новых видов продукции с новыми качествами - все это в условиях свободной конкуренции на рынке требует от товаропроизводителя совершенствоваться и внедрять новое технологическое оборудование.

В качестве объекта модернизации в данной работе выступает технологическая линия производства композиций на основе полиэтилена низкой плотности, установленная на Производстве полиэтилена ООО «Томскнефтехим». Данная линия была смонтирована и введена в эксплуатацию в 1994 году. С этого времени технологическая линия практически постоянно находилась в работе. Поэтому к настоящему моменту сложилась ситуация, когда действующее оборудование имеет большой моральный и физический износ и требует замену на более современное и надежное. Простою линии из-за отказа электрооборудования в 2018 году, по данным эксперта по надежности службы главного энергетика ООО «Томскнефтехим», составил 348 часов. Что привело к финансовым потерям предприятия из-за недовыпуска продукции. Плановый простой линии на проведение регламентных ремонтных работ на электрооборудовании составил 576 часов. Замена устаревшего электропривода гранулятора на современный частотно-регулируемый, позволит сократить время как плановых так и внеплановых остановок технологической линии.

6.1.1. Потенциальный потребитель и перспективы развития проекта

Разработка проекта производится для компании ООО «Томскнефтехим», входящей в холдинг «СИБУР».

СИБУР является крупнейшей в России интегрированной нефтехимической компанией. Производственные площадки СИБУРа находятся более чем в 20 регионах России, а продукция реализуется потребителям в 80 странах мира. Компания имеет жесткую политику в области менеджмента и клиентоориентированности. Поэтому недовыпуск продукции и как следствие невыполнение своих договорных обязательств перед потребителем является неприемлемым для компании с мировым именем. Ввиду этого СИБУР постоянно

проводит модернизацию оборудования на своих производствах и инвестирует значительные средства в обновление старых и строительство новых производств.

У СИБУРа достаточно много производственных площадок где используются технологические линии экструзии полимеров подобных модернизируемому в этом проекте. Например, только в рассмотренном нами цеху 8 таких линий, а на всех производствах «Томскнефтехим» более 20. Поэтому в случае успешной реализации данного проекта, он может быть растиражирован на остальные подобные производства по всей России, с незначительными доработками под конкретные технологические параметры.

6.1.2. Анализ и выбор преобразователя частоты

Основной статьей расходов при модернизации электропривода ножей экструдера по производству композиций является частотный преобразователь. Он же играет решающую роль в обеспечении надежности, долговечности, времени технического обслуживания и качестве регулировки технологических параметров всего механизма резки гранул. Поэтому, выбору частотного преобразователя стоит уделить особое внимание. Для нахождения наилучшего варианта необходимо рассмотреть несколько моделей различных производителей и используя метод экспертных оценок выбрать наиболее подходящий по техническим и экономическим соображениям.

Для анализа были отобраны три частотных преобразователя:

1. Преобразователь частоты VLT AUTOMATIONDRIVE FC-302P22KT5E20N1XG, 22 кВт, 400В, IP20. Производитель Danfoss, Дания. Стоимость: 3835 евро.

2. Преобразователь частоты ACS800-01-0030-3, 22 кВт, 400В, IP20. Производитель АВВ, Швеция. Стоимость: 2845 евро.

3. Преобразователь частоты VACON0100-3L-0046-5-FLOW, 22 кВт, 400В, IP20. Производитель VACON, Финляндия. Стоимость: 2150 евро.

Для проведения оценки выбраны следующие показатели: *технические*– производительность, помехозащищенность, точность регулирования, степень

защиты IP, степень стандартизации и унификации, удобство управления, открытость архитектуры (возможность обслуживающему персоналу самостоятельно производить настройку, регулировку и программирование привода, без приглашения специалистов производителя), модульность архитектуры (возможность замены отдельного, вышедшего из строя модуля, без замены всего привода), комплектация (наличия в представленной комплектации фильтров помех, эл. защит, датчиков, систем охлаждения и пр.), перегрузочная способность; *экономические* – капитальные вложения, затраты на эксплуатацию, надежность.

Каждому критерию в зависимости от важности присваивается вес от 0 до 1, так чтобы их сумма по всем критериям равнялась 1.

Оценка проводится методом экспертных оценок с оцениваем каждого критерия для всех предложенных вариантов в процессе обсуждения и коллективной работе экспертной группы.

Экспертная группа формируется из следующих специалистов:

1. Начальник участка приводной техники.
2. Начальник участка по ремонту и обслуживанию эл. оборудования Производства полиэтилен.
3. Заместитель гл. энергетика по надежности.
4. Ведущий инженер-электрик службы ЕСТЗ Производства полиэтилен.

По каждому критерию экспертной группе необходимо установить оценку по пятибалльной шкале, где наиболее низкая оценка – 0, максимально высокая - 5.

Для получения итоговой оценки для каждого варианта, необходимо просуммировать произведение балла полученного по каждому критерию на вес этого критерия.

Сравнительный анализ методом экспертных оценок представлен в табл. 9. Итоговая оценка для каждого варианта определяется по формуле [15]:

$$K = \sum_i B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность варианта;

B_i – вес i -го показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя для данного варианта.

Таблица 9 – Оценочная карта для сравнения преобразователей частоты.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Примечание
		1. Danfoss VLT FC-302	2. ABB ACS800	3. VACON-0100-3L	
Технические критерии оценки эффективности					
1. Производительность	0,10	0	0	0	равная у всех вариантов
2. Помехозащищенность	0,06	4	2	1	у 1-го варианта есть доп. фильтр от помех
3. Точность регулирования	0,05	5	5	3	у 3-го варианта низкая точность
4. Степень защиты IP	0,03	0	0	0	у всех – IP-20
5. Степень стандартизации и унификации	0,05	5	3	1	для 2-го варианта рекомендуется двигатель того же производителя
6. Удобство управления	0,10	5	3	1	в 1-м – графическая панель визуализации; во 2-м – текстовая; в 3 - панель отсутствует.
7. Открытость архитектуры	0,08	5	2	5	во 2-м производитель не предоставляет внутр. схемы преобразователя.
8. Модульность архитектуры	0,08	5	5	1	3-й вариант - только замена всего преобразователя
9. Комплектация	0,06	3	5	1	2-й вариант с входящим и выходящим фильтрами
10. Перегрузочная способность	0,04	3	5	1	2-й вариант – 1,5. Остальные – 1,3.
Экономические критерии оценки эффективности					
11. Стоимость	0,15	1	3	5	1-й самый дорогой
12. Затраты на обслуживание	0,10	4	1	5	2-й вариант предполагает наладку и обслуживание только представителями производителя.
13. Надежность	0,10	5	5	2	производитель недавно на рынке, опыт и культура производства низкие.
Итого	1,00	3,39	2,93	2,39	

По полученным итоговым оценкам (таблица 9), делаем вывод, что на наиболее подходящим под наши требования, является вариант №1 – частотный

преобразователь Danfoss VLT AUTOMATIONDRIVE FC-302, который и будем использовать в дальнейшем в проекте.

6.2. Планирование электромонтажных и пуско-наладочных работ по модернизации электропривода

Структура электромонтажных и пуско-наладочных работ определяется исходя из сложности серийно выпускаемых, освоенных промышленностью электротехнических устройств в соответствии с требованиями, правил технической эксплуатации электроустановок потребителей, межотраслевых правил по охране труда при эксплуатации электроустановок, правил устройства электроустановок, правил органов государственного надзора и другими нормативными документами.

После монтажа электрооборудования требуется произвести пуско-наладочный комплекс работы, включающий в себя проверку, настройку и испытания электрооборудования с целью обеспечения электрических параметров и режимов, заданных проектом по модернизации.

Монтажу электротехнических устройств должна предшествовать подготовка в соответствии со СНиП 12-01-2004 "Организация строительства". А при выполнении пуско-наладочных работ следует руководствоваться требованиями Правил устройства электроустановок, утвержденных в порядке, установленном СНиП 1.01.02-83 «Система нормативных документов в строительстве. Порядок разработки и утверждения нормативных документов, проектом, эксплуатационной документацией предприятий-изготовителей».

Окончательной целью монтажа и наладки электрооборудования электропривода режущего механизма на объекте, является доведение электрооборудования до требований, предъявляемых технологическим процессом производства.

Весь комплекс работ по модернизации электропривода будет выполняться по средствам личного персонала предприятия ООО «Томскнефтехим» в ежегодный остановочный капитальный ремонт.

В таблицу 10 сведен комплекс работ по модернизации электропривода ножей экструдера производства композиции поз. 2300.2, а также время выполнения каждого этапа и исполнители с указанием их квалификации.

Для оценки длительности работ, представленных в таблице 10, использовались Федеральные единичные расценки на монтаж оборудования ФЕРм-2001 [16].

Таблица 10. Планирование монтажных и пуско-наладочных работ

Наименование работ	№ раб.	Длительность работ, час	Должность исполнителя
Этап 1. Организационные работы:			
– ознакомление с рабочей документацией (проектом), выявление неточностей	1	6	Мастер
– разработка проекта производства работ	2	5	
Этап 2. Подготовительные работы:			
– производство оперативных отключений, подготовка рабочих мест	3	3	Мастер
– подготовка парка приборов и приспособлений	4	3	Электромонтер 6 разряда
– опробование электродвигателя А180М6 на холостом ходу на лабораторном стенде	5	1	Электромонтер 5 разряда
– отсоединение вала механизма резки от вала электродвигателя постоянного тока	6	3	2 слесаря-ремонтника 5 разряда (работают вместе)
Этап 3. Монтажные работы:			
– демонтаж силовой цепи электропривода	7	1	Электромонтер 6 разряда и электромонтер 5 разряда (работают вместе)
– электромонтаж силовой цепи электропривода	8	15	
– замена электродвигателя постоянного тока на А180М6 с последующим подключением	9	4	
– электромонтаж датчиков положение ножей	10	2	

– монтаж датчика давления прижима ножей	11	4	Инженер КИПиА 3 категории
– обеспечение соединение вала ножей с валом электродвигателя АИР180М6	12	3	2 слесаря-ремонтника 5 разряда (работают вместе)
Этап 4. Проверочно-наладочные работы:			
– внешний осмотр электрооборудования на соответствие проекту	13	1	Мастер и электромонтер 5 разряда (работают вместе)
– проверка правильности выполнения схем первичной и вторичной коммутации	14	1	
– измерение сопротивления изоляции	15	2	два электромонтера 6 разряда (работают вместе)
– производство высоковольтных испытаний оборудования силовой цепи электропривода	16	3	
– настройка электропривода	17	2	Электромонтер 5 разряда
– регулировка цепей защиты	18	2	Электромонтер 6 разряда
Этап 5. Комплексное опробование:			
– снятие и настройка необходимых характеристик и параметров, сопоставление их с расчетными данными проекта	19	4	Мастер, электромонтер 6 разряда и электромонтер 5 разряда (работают вместе)
– опробование оборудования вхолостую и под нагрузкой совместно с технологическим оборудованием	20	4	
Этап 6. Оформление отчетной и приемосдаточной документации:			
– обработка материалов испытаний и пуско-наладочных работ (ПНР), заполнение актов выполненных работ по ПНР	21	8	Электромонтер 6 разряда
– составление инструкций по эксплуатации	22	10	Мастер
– внесение изменений в принципиальные схемы	23	3	
– оформление и выпуск технического отчёта, подписания акта приемки пуско-наладочных работ	24	8	
– заполнение актов выполненных работ по высоковольтным испытаниям	25	2	Электромонтер 6 разряда

Количество исполнителей, задействованных в модернизации электропривода ножей подводной грануляции, а также их загруженность в проекте (по данным таблицы 10) сведены в таблицу 11.

Таблица 11. Продолжительность работ исполнителей.

№ п/п	Исполнители	Продолжительность работ, час
1	Мастер	45
2	Электромонтер 6 разряда	48
3	Электромонтер 5 разряда	35
4	Электромонтер 6 разряда	7
5	Слесарь-ремонтник 5 разряда	6
6	Слесарь-ремонтник 5 разряда	6
7	Инженер КИПиА 3 категории	4

По таблицам 10 и 11 можно сделать вывод, что в производстве работ по модернизации электропривода ножей экструдера производства композиций на основе полиэтилена низкой плотности поз. 2300.2 задействовано 7 работников. У каждого работника своя загруженность, что зависит от специфики данного оборудования и квалификации работников.

Используя графический (линейный) метод, по таблицам 10 и 11, проведем планирование работ, с учетом их взаимосвязи и последовательности выполнения во временном масштабе. Положение и длина каждой линии характеризует дату начала (окончания) и продолжительность выполнения каждой работы. На основе линейного графика определяется общая продолжительность всего комплекса работ.

Линейный график проведения работ по модернизации электропривода изображен на рисунке 33.

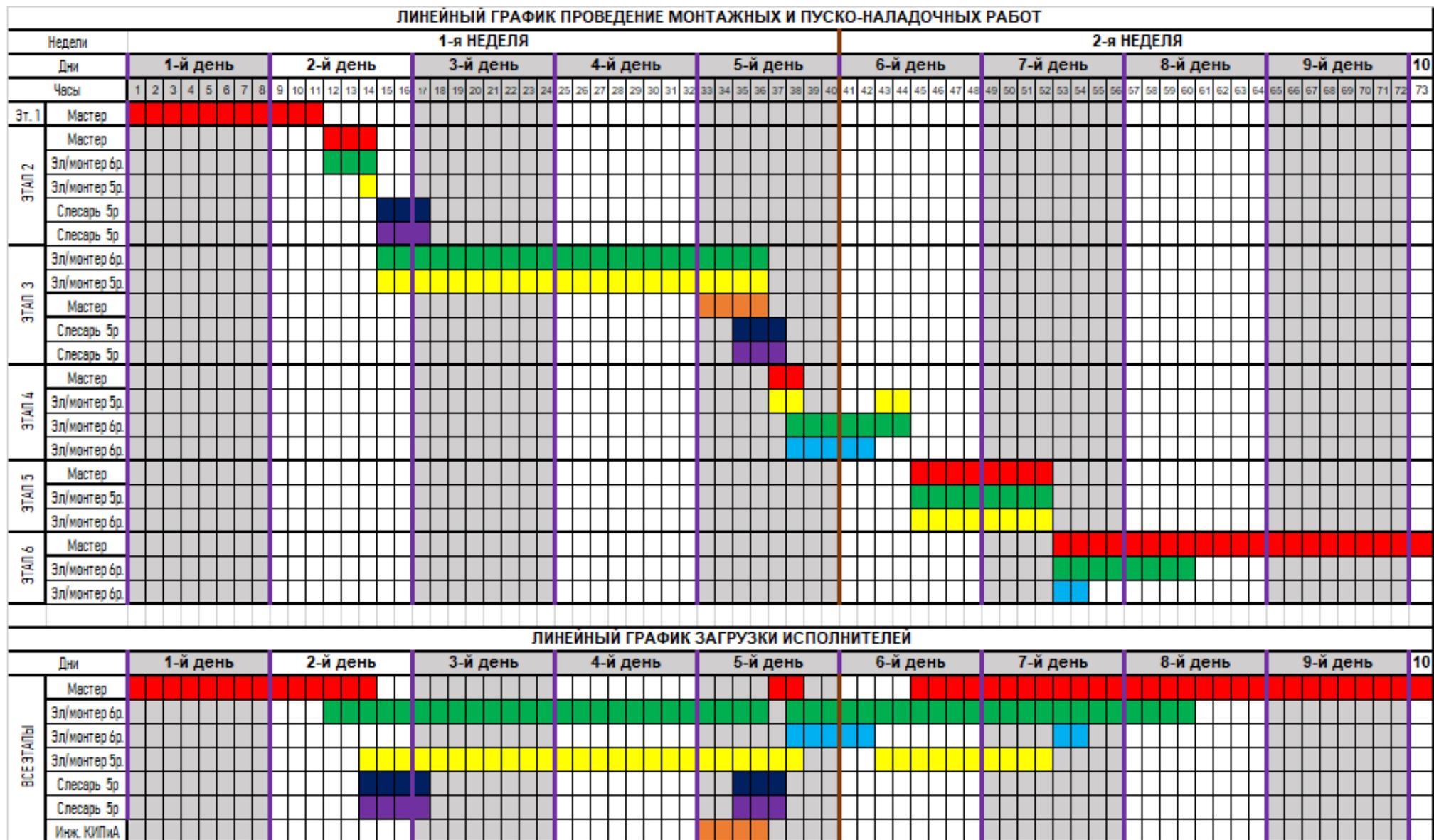


Рисунок 33. Линейный график проведения электромонтажных и пуско-наладочных работ по модернизации электропривода ножей экструдера 2300.2

Как было сказано выше, работы по модернизации электропривода ножей экструдера 2300.2 планируется выполнить в период остановочного капитального ремонта на предприятии ООО «Томскнефтехим» с 15 по 26 июля 2019 года, по средствам личного персонала предприятия. Работы спланированы при условии пятидневной рабочей неделе и восьмичасовым рабочим днем.

Исходя из линейного графика (рисунок 32) продолжительность работ по реализации проекта составляет 73 часа или 9,1 дней.

Работы выполняются в параллельно-последовательном порядке, что является хорошим решением по оптимизации сроков выполнения проекта.

Таким образом, весь комплекс работ по модернизации и вводу в эксплуатацию электропривода ножей экструдера 2300.2 будет произведен за 2 недели.

6.3. Сметная стоимость проекта по модернизации электропривода

Сметная стоимость электромонтажных и пуско-наладочных работ по модернизации электропривода ножей экструдера 2300.2 включает в себя:

- стоимость комплектующих и оборудования;
- стоимость вспомогательных материалов;
- затраты на оплату труда исполнителям проекта;
- отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- накладные расходы.

6.3.1. Стоимость оборудования по проекту модернизации

Стоимость выбранного частотного преобразователя у официального представителя «Danfoss» в России - 3835 евро (цена указана с НДС), что по состоянию на 08.05.2019 составляет 280,3 тыс. руб. (курс евро к российскому рублю по данным ЦБ на 08.05.2019 - 73,08 руб.).

Стоимость оборудования для частотно-регулируемого электропривода ножей приведена в таблице 12.

Расчет стоимости осуществляется по формуле:

$$C_i = C_i \times N_i$$

где C_i – стоимость всего оборудования i -го вида;

N_i – количество оборудования i -го вида планируемых к закупке для реализации проекта (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

Таблица 12. Стоимость оборудования для частотно-регулируемого электропривода ножей экструдера 2300.2

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Цена за единицу*, руб.	Стоимость всего, руб.
1	Асинхронный электродвигатель А180М6 IP54	шт.	1	26761	26761
2	Преобразователь частоты «Danfoss» VLT FC-302 без тормозного резистора	шт.	1	233600	233600
3	Автоматический выключатель ВА52-300	шт.	1	5800	5800
4	Магнитный пускатель ПМА-63	шт.	1	3508	3508
5	Помехоподавляющий входной фильтр MITSUBISHI ELECTRIC FR-A (F) 740-00310-00380	шт.	1	11867	11867
6	Выходной дроссель «Siemens» 6SE6400-3TC05-4DD0	шт.	1	19841	19841
7	Синусоидальный фильтр «Danfoss» MCC 101	шт.	1	11858	11858
8	Кабель силовой КВВГ 4х6	м.	28	257	7196
9	Провод ПВ 1-6 желто-зеленый	м.	10	65	650
	Итого:				321081

*Примечание. Цена без НДС.

Первоначальная стоимость оборудования, с учетом транспортно-заготовительных расходов, определяется по формуле:

$$C_{\text{пер.обр.}} = (1 + k_T) \cdot C_{\text{обр}}$$

где k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, $k_T = 0,1$;

$C_{\text{обр}}$ – итоговая стоимость оборудования по таблице 12;

Таким образом первоначальная стоимость оборудования составит:

$$C_{\text{пер.обр.}} = 1,1 \cdot 321081 = 353,2 \text{ тыс. руб.}$$

6.3.2. Стоимость вспомогательных материалов по проекту модернизации

Стоимость вспомогательных материалов для частотно-регулируемого электропривода ножей приведена в таблице 13.

Расчет стоимости каждого вида материала производится так же, как и для оборудования (таблица 12).

Таблица 13. Стоимость вспомогательных материалов

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Количество	Цена за единицу, руб.	Стоимость всего, без налога, руб.
1	Изоленга ПВХ синяя	шт.	1	27	27
2	Изоленга ПВХ желтая	шт.	1	27	27
3	Изоленга ПВХ зеленая	шт.	1	27	27
4	Изоленга ПВХ красная	шт.	1	27	27
5	Наконечники НКИ \varnothing 6. 5мм	уп.	1	570	570
6	Спирт технический	л.	0.25	200	50
7	Листовой электротехнический текстолит	кг.	3	680	2040
-	Итого:	-	-	-	2768

Первоначальная стоимость вспомогательных материалов, с учетом транспортно-заготовительных расходов, определяется по формуле:

$$C_{\text{пер.мат.}} = (1 + k_T) \cdot C_{\text{мат}}$$

где k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы. Для вспомогательных материалов $k_T = 0,05$;
 $C_{\text{мат}}$ – итоговая стоимость оборудования по таблице 5.

Таким образом первоначальная стоимость оборудования составит:

$$C_{\text{пер.мат.}} = 1,05 \cdot 2768 = 2,9 \text{ тыс. руб.}$$

6.3.3. Расчет заработной платы

Далее произведем расчет расходов на оплату труда исполнителям электромонтажных и пуско-наладочных работ по замене электропривода ножей экструдера 2300.2.

При выполнении данного комплекса работ применяется повременная оплата труда. При такой системе заработная плата работников определяется фактически отработанным временем.

Заработная плата по тарифу определяется по формуле:

$$Z_{\text{тр}} = Z_{\text{тс}} \cdot T_p$$

где $Z_{\text{тр}}$ – тарифная заработная плата исполнителя за реализацию проекта, руб;
 $Z_{\text{тс}}$ – тарифная ставка исполнителя, руб/час;
 T_p – продолжительность работ, выполняемых исполнителем в рамках реализации проекта, часов.

Основная заработная плата (ОЗП) определяется по формуле:

$$\text{ОЗП} = Z_{\text{тр}} \cdot k_p \cdot k_n \cdot k_{np}$$

где k_p – районный коэффициент, $k_p = 1,3$;
 k_n – коэффициент, за работу во вредных условиях труда, $k_n = 1,12$;
 k_{np} – коэффициент, соответствующий премии на предприятии ООО «Томскнефтехим», $k_{np} = 1,25$.

Полная заработная плата (ПЗП), учитывающая начисления за необработанное время, подлежащее оплате в соответствии с действующим законодательством (отпуска, компенсации, пособия и т.п.) определяется по формуле:

$$\text{ПЗП} = \text{ОЗП} \cdot k_{\text{доп}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, $k_{\text{доп}} = 1,15$;

Стоимость одного часа работы работников ООО «Томскнефтехим», задействованных на работы по модернизации электропривода ножей 2300.2 и расчет их основной и полной заработной платы приведены в таблице 14.

Таблица 14. Расчет затрат на тарифную заработную плату

Исполнители	Тарифная ставка, руб/час.	Продолжительность работ по проекту, час	Заработная плата по тарифу, руб.	Основная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб.
Мастер	225	45	10125	18400	21100
Электромонтер 6 разряда	180	48	8640	15700	18100
Электромонтер 5 разряда	150	25	3750	6800	7800
Электромонтер 6 разряда	180	7	1260	2300	2600
Слесарь-ремонтник 5 разряда	135	6	810	1500	1700
Слесарь-ремонтник 5 разряда	135	6	810	1500	1700
Инженер КИПиА 3 категории	185	4	740	1300	1500
Итого	-	141	26135	47500	54500

Для расчет отчислений в внебюджетные фонды по страховым взносам используем формулу:

$$СФ = k_{внеб} \cdot ПЗП$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), $k_{внеб}=0,3$.

Тогда, отчисления во внебюджетные фонды равны:

$$СФ = 0,3 \cdot 54,7 = 16,4 \text{ тыс. руб.}$$

6.3.4. Расчет накладных расходов

Накладные расходы, как часть сметной себестоимости работ по модернизации, представляют собой совокупность затрат, связанных с созданием необходимых условий для выполнения электромонтажных и пуско-наладочных работ, а также их организацией, управлением и обслуживанием.

Накладные расходы на предприятии ООО «Томскнефтехим», по информации планово-экономического отдела предприятия, составляют 55 % основной заработной платы при производстве монтажных работ и ПНР.

Накладные расходы определяются по формуле:

$$НР = k_{НР} \cdot ОЗП \text{ руб.}$$

где $k_{НР}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, $k_{НР} = 0,55$.

Таким образом, накладные расходы равны:

$$НР = 0,55 \cdot 47,5 = 26,1 \text{ тыс. руб.}$$

Расчет сметной стоимости реализации всего проекта по модернизации привода ножей экструдера 2300.2 приведен в таблице в таблице 15.

Таблица 15. Сметная стоимость на проведение работ по проекту

№ п/п	Наименование статей	Сумма, тыс.руб.	Структура затрат, %
1	Оборудование и комплектующие	353,2	78,0
2	Вспомогательные материалы	2,9	0,6
3	Заработная плата	54,7	12,0
4	Отчисления во внебюджетные фонды	16,4	3,6
5	Накладные расходы	26,1	5,8
-	Итого	453,3	100,0

Сметная стоимость на проведение электромонтажных и пуско-наладочных работ по модернизации электропривода механизма резки экструдера 2300.2 собственными силами работников ООО «Томскнефтехим» равна 453,3 тыс. руб.

6.4. Расчет экономии текущих расходов при эксплуатации регулируемого электропривода

После модернизации электропривода ножей экструдера 2300.2 изменяется следующие статьи текущих расходов предприятия ООО «Томскнефтехим»:

1. Расходы на электроэнергию потребляемую электроприводом ножей.
2. Расходы, связанные с простоями технологической линии из-за внеплановых остановок по причине отказа электрооборудования.
3. Налог на имущество.

6.4.1. Расчет экономии на электроэнергию

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

$$W_{\text{сил эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}},$$

где $P_{уст}$ – мощность установленного электропривода ножей, $P_{уст}=18,5$ кВт;
 F_d – действительный годовой фонд времени работы оборудования,
 $F_d=8050$ часов;
 k_M – коэффициент одновременного использования электродвигателей,
 $k_M=0.65$;
 k_B – коэффициент использования оборудования по машинному
времени, $k_B=0.8$;
 k_3 – средний коэффициент загрузки оборудования, $k_3=0.75$;
 k_c – коэффициент, учитывающий потери в сети, $k_c=0.95$ (информация
предоставлена службой главного энергетика предприятия);
 $k_{дв}=0.9 \div 0.93$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях,
 $k_{дв}=0.9$.

Таким образом, расход электроэнергии после модернизации составит:

$$W_{расчет} = \frac{18.5 \cdot 8050 \cdot 0.65 \cdot 0.8 \cdot 0.75}{0.9 \cdot 0.95} = 68000 \text{ кВт} \cdot \text{час} / \text{год}$$

До модернизации, затраты на силовую электроэнергию составляли $W_{2018}=97600$ кВт·час/год (за 2018 год, по данным инженера по учету электроэнергии службы главного энергетика).

Исходя из этого, годовую экономию на электроэнергии можно определить по выражению:

$$C_{эл}^{выгод.} = (W_{2018} - W_{расчет}) \cdot C_э$$

где $C_{эл} = 4,2$ руб/кВт·час – стоимость одного кВт·час электроэнергии по данным экономического отдела.

Таким образом, годовая экономия на электроэнергии составит:

$$C_{эл}^{выгод.} = (97623 - 67938) \cdot 4,2 = 125 \text{ тыс. руб.} / \text{год}$$

6.4.2. Расчет расходов, связанных с отказом электрооборудования

Согласно данным эксперта по надежности службы главного энергетика, время простоя технологической линии 2300.2 по причине отказа электрооборудования в 2018 году составило 348 часов (более 4%). При этом недовыпуск продукции можно определить по выражению:

$$Q_{\text{потер.прод}} = T_{\text{простоя}} \cdot Q_{\text{ЭКС}}$$

где $T_{\text{простоя}}$ - время простоя экструдера, $T_{\text{простоя}} = 348$ часов

$Q_{\text{ЭКС}}$ - производительность экструдера $Q_{\text{ЭКС}} = 18 \text{ т/сут} = 0,75 \text{ т/час}$

Недовыпуск продукции за 2018 год составил:

$$Q_{\text{потер.прод}} = 348 \cdot 0,75 = 261 \text{ тонн.}$$

При реализации проекта по модернизации электропривода ножей, удастся сократить время аварийного простоя как минимум на 20%, следовательно, сокращение недовыпуска продукции можно определить, как:

$$Q_{\text{сокр.потерь}} = Q_{\text{потер.прод.}} \cdot 0,2$$

Подставив численные значения получим:

$$Q_{\text{сокр.потерь}} = 261 \cdot 0,2 = 52 \text{ тонн/год}$$

Увеличение прибыли предприятия, полученное в связи с сокращением времени простоя технологической линии, можно определить по формуле:

$$PP_{\text{сокр.потерь}} = Q_{\text{сокр.потерь}} \cdot PP_{\text{за 1 т.}}$$

где $PP_{\text{за 1 т.}}$ - прибыль от реализации одной тонны продукции (композиция полиэтилена, марка 153-10K), по данным экономического отдела «Томскнефтехим».

Таким образом, увеличение прибыли составит:

$$PP_{\text{сокр.потерь}} = 52 \cdot 23,5 = 1,2 \text{ млн. руб. / год}$$

6.4.3. Расчет изменения налога на имущество

Увеличение налога на имущество для предприятия, при реализации проекта, можно определить по формуле:

$$H_{\text{им}} = K \cdot H_A$$

где K – сметная стоимость оборудования и его монтаж с ПНР;

H_A – налоговая ставка отчисления за имущество, $H_A=0,022$

Подставив значения, получим:

$$H_{\text{им}} = 453,3 \cdot 0,022 = 10 \text{ тыс. руб.}$$

Изменение статей текущих расходов, полученные благодаря модернизации электропривода ножей экструдера 2300.2 за один год эксплуатации представлены в таблице 16.

Таблица 16. Изменение статей текущих расходов предприятия.

Наименование статей	Изменение, тыс.руб. / год
Экономия расходы на электроэнергию	125
Сокращение расходов, связанных с отказом электрооборудования	1200
Увеличение налог на имущество	-10
Итого	1315

Таким образом увеличение прибыли предприятия за один год составит:

$$\Delta ПР_1 = 1,3 \text{ млн.р.}$$

Увеличение чистой прибыли предприятия от реализации проекта за один год, можно определить, как:

$$\Delta ЧП_1 = \Delta ПР_1 - \Delta ПР_1 \cdot H_{np}$$

где H_{np} – ставка налога на прибыль, $H_{np} = 0,2$.

Подставив значения, получим:

$$\Delta ЧП_1 = 1,3 - 1,3 \cdot 0,2 = 1,04 \text{ млн.руб.}$$

Срок окупаемости затрат по проекту модернизации, определяется по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\Delta ЧП_1}$$

Подставив значения, получим:

$$T_{\text{ок}} = \frac{0,453}{1,04} = 0,44 \text{ года.}$$

Срок окупаемости проекта около пяти месяцев.

В экономической части выпускной квалификационной работы по модернизации электропривода ножей грануляции рассмотрены вопросы планирования и проведения электромонтажных и пуско-наладочных работ данной электромеханической системы. Составлена смета на проведение монтажных работ и ПНР.

Работы по модернизации электропривода ножей экструдера 2300.2 будут выполнены семью работниками предприятия ООО «Томскнефтехим» во время остановочного капитального ремонта 2019г. Все работы планируется провести за две недели. Затраты на полную заработную плату составили 54,7 тыс. руб. Сметная стоимость реализации составила 453,3 тыс. руб., из них около 78% от общей суммы потрачена на закупку оборудования и комплектующих.

Расчет окупаемости модернизации электропривода ножей 2300.2 показал, что вложения на реализацию проекта окупятся всего за пять месяцев, при этом, к тому же, улучшится технологический процесс гранулирования, увеличится срок эксплуатации данного электропривода и главное будет значительно сокращено время планового (для ТО) и непланового (по причине отказа) простоя электрооборудования. Это позволит сократить недовыпуск продукции и исключить невыполнение договорных обязательств с покупателями продукции.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Богданов Андрей Игоревич

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	Частотно-регулируемый электропривод ножей экструдера переработки полиэтилена.
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является рабочее место машиниста экструдера переработки полиэтилена Производства полиэтилена предприятия ООО «Томскнефтехим»
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Законы, постановления и кодексы РФ. А также, иные нормативные акты регламентирующие вопросы промышленной безопасности
2. Производственная безопасность 2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов 2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на работающего 2.3 Пожарная безопасность	Основными вредными факторами являются: - Движущиеся механизмы и части об-ния; - Повышенная загазованность и запыленность воздуха рабочей зоны; - Повышенная температура оборудования; - Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация); - Акустические колебаниями (шум); - Поражение электрическим током; - Отклонение показателей микроклимата; - Недостаточная освещенность рабочей зоны
3. Охрана окружающей среды и экологическая безопасность	Анализ воздействия на окружающую среду и образование отходов.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации аварии

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику:	05.03.2019
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Богданов Андрей Игоревич		

7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Данный раздел посвящен вопросам обеспечения необходимых условий труда и безопасности в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросам экологической безопасности. В нашей выпускной квалификационной работе рассматривается модернизация электропривода ножей гранулирующей головки экструдера по производству композиции на основе полиэтилена низкой плотности, технологическая позиция 2300.2. Поэтому вопросы производственной и экологической безопасности будут рассмотрены в пределах данной технологической линии.[17]

Основным сырьем для производства композиции является базовая марка полиэтилена 153К. В экструдере 2300.2 к добавляется концентрат и перемешивается с помощью шнеков. При этом полиэтилен разогревается и плавится с помощью электрических нагревательных элементов, расположенных на корпусе экструдера и гранулятора. Расплав в жидком виде продавливается через фильеру и режется ножами на гранулы. Далее гранулы с помощью пневмотранспорта перемещаются в продуктовый бункер для дальнейшей фасовки и отгрузки.

Важно отметить, что предприятия ООО «Томскнефтехим» входит в государственный реестр особоопасных производственных объектов (ОПО) РФ, так как является взрывопожароопасным производством.

7.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовую основу обеспечения безопасности деятельности составляют соответствующие законы и постановления, принятые представительными органами Российской Федерации, а также подзаконные акты: указы президентов, постановления, принимаемые правительством Российской Федерации и

входящих в него государственных образований, местными органами власти и специально уполномоченными на то органами.

Базовыми законодательными актами по вопросам обеспечения безопасности, являются:

- федеральный закон N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов";
- федеральный закон N 68-ФЗ "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера";
- федеральный закон N 52-ФЗ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения";
- закон РСФСР N 2060-1 (ред. от 10.01.2002) "Об охране окружающей природной среды";
- закон РФ N 2395-1 "О недрах";
- федеральный закон N 174-ФЗ "Об экологической экспертизе";

Трудовые отношения на предприятии ООО «Томскнефтехим» регулируются «Трудовым кодексом Российской Федерации» [21], коллективным договором данного предприятия, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.

Ведением технологического процесс производства композиции на экструдере 2300.2 осуществляется машинистом гранулирования пластмасс 5, 6 разряда. Его рабочим местом является экструдерный зал, расположенный на отм. 7.200 корпуса 428 Производства полиэтилена предприятия ООО «Томскнефтехим. В экструдерном зале расположены 8 технологический линий по производству композиций. Площадь экструдерного зала – 1800 м². Категория помещения по пожарной опасности – В2.

Количество машинистов постоянно находящихся на смене, по штатному расписанию, – 2 человека, из них хотя бы один должен иметь 6 разряд. Допускается одновременная работа не более чем на трех экструдерах одновременно.

Поскольку производство работает постоянно без остановок (24 часа в сутки), на предприятии трудовой процесс ведется по нескольким утвержденным графикам: график №1 - для дневного персонала с 40-часовой 5-ти дневной рабочей неделей; график №2 – для сменного персонала с 12-часовой рабочей сменой и чередованием дневных и ночных смен; график №4 – для дневного сменного персонала с 12-часовой рабочей сменой и чередование 2 смены в день/2 выходных [5]. Сверхурочная работа и работа в выходные и праздничные дни оплачивается в увеличенном размере в соответствии с Трудовым кодексом Российской Федерации» [21] и коллективным договором предприятия.

7.2. Производственная безопасность

Технологическая линия производства композиции 2300.2 относится к опасным производственным объектам. Пыль полиэтилена и добавочных концентратов могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси. Открытое пламя, электрическая искра, разряд статического электричества могут быть причиной взрывов и пожаров на производстве. Нижний концентрационный предел воспламенения пыли полиэтилена 12.6 г/куб.м. ПДК в воздухе рабочей зоны 10 мг/м³. Температура воспламенения 384 °С. Температура самовоспламенения 410 °С.

При нарушении требований охраны труда, эксплуатации оборудования, норм технологического режима могут возникать ситуации, приводящие к авариям и травмам.

Опасные и вредные факторы, воздействующие на работающего на линии 2300.2 приведены в таблице 17.

Таблица 17. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Проектиро- вание	Эксплуата- ция	Тех. обслуж. и ремонт	
1. Движущиеся механизмы, незащищенные подвижные элементы оборудования		+	+	ГОСТ 12.2.003-74 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
2. Повышенная загазованность и запыленность воздуха рабочей зоны.		+	+	ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы.
3. Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов и повышенная температура в рабочей зоне.		+		СП 2.2.2.1327-03 Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту.
4. Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).		+		ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
5. Акустические колебаниями в производственной среде (шум)		+		СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
6. Поражение электрическим током		+	+	Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок
7. Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды и освещенности на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)		+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений"
8. Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95[28].

7.2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

- *Движущиеся механизмы, незащищенные подвижные элементы оборудования.*

Основными причинами травмирования рабочих при эксплуатации экструдера 2300.3 является движущееся и вращающееся оборудование, используемое на линии. Это насосы, вентиляционные установки, экструдеры, грануляторы и т.д. Они являются потенциальными источниками механических травм при нарушении правил обслуживания, эксплуатации и при отсутствии ограждений.

- *Повышенная загазованность и запыленность воздуха рабочей зоны.*

Экструдер 2300.2 работает при температуре расплава около 200 °С. При нагреве полиэтилена и его сополимеров до такой температуры происходит выделение в воздух рабочей зоны летучих продуктов термоокислительной деструкции, содержащих органические кислоты, карбонильные соединения, в том числе, вредные для организма человека вещества, формальдегид, ацетальдегид и окись углерода.

- *Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов и повышенная температура в рабочей зоне.*

Для перемешивания и экструзии композиции, базовый полиэтилен и концентрат добавки разогреваются в цилиндре экструдера до 200 °С. Для разогрева и поддержания температуры используются электрические тэны, температура которых при работе достигает 450 °С. В местах отсутствия теплоизоляции на головке гранулятора и экструдере, а также при нарушении герметичности оборудования существует опасность получения термического ожога. Так же, экструдера при работе являются мощным источником тепла, что сказывается на температуре рабочей зоны.

➤ *Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).*

Источником вибрации являются вращающиеся механизмы имеющие достаточно большую массу и скорость вращения. Колебания могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а также опорно-двигательной системы человека. Параметры вибрации регламентируются санитарными нормами и ГОСТом. Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ составляет – 90дБ.

➤ *Акустические колебаниями в производственной среде(шум).*

Шум на рабочем месте оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека и результаты его деятельности. Значительный уровень шума так же приводит к снижению внимания, повышению травматизма. Источниками шума на технологической линии производства композиции 2300.2 являются механизмы работающие с высокой скоростью, такие как – центрифуги, насосы, вентиляторы, комкоотделители и пр.

➤ *Поражение электрическим током.*

Для осуществления технологического процесса на установке используется электроэнергия. При неисправности электрооборудования, электрических сетей, а также при несоблюдении правил электробезопасности существует опасность поражения электрическим током.

➤ *Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды и освещенности на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)*

В помещениях, в которых находятся линии производства композиции 2300.2 при выполнении работ, связанных с нервно-эмоциональным напряжением, должны поддерживаться комфортные метеорологические условия внешней среды: температура, влажность, скорость движения воздуха, освещенность. В основу нормирования микроклимата положены условия, при

которых организм человека сохраняет нормальный тепловой баланс за счет определенных физиологических процессов (прилив крови к кожному покрову, потоотделение и др.), благодаря которым осуществляется терморегуляция, обеспечивающая сохранение постоянной температуры тела путем теплового обмена с внешней средой. При несоблюдении норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных. Оптимальная для работы температура составляет: 25 °С.

- *Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)*

Безопасность на производстве в значительной мере зависит от освещения. Свет влияет на физиологическое состояние человека, правильно организованное освещение стимулирует протекание процессов высшей нервной деятельности и повышает работоспособность. При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность ошибочных действий. Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность. Освещение должно быть достаточное, равномерное, без слепящего действия.

7.2.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на работающего

- *Движущиеся механизмы, незащищенные подвижные элементы оборудования.*

Все вращающиеся и движущиеся части механизмов должны быть ограждены различными защитными ограждениями, решетками и кожухами. Исправность защитных ограждений необходимо проверять каждый раз перед

началом работы оборудования, и ежесменно при работе оборудования. Для защиты рук, необходимо использовать различные (в зависимости от вида выполняемых работ) перчатки и рукавицы. На рукавах, куртках и брюках рабочей спецодежды должны быть застегнуты на все пуговицы, молнии и т.д. для предотвращения зацепления вертящимися механизмами свободно болтающихся элементов одежды.

➤ *Повышенная загазованность и запыленность воздуха рабочей зоны.*

Для удаления загазованность необходимо постоянное обновление воздуха в машинном зале установки экструдеров. Для этого используется система принудительной приточно-вытяжной вентиляции. К индивидуальным средствам защиты относятся противопылевые респираторы, защитные очки, специальная противопылевая одежда.

➤ *Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов и повышенная температура в рабочей зоне.*

Для предотвращения получения термических ожогов все оборудование имеющее повышенную температуру поверхности, так же должно быть ограждено различными защитными ограждениями, решетками и кожухами. Персонал осуществляющий обслуживание данной технологической линии должен применять индивидуальные средства защиты, такие как: различные перчатки и рукавицы, специальную одежду и обувь. Для регулирования температуры рабочей зоны используется приточно-вытяжная вентиляция.

➤ *Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).*

Снижение неблагоприятного воздействия вибрации ручных механизмов на машиниста экструдера достигается как путем уменьшения интенсивности вибрации непосредственно в ее источнике (за счет конструктивных усовершенствований), так и средствами внешней виброзащиты, которые

представляют собой упругодемпфирующие материалы и устройства, размещенные между источником вибрации и руками оператора.

В качестве средств индивидуальной защиты работающих используют специальную обувь на массивной резиновой подошве. Для защиты рук служат рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготовляют из упругодемпфирующих материалов.

➤ *Акустические колебаниями в производственной среде(шум).*

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 предусматриваются и имеются на линиях экструзии:

- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы);
- а также, обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты по ГОСТ 12.4.011 – 89;

➤ *Поражение электрическим током.*

Во избежание поражения электрическим током необходимо перед началом работ проверить состояние всех электрических кабелей и заземлений. Кабеля не должны иметь повреждений, распределительные коробки и места присоединения кабелей к оборудованию и электродвигателям должны быть закрытыми, заземления целыми и прочно соединены с оборудованием.

➤ *Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды и освещенности на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)*

Для обеспечения нормального микроклимата на технологической линии 2300.2, в соответствии с [18] предусматривается:

- вентиляция приточно-вытяжная с центробежными вентиляторами (кратность воздухообмена 1);

- системы местных отсосов для удаления вредных, пожароопасных и взрывоопасных веществ от мест их образования и выделения;
- системы воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;
- герметизация технологического оборудования.

Допустимые параметры микроклимата, на основании [18], приведены в таблице 18.

Таблица 18. Допустимые параметры микроклимата

Показатели	Холодное время года	Тёплое время года
1. Температура воздуха, °С		
– диапазон ниже оптимальных величин	19.0-20.9	20.0-21.9
– диапазон выше оптимальных величин	23.1-24.0	24.1-28.0
2. Относительная влажность, %	15-75	15-75
3. Удельный расход воздуха, м ³ /ч	8.5	8.5
4. Скорость движения воздуха, м/с		
– для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	0.1	0.1
– для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более	0.2	0.3
5. Температура поверхностей, °С	18.0-25.0	19.0-29.0

При обеспечении допустимых величин микроклимата на рабочем месте технологического и обслуживающего персонала должны соблюдаться условия:

- перепад температуры воздуха по высоте не более 3 °С;
- перепад температуры воздуха по горизонтали и изменение в течение смены – 4 °С.

Оптимальная для работы температура составляет: 25 °С.

➤ *Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)*

В помещении корпуса 428, предприятия ООО «Томскнефтехим», в котором находятся технологические линии производства композиции, предусматривается освещение в соответствии со СНиП 23 – 05 – 95:

- искусственное освещение, комбинированная система (источники освещения: лампы накаливания, лампы газоразрядные);
- рабочее освещение, для освещения помещения в соответствии с характером выполняемых работ применяют люминесцентные лампы низкого давления дневного света с исправленной цветностью ЛДЦ, и дневного света ЛД со светильниками рассеянного света пылеводозащищённые типа ПВЛМ;
- аварийное, для продолжения работ при отключении рабочего освещения (питание от независимого источника энергии – аккумуляторных батарей) с лампами накаливания в универсальных светильниках прямого света типа «Астра», УПМ-15, светильник типа ПСХ;
- эвакуационное (по основным проходам и лестничным клеткам).

7.2.3. Пожарная безопасность

Причинами возникновения аварий и аварийных ситуаций, вызывающих пожар, является наличие утечек, свищей, неплотности фланцевых соединений оборудования, коммуникаций и нарушение герметичности мягких патрубков, разгерметизация оборудования, нарушение контура заземления оборудования, коммуникаций, неисправность системы «азотного дыхания».

В случае загорания продуктов, загазованности, разгерметизации оборудования, коммуникаций, мягких патрубков первый заметивший окриком оповещает окружающих о пожаре, сообщает об аварии (о пожаре) начальнику пожарной смены по номеру телефона 70-30-01, для IP-телефона 30-01, с мобильного 101 или 112, либо по радиосвязи или селектору. Приступает к выводу посторонних, оказанию первой помощи пострадавшим, локализации и ликвидации аварии и действует согласно «ПЛАС» (план ликвидации аварийных ситуаций) под руководством начальника смены.

Для тушения возможных загораний на технологической линии применяются:

- песок;

- огнетушители ОП-8;
- вода;
- асбестовое полотно для тушения небольших возгораний на задвижках, фланцах и другой арматуре.

Кроме этого предусмотрено автоматическое пожаротушение и пожарные краны.

Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями. Системы пожарной безопасности должны выполнять следующие задачи:

- исключать возникновение пожара;
- обеспечивать пожарную безопасность людей;
- обеспечить пожарную безопасность материальных ценностей.

Также в помещениях, в которых находятся линии производства композиций, должен быть разработан план эвакуации при пожаре, в котором должны быть отмечены все выходы из помещения.

7.3. Охрана окружающей среды и экологическая безопасность

Для нормального дальнейшего развития любого производства необходимо проводить огромную работу по охране окружающей среды. [19].

Охрана окружающей среды основана на системе государственных, юридических, общественных, технических мероприятий, направленных на поддержание благоприятных условий среды обитания и рациональное использование материальных и энергетических ресурсов.

Охрана окружающей среды на ООО «Томскнефтехим» в целом, и на линии производства композиции 2300.2 в частности, реализуется за счет высокого уровня технических решений действующих производств. Эффективную реализацию экологической политики обеспечивает эксплуатация специальных

объектов природоохранного назначения. Это накопитель производственных отходов, локальные очистные сооружения, газопылеулавливающие установки, ливневые амбары и др. Организованная на ООО «Томскнефтехим» система управления в сфере природопользования и охраны окружающей среды также является залогом успешного и экологически чистого функционирования всех производств предприятия.

С 1983 г. на предприятии работает Отдел охраны окружающей среды, основная задача которого – организация производственной и хозяйственной деятельности подразделений в соответствии с требованиями природоохранного законодательства, обеспечение соблюдения установленных экологических нормативов, организация производственного контроля с целью минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

С целью реализации экологических целей, для повышения эффективности управления системой природопользования и экологической безопасности, снижения вероятности экологических рисков на предприятии ежегодно разрабатывается Целевая программа «Регулирование качества окружающей среды».

Контроль за состоянием окружающей среды в районе предприятия осуществляется аккредитованной Центральной лабораторией аналитического контроля промышленной санитарии и охраны окружающей среды (ЦЛАК ОСиПС) в соответствии с утвержденной программой производственного контроля за влиянием хозяйственной деятельности и мониторинга окружающей среды.

Фактический объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при работе технологической линии 2300.2 не превышает нормативов, установленных в разрешении на выброс. Контроль качества атмосферного воздуха по 17 ингредиентам на границе санитарно-защитной зоны предприятия еженедельно осуществляет ЦЛАК ОСиПС. В год выполняется более 2000 анализов, за 2018 превышений в контрольных точках не зарегистрировано.

7.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Поскольку предприятие ООО «Томскнефтехим» входит в государственный реестр особоопасных производственных объектов (ОПО) РФ, а так же, является взрывопожароопасным производством, оно осуществляет свою деятельность в соответствии с Федеральным законом N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" [22].

Согласно этого закона, в целях обеспечения готовности к действиям по локализации и ликвидации последствий аварии организация, обязана [21]:

- планировать и осуществлять мероприятия по локализации и ликвидации последствий аварий на опасном производственном объекте;
- заключать с профессиональными аварийно-спасательными службами или с профессиональными аварийно-спасательными формированиями договоры на обслуживание, а в случаях, предусмотренных настоящим Федеральным законом, другими федеральными законами и принимаемыми в соответствии с ними иными нормативными правовыми актами Российской Федерации, создавать собственные профессиональные аварийно-спасательные службы или профессиональные аварийно-спасательные формирования, а также нештатные аварийно-спасательные формирования из числа работников;
- создавать на опасных производственных объектах I и II классов опасности, на которых ведутся горные работы, вспомогательные горноспасательные команды в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке и реализации государственной политики, нормативно-правовому регулированию в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций;
- иметь резервы финансовых средств и материальных ресурсов для локализации и ликвидации последствий аварий в соответствии с законодательством Российской Федерации;

- обучать работников действиям в случае аварии или инцидента на опасном производственном объекте;

- создавать системы наблюдения, оповещения, связи и поддержки действий в случае аварии и поддерживать указанные системы в пригодном к использованию состоянии.

На предприятии разработан и утвержден план мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий (ПЛАС). В ПЛАС обозначены все возможные чрезвычайные ситуации которые могут возникнуть в процессе эксплуатации опасного производственного объекта и мероприятия по локализации и ликвидации этих ситуаций, с подробным указанием действий персонала и ответственных лиц. На предприятии ежемесячно проводятся учения и противоаварийные тренировки по действиям при возникновении чрезвычайных ситуаций в том числе и учения по ПЛАС. Не реже одного раза в месяц, согласно утверждённого графика, для каждого цеха предприятия проводятся учения с выездом спасательного отряда МЧС России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей выпускной квалификационной работе произведена модернизация электропривода ножей гранулирующей головки экструдера 2300.2 дополнительной переработки полиэтилена на основе технического углерода производства полиэтилен предприятия ООО «Томскнефтехим».

Предоставлено обоснование необходимости замены устаревшего электропривода постоянного тока на современный частотно-регулируемый привод переменного тока. Осуществлён выбор системы управления электроприводом ножей экструдера и, на основании этого, разработан и исследован частотно-регулируемый однозонный электропривод со скалярным законом управления, с корректировкой вольт-частотной характеристики и ограничением тока двигателя.

Имитационные исследования показали, что разработанный электропривод полностью удовлетворяет техническим требованиям, предъявляемым к нему, и обеспечивает высокий уровень защиты электродвигателя. Переходные процессы в электроприводе погружного насоса протекают относительно плавно с ограничением динамического момента и тока приводного двигателя.

Практическими ценностями работы являются: функциональная схема регулируемого электропривода ножей экструдера, принципиальная электрическая силовая схема, имитационная модель для исследования параметров частотно-регулируемого привода в компьютерной среде *MATLAB-Simulink*.

В экономической части выпускной квалификационной работы рассмотрены вопросы планирования и проведения электромонтажных и пуско-наладочных работ, составлена смета на проведение данных работ. Также следует отметить, что модернизация электропривода является экономически выгодной, а срок окупаемости составит менее одного года после ввода в эксплуатацию данной электромеханической системы.

Рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности, пожарной безопасности и охраны окружающей среды при работе линии дополнительной переработки полиэтилена. Определены вредные и опасные производственные факторы. Разработаны мероприятия по уменьшению воздействия из на сотрудников компании.

Данная тема является актуальной, а работа имеет практическое применение. Осуществление этого проекта, по модернизации электропривода ножей экструдера 2300.2, позволит увеличить срок службы технологического оборудования, сократить расходы связанные с неплановыми остановками экструдера из-за отказа электрооборудования, а также оптимизировать и автоматизировать работу всей технологической линии производства композиции 410 цеха предприятия ООО «Томскнефтехим».

CONCLUSION

In this final qualifying work, the electric drive of the knives of the granulating extruder head 2300.2 of additional processing of polyethylene based on carbon black production of polyethylene produced by LCC Tomskneftekhim was modernized.

The substantiation of the need to replace an outdated DC drive with a modern frequency-controlled AC drive is provided. The selection of an electric drive system for extruder knives was carried out and, on the basis of this, a frequency-controlled single-zone electric drive with a scalar control law was developed and investigated, with an adjustment of the voltage-frequency characteristic and a motor current limit.

Simulation studies have shown that the developed electric drive fully meets the technical requirements for it, and provides a high level of motor protection. Transients in the electric drive of a submersible pump proceed relatively smoothly with limiting the dynamic moment and current of the driving motor.

The practical values of the work it is: functional diagram of the adjustable electric drive of the extruder knives, basic electrical power circuit, simulation model for studying the parameters of the variable frequency drive in the computer environment MATLAB-Simulink.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Раувендааль К. Экструзия полимеров. Издание четвертое. Экструзионное оборудование. Анализ процесса. Практические приложения. Перевод с английского языка под редакцией доктора физико-математических наук, профессора А.Я. Малкина. – Санкт-Петербург: Изд-во Профессия, 2008. – 786 с.
2. Торнер Р.В., Акутин М.С. Оборудование заводов по переработке пластмасс. М.: Химия, 1986. 400 с.
3. Кудрявцева З.А., Ермолаева Е.В. Проектирование производств по переработке пластмасс методом экструзии: Учеб. пособие к выполнению курсового и дипломного проектов. Владим. гос. ун-т. Владимир, 2003. 96 с.
4. Удут Л.С. и др. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 448 с.
5. Рабочая инструкция 410-Р-3 для машиниста гранулирования пластмасс 5, 6 разряда (отделение производства композиций) установки производства и дополнительной переработки полиэтилена на основе технического углерода. 2015. – 192 с.
6. Постоянный технологический регламент №410 – 02 – 2016 Установки производства и дополнительной переработки полиэтилена на основе технического углерода Производства полиэтилена. 2016. 338 с.
7. Браславский И.Я. и др. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 202 с.
8. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для

студ. высш. учеб. заведений / М.П. Белов, В.А Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 576 с.

9. Копылов И.П. Электромеханические преобразователи энергии. – М.: Энергия. – 1973. – 400 с.

10. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электропривод переменного тока: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 218 с.

11. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием, М.: Академия, 2006. – 272 с.

12. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: учебное пособие. – Томск: Том. политехн. ун-т., 2005. – 168 с.

13. Нормы проектирования. Электротехнические устройства. СНиП 3.05.06-85. – М.: Стройиздат, 1989, 53 с.

14. Стандартные решения «Данфосс». Экономия электроэнергии, сокращение капитальных затрат и увеличение срока службы. – М.: Издание *PE-MMSC*. 2012. – январь.

15. Видяев И.Г. и др. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

16. ФЕРм-2001. Федеральные единичные расценки на монтаж оборудования. ФЕРм 81-03-08-2001. Часть 8. Электротехнические установки" (утв. Приказом Минрегиона РФ от 04.08.2009 N 321).

17. Пашков Е.Н. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра, специалиста и бакалавра всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ/Сост. Е.Н. Пашков, И.Л. Мезенцева – Томск: Изд-во Томского политехнического универ-та, 2019. – 24 с.

18. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: санитарные правила и нормы. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997, 15 с.
19. Выходные дроссели – Силовые компоненты со стороны нагрузки // Каталог продукции департамента «Автоматизация и Приводы». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aqad.ru/index.php?tree=1000000&tree2=9990173&tree3=10007361&tree4=10008002&tree5=10035293&tree6=10035294&tree7=10035301&tree8=10035313>, свободный. – Загл. с экрана.
20. Danfoss. Руководство по эксплуатации VLT® AutomationDrive FC 301/302 Danfoss A/S © 08/2016/ 106 с.