

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

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электропривода и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы				
Модернизация электропривода питателя сырого угля тепловой электростанции				

УДК 621.311.22.002.5-661:62-83-048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г3А	Доржиев Эрдэм Содномович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭПЭО	Глазырин А.С.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Е.А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Король И.С.	К.Х.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭПЭО	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, К.Т.Н.		

ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ОПП

Код Результата	Результаты обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания, для разработки и расчета электропривода питателя сырого угля
P2	Применять знания в области современных технологий производства для решения инженерных задач
P3	Ставить и решать задачи инженерного анализа, связанные с проектированием системы регулирования скорости электропривода питателя сырого угля
P4	Проводить расчетные исследования в области современных систем топливоподачи ТЭС
P5	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и выбирать подходящие аппараты управления и защиты
<i>Универсальные компетенции</i>	
P6	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электропривода и электрооборудования (ЭПЭО)

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) Ю.Н. Дементьев

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗА	Доржиеву Эрдэму Содномовичу

Тема работы:

Модернизация электропривода питателя сырого угля тепловой электростанции
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	В данной работе рассчитывается и проектируется частотно-регулируемый асинхронный электропривод шнекового питателя сырого угля, применяемого в системе топливоподачи тепловых электростанций. Питатель сырого угля предназначен для транспортировки угля из бункера к системе пылеприготовления. С его помощью регулируется объем перемалываемого топлива. От его надежной и стабильной работы зависит бесперебойная подача топлива к котлу, а, следовательно, и бесперебойная работа всей станции.
Перечень вопросов подлежащих исследованию, проектированию и разработке	Основной вопрос, который рассматривается в данной работе – замена привода постоянного тока на асинхронный электропривод с частотным регулированием. В ходе решения этого вопроса проводится краткое изучение актуальности перехода на асинхронный привод, выбор двигателя и преобразователя частоты, расчет механических и электромеханических характеристик, оптимизация системы автоматического управления и имитационное моделирование.

	К дополнительным вопросам относятся раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», в котором производится технико-экономическое обоснование исследовательской работы, а также раздел «Социальная ответственность», в котором рассматриваются проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Е.А.
Социальная ответственность	Король И.С.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭПЭО	Глазырин А.С.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗА	Доржиев Э.С.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г3А	Доржиеву Эрдэму Содномовичу

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электропривод и автоматика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 13% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	27,1 отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений. Оценки перспективности проекта по технологии QuaD. SWOT-анализ
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки : -определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение финансового интегрального показателя

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Оценочная карта QuaD</i>
3. <i>График Ганта</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Елена Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г3А	Доржиев Эрдэм Содномович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г3А	Доржиеву Эрдэму Содномовичу

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электропривод и автоматика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	1. Объект исследования: Асинхронный электропривод питателя на ТЭС. Методика: Разработка модернизации электропривода шнекового питателя на ТЭС. Шнековые питатели осуществляют транспортирование пыли по пылеугольным бункерам. Рассматривается рабочая зона персонала, обслуживающего асинхронный электропривод питателя. Данный электропривод находится в главном корпусе ТЭС.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	1.1. При проектировании здания ТЭС должны соблюдаться акты: ГОСТ 12.1.005-97 ССБТ, СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96, СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96. Они приняты во избежание возможных вредных факторов производственной среды, таких как: – уровень шума на рабочем месте не должен превышать 80 дБ; – освещенность помещения должны быть не меньше 300 лк; – подвижность воздуха не менее 0,3 м/с; – температура воздуха рабочей зоны не менее 18 °С. Средства защиты для обеспечения безопасности (ГОСТ 12.4.011-89) – для органов дыхания (противогазы, респираторы); – для органа слуха (противошумные шлемы, противошумные наушники). 1.2. Возможные опасные факторы производственной среды: – повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека (более 1 кВ) ГОСТ 12.1.009-76. – вращающиеся части оборудования (вал двигателя, вал питателя) ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих.
---	--

	– опасность возгораний (пожаров). ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Средства защиты для обеспечения безопасности (ГОСТ 12.4.011-89): – для защиты от поражения электрическим током (устройства защитного заземления и зануления, предохранительные устройства, знаки безопасности). – для защиты от вращающихся частей оборудования (металлические кожухи)
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	2.Модернизируемый электропривод питателя не наносит вреда окружающей среде. Для ТЭС существует нормативный документ ГОСТ Р 50831-95 по утилизации отходов и выбросов углекислого газа в атмосферу. ТЭС проводит мероприятия по защите селитебной зоны: устанавливает специальные емкости для хранения реагентов. Контролируется сброс воды в близлежащие водоемы: устанавливаются специальные фильтры, очищающие использованную воду.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	3.При эксплуатации электропривода питателя возможен пожар. Согласно Федеральному закону от 22.07.2013 г. №123–Технический регламент о требованиях пожарной безопасности к мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; системы автоматической пожарной сигнализации; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; порошковые или углекислотные огнетушители.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	ГОСТ 12.0.002-2014 Система стандартов безопасности труда. Данный документ регламентирует обеспечение безопасности трудовой деятельности. Трудовой кодекс РФ. Для ремонтного персонала рекомендуется принимать одно- и частично двухсменный режим работы. ГОСТ 21958-76. Система «человек-машина». Зал и кабины операторов. Взаимное расположение рабочих мест. Общие эргономические требования. ГОСТ EN 894-1-2012. Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Общие руководящие принципы при взаимодействии оператора с индикаторами и органами управления.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г3А	Доржиев Эрдэм Содномович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа бакалавра содержит 93 страницы, 29 рисунков, 18 таблиц, 8 приложений, 14 источников.

Ключевые слова: АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, ЗАКОН УПРАВЛЕНИЯ, ШНЕКОВЫЙ ПИТАТЕЛЬ, СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ.

Объектом исследования является система топливоподачи на ТЭС, управляемая электроприводом с частотным управлением.

Цель работы – спроектировать и рассчитать асинхронный электропривод шнекового питателя для ТЭС.

В процессе проектирования и моделирования с помощью программного продукта MathCad 2015 были произведены расчеты, необходимые для выбора двигателя, преобразователя частоты.

Адекватность работы асинхронного электропривода была проверена в программной среде Matlab SIMULINK 2016. С помощью редактора Microsoft Visio 2013 был выполнен технологический процесс производства топлива на ТЭС.

Выпускная квалификационная работа бакалавра выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013.

Оглавление

Введение.....	12
1. Техническая часть.....	15
1.1. Обоснование применения частотного управления асинхронным двигателем в приводе питателя сырого угля.....	15
1.1.1. Достоинства и несовершенства асинхронного электропривода.....	15
1.1.2. Характерные черты выбора частотно-регулируемого привода.....	17
1.2. Устройство тракта топливоподачи угольной ТЭС.....	19
1.2.1. Производство топлива.....	19
1.2.2. Комплекс оборудования и механизмов ТЭС.....	20
1.3. Питатели сырого угля.....	23
1.4. Выбор приводного электродвигателя ПСУ в соответствии с технологическим процессом.....	24
1.5. Расчет естественной механической характеристики.....	25
1.6. Расчет естественной электромеханической характеристики.....	26
1.7. Выбор преобразователя частоты.....	27
1.8. Выбор несущей частоты инвертора.....	29
1.9. Определение интервала частот инвертора	30
1.10. Расчет искусственных механических и электромеханических характеристик системы регулируемого электропривода для заданного диапазона регулирования скорости	31
1.11. Искусственные механические статические характеристики при законе регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$ с IR-компенсацией.....	33
1.12. Моделирование прямого пуска электродвигателя.....	34
1.13. Моделирование частотного пуска электродвигателя с частотным законом управления $U_1/f_1 = \text{const}$	39
1.14. Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателя со скалярным управлением.....	42
1.15. Выбор задатчика интенсивности для электропривода питателя.....	44
1.16. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателя с s-образным задатчиком интенсивности.....	47
2. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	50
2.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	50
2.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	54
2.3. Планирование научно-исследовательских работ.....	55

2.4. Определение ресурсоэффективности проекта.....	64
3. Социальная ответственность.....	68
3.1. Описание рабочей зоны.....	68
3.2. Анализ опасных и вредных факторов.....	68
3.3. Производственная санитария.....	69
3.4. Воздух рабочей зоны.....	70
3.5. Вентиляция.....	70
3.6. Защита от шума и вибрации.....	71
3.7. Освещение.....	72
3.8. Электробезопасность.....	74
3.8.1. Защита от случайного прикосновения.....	75
3.8.2. Защитное заземление.....	76
3.8.3. Зануление.....	76
3.9. Мероприятия по технике безопасности и пожарной безопасности.....	77
3.10. Охрана окружающей среды.....	79
3.11. Предотвращение ЧС и устранение их последствий.....	81
3.12. Эвакуация людей из зданий и помещений.....	82
Заключение.....	84
Список использованных источников.....	85
Приложение А.1.....	86
Приложение А.2.....	87
Приложение А.3.....	88
Приложение А.4.....	89
Приложение А.5.....	90
Приложение А.6.....	91
Приложение А.7.....	92
Приложение А.8.....	93

Введение

В последнее десятилетие произошло ухудшение экономических показателей работы энергетической отрасли. Примерно в 2 два раза увеличился процент потерь электроэнергии в электрических сетях.[1]. Наряду с данным фактом увеличилось в 1,5 раза количество рабочего персонала в отрасли. Более чем в 2 раза снизилась эффективность использования капитальных вложений [1]. Существенно сократились вводы генерирующих мощностей. Ввод новых мощностей на электростанциях России с 1992 года по 2008 г. составил 24 ГВт (около 1,4 ГВт в год) что примерно в 5 раз меньше вводов в 60-80-х годах прошлого столетия [1].

Помимо перечисленных проблем, в энергетической отрасли России существует ряд других проблем:

- с течением времени нарастает процесс старения энергетического оборудования. Доля устаревшего оборудования составляет свыше 40% [1].
- в ряде регионов страны имеется потребность генерирующих и сетевых мощностей.
- усложнение проблемы обеспечения надежности энергосистем и утяжеление условий регулирования переменной части суточных графиков нагрузки.
- на сегодняшний день электроэнергетика Росси зависит от природного газа.
- резкое сокращение научно-технического и строительного потенциала отрасли.

Стратегия развития электроэнергетики базируется на принятом в Энергетической стратегии России сценарии инновационного развития экономики страны [1]. Структура расходуемого топлива на ТЭС будет изменяться в сторону уменьшения доли природного газа с 70,3% в 2008 г. до 60-62% в 2030 г., увеличения доли угля с 26% в 2008 г. до 34-36% в 2030 г.. Соотношение между долями угля и газа будет определяться складывающейся конъюнктурой цен на газ и уголь и политикой государства в использовании

различных видов топлива для электроэнергетики [1]. В связи с вышеперечисленными проблемами и решениями, на первый план развития ТЭС выходит автоматизация производства, энергоэффективность и экономичность.

В настоящее время существуют два главных вопроса сохранения энергии на ТЭС:

- понизить потребление электроэнергии на собственные нужды
- повысить надежность основных узлов и агрегатов, так как любой выход из строя оборудования приводит к остановке турбогенератора. В свою очередь остановка турбогенератора ведет к многомиллионным убыткам.

Принимая во внимание вышеперечисленные решения сохранения электроэнергии на ТЭС, приходим к следующему выводу. Главная цель совершенствования работы ТЭС заключается в модернизации электропривода топливоподачи, насосов, пылеприготовления и тягодутьевых механизмов.

Электродвигатели являются главным видом привода для механизмов собственных нужд. В зависимости от мощности механизма для его привода используются электродвигатели напряжением 6-10 кВ или 380В переменного тока, главным образом асинхронные с короткозамкнутым ротором. Расход электроэнергии на собственные нужды зависит от условий водоснабжения, режима работы станции, удаленности внешних потребителей теплоты и т.д. Наибольший расход (до 12%) имеют ТЭЦ высокого давления, работающие на каменном угле. Исследования и опыт работы передовых ТЭС показывают возможность существенного снижения расхода электроэнергии на собственные нужды. Оптимизация работы механизмов собственных нужд позволяет сэкономить 5% электроэнергии, расходуемого на собственные нужды, т.е. 233 млн. кВт×ч, или 75,7 тыс. т условного топлива в год [2]. Применение экономичного регулируемого электропривода на этих же блоках даст экономию электроэнергии 4,8% (209 млн. кВт×ч, или 67,9 тыс. т условного топлива в год) [2]. Рассмотрим составляющие общего расхода электроэнергии на различные группы механизмов собственных нужд. Расход на тягодутьевые механизмы составляет 2...8 кВт×ч/т. На привод питательных насосов расходуется от 1,5 до

5% всей мощности, вырабатываемой блоком [2]. Для различных видов электростанций этот процент изменяется, так для ТЭЦ процент вырабатываемой мощности для привода питательных электронасосов составляет 3,1%, а для КЭС – 1,5% [2]. Составляющие общего потребления электроэнергии на собственные нужды приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Распределение расхода электроэнергии на собственные нужды [2]

Группа потребителей	Доля общего расхода электроэнергии на с.н., %	
	ТЭЦ на буром угле	КЭС низкого давления на буром угле
Тяга и дутье	17,4	25
Питательные насосы	36,4	15,5
Циркуляционные насосы	7,7	22,6
Теплофикационные насосы	22,2	-
Пылеприготовление	8,6	22
Золоудаление	1,8	4,8

Переменные режимы в большинстве энергоблоках ТЭС являются факторами ухудшения надежности эксплуатации. От данных режимов работы страдает основное тепломеханическое оборудование, а также механизмы собственных нужд – многочисленные насосные и вентиляторные установки и их приводные асинхронные двигатели. Частые пуски и остановки энергоблоков, изменения их нагрузок сопровождаются дополнительными потерями из-за неоптимальных режимов работы основного оборудования собственных нужд вследствие дросселирования теплоносителей. При этом большинство механизмов работает с максимальной нагрузкой 20-25% времени от общего времени их использования, что приводит к значительным (до 12-14%) потерям электроэнергии [3]. Исключение дросселирования по тракту питательной воды и газовоздушному тракту котлов и переход к регулированию производительности многочисленных насосных и вентиляторных установок с помощью электроприводов с переменной частотой вращения позволяет добиться ощутимого энергосбережения. Частотное регулирование производительности механизмов собственных нужд позволяет снизить потребление электроэнергии и топлива, исключить гидро – и

электродинамические удары в пусковых режимах и при других переходных процессах. Частотное регулирование также способствует возможному снижению уровня выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (до 1,5%) и эмиссии CO₂ (до 1,5 тонн) на каждую сэкономленную тонну условного топлива за счет оптимизации процесса его сжигания [3].

1. Техническая часть

1.1. Обоснование применения частотного управления асинхронным двигателем в приводе питателя сырого угля

1.1.1. Достоинства и недостатки асинхронного электропривода

Для того, чтобы перейти от электропривода постоянного тока к электроприводу переменного тока питателя сырого угля, а именно к электроприводу с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором нужно качественно сравнить достигаемый эффект с произведенными затратами на переоборудование. Рассматриваемый объект автоматизации наталкивает использовать асинхронный электропривод по следующим экономическим причинам:

- Стоимость электродвигателя. Двигатель постоянного тока имеет более высокую стоимость в отличие от асинхронного двигателя. Основанием данному факту является то, что асинхронный двигатель имеет простую конструкцию и высокую технологичность производства в отличие от двигателей постоянного тока. По этой причине асинхронные двигатели более распространены, чем двигатели другого типа.
- Малая стоимость на эксплуатацию. Асинхронные двигатели на протяжении всего срока работы практически не требуют техобслуживания. В свою очередь двигатели постоянного тока нуждаются в регулярном техобслуживании коллекторного узла.

- Исполнение по степени защиты. Асинхронные двигатели обладают широким рядом исполнения степеней защиты. Для рассматриваемого электропривода исполнение по степени защиты играет важную роль, т.к. на ТЭС в качестве топлива для котла используется уголь, следовательно, в воздухе часто содержится угольная пыль. Для двигателя постоянного тока нужно спроектировать защитный кожух, который будет препятствовать попаданию пыли в коллекторный узел. Данные манипуляции приведут к увеличению стоимости двигателя [4].

Вышеперечисленные причины относятся исключительно к двигателям. Системы управления двигателем в данной ситуации не будут рассматриваться. Данное сравнение будет неправильным, т.к. используемые преобразователи в приводах с двигателями постоянного тока используются долгое время и отработали свой ресурс. По этой причине увеличиваются затраты на поддержание их работоспособности, снижается надежность работы электропривода питателя, а, следовательно, и всей ТЭС в целом.

При переходе электропривода питателя от двигателей постоянного тока к асинхронным двигателям выше были перечислены преимущества. Также рассмотрим недостатки данного перехода. При подключении асинхронного двигателя и преобразователя частоты возникают некоторые особенности в работе электропривода питателя. Если не учитывать эти особенности, то можно нерационально использовать электропривод, либо неправильно выбрать оборудование электропривода. Упомянутые особенности влияют на энергетические показатели.

1) При подключении асинхронного двигателя и преобразователя частоты их коэффициент полезного действия уменьшается на 2 ... 3%, а коэффициент мощности до 5% [4].

2) Добавочные высокочастотные потери ведут к не синусоидальности напряжения, а также происходит нагрев двигателя и снижение полезной мощности на его валу (до 25%).[4]

Добавочные потери в обмотках и стали магнитопровода возникают при наличии высших гармоник тока и магнитного потока. По этой причине, при эксплуатации асинхронного двигателя и преобразователя частоты, стараются улучшить гармонический состав (происходит установка дополнительного устройства, которые корректируют настройку преобразователей частоты и т.д.) [4].

1.1.2. Характерные черты выбора частотно-регулируемого привода

Электропривод питателя при частотном регулировании имеет характерные черты. Приведем некоторые особенности для данного типа механизмов.

Вольт/частотный метод получил широкое распространение ввиду своей простоты. Вольт/частотное управление асинхронным двигателем позволяет получить диапазон регулирования равный 1:40 [4]. Такой диапазон регулирования подходит для питателя сырого угля. При работе питателя по методу вольт/частотного управления и выполнения закона $U/f = \text{const}$ критический момент остается постоянным. Постоянный критический момент необходим для постоянной нагрузки. Существует стандартный ряд скоростей асинхронных двигателей, для которых минимальная 500 об/мин и максимальная 1900 об/мин скорости рассматриваемого привода являются неудобными [4].

Для использования в данном типе приводе выбирается асинхронный двигатель с синхронной скоростью 1500 об/мин, либо 3000 об/мин.

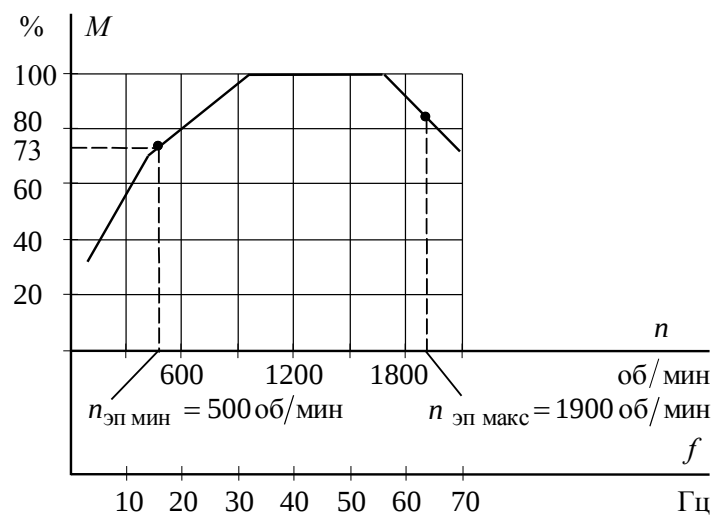


Рисунок 1 – Зависимость $M(n)$ для электродвигателя с $n_0 = 1500$ об/мин

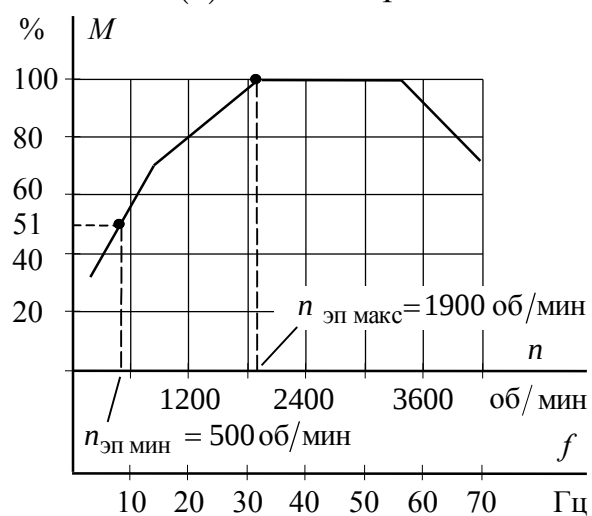


Рисунок 2 – Зависимость $M(n)$ для электродвигателя с $n_0 = 3000$ об/мин

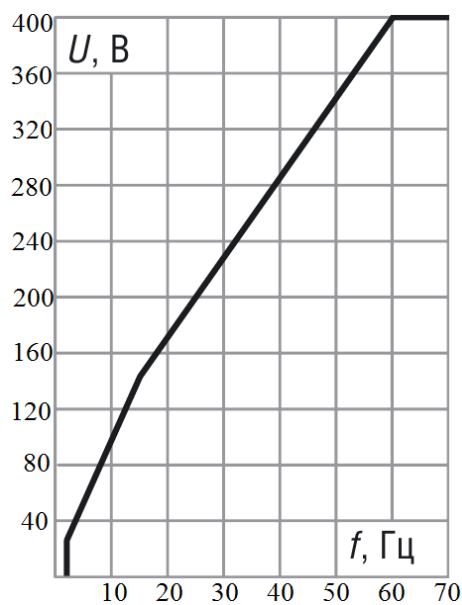


Рисунок 3 – Вольт-частотная характеристика

1.2. Устройство тракта топливоподачи угольной ТЭС

1.2.1. Производство топлива

Производство топлива на электростанциях — это совокупность технологического оборудования, служащего для переработки и транспортировки топлива в главный цех котельной. Процесс производства топлива это непрерывная технологическая линия. В начале данной технологической линии находится приемо-разгрузочная конструкция, в конце — главный цех, в который попадает переработанный уголь. При транспортировке топлива происходят различные этапы его подготовки, складирование угля, взвешивание, отбор образцов. Переработка топлива включает в себя все вышеперечисленные процессы.

При подготовке твердого топлива происходит подсушка и измельчение кусков угля не более 20 мм и освобождение от металлических либо деревянных объектов.

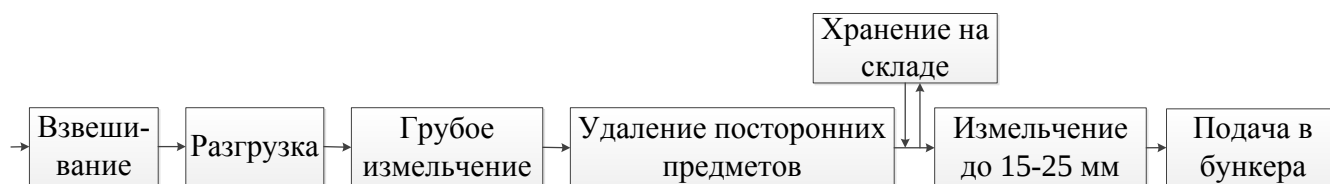


Рисунок 4 – Структурная схема производства твердого топлива на ТЭС

При переработке угля основной задачей являются следующие основные операции [5]:

- получение угля от поставщика и осуществление организации по контролю количества и качества;
- выгрузка вагонов с углем без задержки времени;
- транспортировка угля в главный цех котельной без задержек и остановок;
- складирование угля в бункерах.

Основной технико-экономический показатель производства угля на ТЭС является годовая издержка при производстве угля для котельной. В годовую

издержку входит численность рабочего персонала, потери угля при складировании и эффективность использования транспортных и технологических устройств.

При транспортировании и складировании угля возможны потери, т.к. уголь разгружается на открытой местности ТЭС и возникает возможность перемешивания угля с землей.

При производстве топлива на ТЭС, все устройства тратят около 11-16% электроэнергии, отводимой на собственные нужды [5].

Вышеперечисленные процессы составляют процесс производства угля на тепловых электростанциях.

1.2.2. Комплекс оборудования и механизмов ТЭС

В комплекс оборудования и механизмов ТЭС входят железнодорожные пути, разгрузочные устройства, конвейеры, дробильные установки. Для районов крайнего севера должны быть сооружены размораживающие устройства, т.к. уголь в вагонах при транспортировке замерзает.

Комплекс оборудования и механизмов представлен на рисунке 5.

Первой частью ТЭС являются железнодорожные пути с вагоноопрокидаками, которые осуществляют роль разгрузочного устройства. Продолжительность разгрузки одного вагона с углем составляет примерно 6—7 минут [5]. Перед вагоноопрокидаками устанавливаются вагонные весы, позволяющие взвесить поступающий уголь. После опрокидывания вагона поступает в бункер, откуда транспортируется различными конвейерами. При хранении угля в отдельном бункере создается запас топлива.

При первом этапе производства угля для котельной осуществляется измельчение кусков угля до размеров 250- 350 мм. Для удаления крупных посторонних предметов устанавливается специальная решетка, которые задерживает предметы [5].

После того как уголь разгрузили, он направляется либо на склад, либо в цех с дробилками. В данном цеху установлены молотковые дробилки, которые

измельчают куски угля до размеров 20—30 мм [5]. Грохот устанавливается для того, чтобы куски угля, не требующие перемалывания, не попадали в дробилку.

Перед тем, как куски угля попадут в молотковую дробилку, над ним проводят электромагнитом, для того чтобы отделить уголь от металлических предметов, которые могут нанести вред дробилкам.

После перемолки уголь поступает с помощью конвейера в главный корпус ТЭС, где установлены паровые котлы.

Устройства, с помощью которых топливо транспортируется по цехам ТЭС, в течение суток периодически останавливают для осмотра, выполнения мелкого ремонта и уборки помещений.

Здание разгрузочного устройства должно быть отапливаемым. Температура в них должна поддерживаться на уровне +15 °С [5].

При транспортировке угля возможно образование пыли, вследствие чего должна быть спроектирована герметизация от пыления.

При ремонте оборудования используются грузоподъемные механизмы.

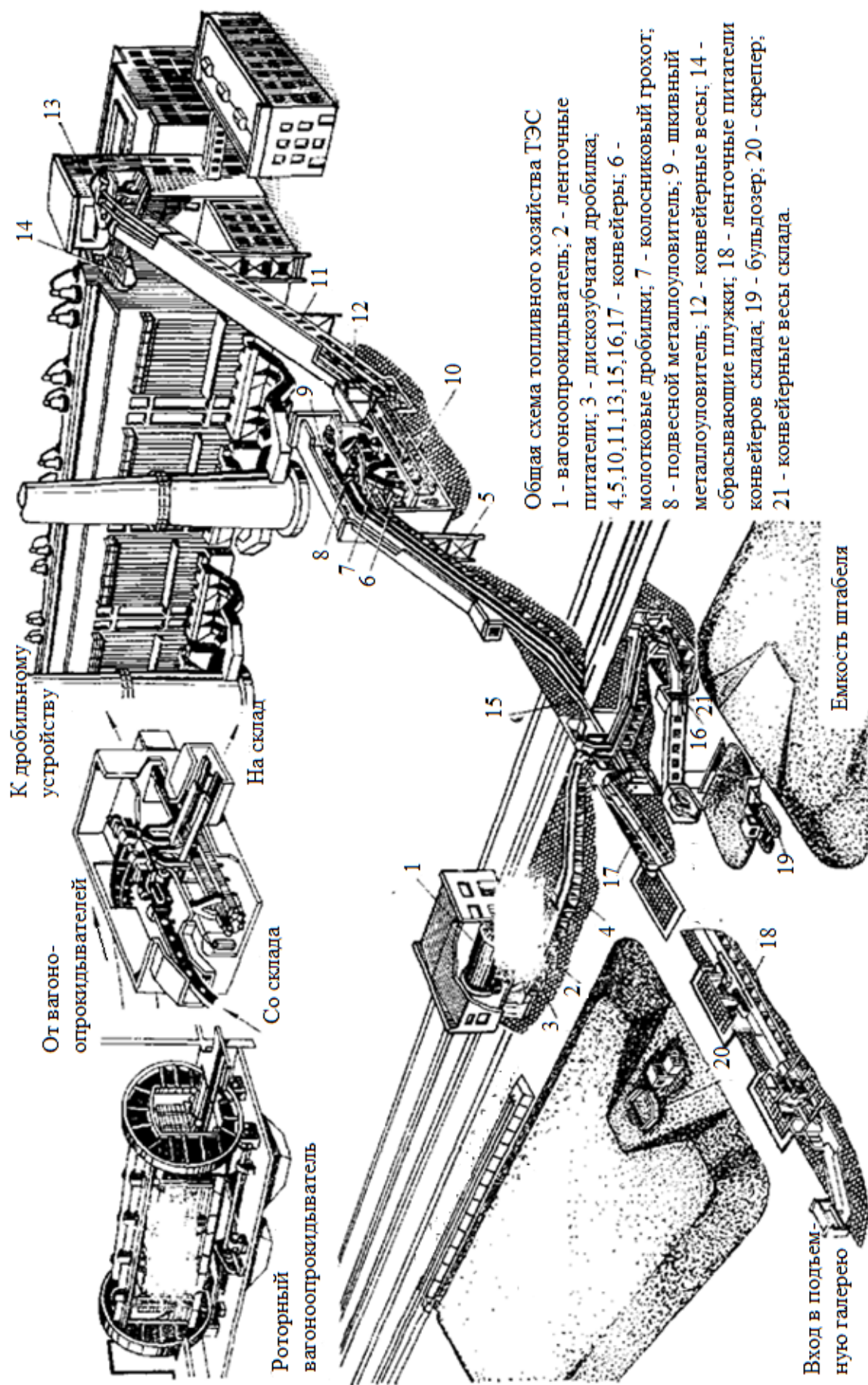


Рисунок 5 – Общая схема топливного хозяйства

1.3. Питатели сырого угля

Шнековый питатель – это конвейер, в котором уголь перемещается по неподвижной трубе с помощью винта.

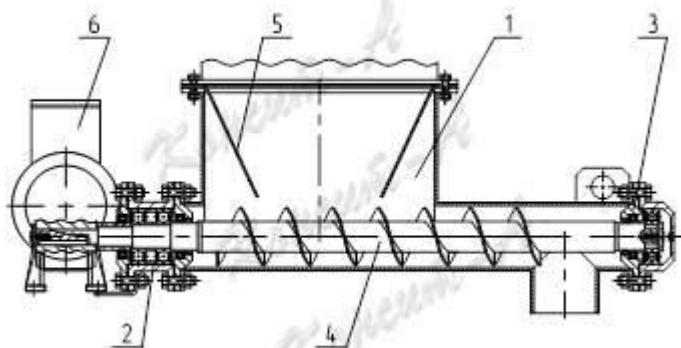


Рисунок 6 - Шнековый конвейер: 1 - корпус; 2,3 - опора; 4 - винт; 5 - отбойник; 6 – двигатель-редуктор.

Принцип работы шнекового питателя: электродвигатель подключается к питателю через редуктор, вследствие чего винт начинает вращаться. При вращении винт начинает перемещать уголь, который поступает через верхнее отверстие, вдоль закрытого желоба и ссыпается в нижнее отверстие.

Шнековые питатели имеют как горизонтальное расположение, так и под углом до 25° к горизонту. Также имеют различное исполнение по длине и диаметру, данное исполнение зависит от производительности.

К достоинствам шнеков относят полную герметизацию желоба и относительно небольшие габариты его поперечного сечения. Недостатками шнеков являются: высокий удельный расход электроэнергии, сильный износ лопастей винта, вкладышей промежуточных подшипников и кожуха, чувствительность к перегрузке и вследствие этого относительно невысокая надежность в работе.

На электростанции шнеки применяют для транспортирования и раздачи пыли по пылеугольным бункерам, а иногда дробленого угля по бункерам котлов.

Приводное устройство шнека состоит из электродвигателя, зубчатого или червячного редуктора и соединительных муфт. Иногда на валу винта устанавливают дополнительно промежуточную зубчатую передачу.

1.4. Выбор приводного электродвигателя ПСУ в соответствии с технологическим процессом

В зависимости от крупности транспортируемого топлива диаметр винта D должен быть не менее чем в 12 раз больше размера кусков при сортированном (однородном по крупности) топливе и в 4 раза больше максимальных кусков при рядовом топливе.

Таблица 1.2. Данные шнекового питателя

Диаметр желоба, м	Длина желоба, м
0,5	10

При выборе двигателя для питателя сырого угля воспользуемся методикой, которая представлена в книге Картошкина М.Д. [5].

Началом расчетов является определение часовой производительности шнекового питателя. Главными факторами, оказывающими влияние на производительность, являются поперечное сечение желоба и скорость продвижения угля по желобу. Также диаметр шнекового питателя влияет на число оборотов в минуту, в таблице 4-47, представленной в работе Картошкина М.Д., представлена зависимость числа оборотов от диаметра желоба. Для желоба с диаметром 0,5 м число оборотов в минуту равно $n=63$ об/мин [5].

$$Q=3600 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot 60} \cdot n \cdot S \cdot \varphi = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot 0,5^2}{4 \cdot 60} \cdot 63 \cdot 0,5 \cdot 0,3 = 111,274 \text{ т/ч},$$

где φ - коэффициент заполнения, принимается в пределах 0,3-0,4. При транспортировке мелкого угля примем значение 0,3; S - шаг винта, который принимают равным диаметру винта: $S=D=0,5$ м.

Потребная мощность P_0 определяется эмпирически, т.к. невозможно точно подсчитать все сопротивления, возникающие при транспортировке угля

через желоб шнека. Мощность, которая тратится в процессе транспортировки топлива в шнеке, учитывается одним общим коэффициентом ξ :

$$P_0 = \frac{Q}{367} \cdot L \cdot (\xi + \sin\beta) = \frac{111,274}{367} \cdot 10 \cdot (4 + \sin 0) = 12,128 \text{ кВт},$$

Коэффициент ξ зависит от физических свойств топлива. Для кокса $\xi=4$. Угол β – угол наклона винта. Для рассматриваемого привода угол $\beta=0$.

Зная потребную мощность, можем определить требуемую мощность электродвигателя:

$$P = (1,2-1,25) \cdot \frac{P_0}{\eta} = 1,2 \cdot \frac{12,128}{0,91} = 14,851 \text{ кВт},$$

где η -КПД приводного механизма; 1,2-1,25 – коэффициент запаса мощности при пуске.

1.5. Расчет естественной механической характеристики

Механическая характеристика $M(s)$ асинхронного двигателя рассчитывается для частоты $f_{1H}=50\text{Гц}$ по выражению:

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

По результатам расчета строится механическая характеристика $\omega(M)$, где $\omega = \omega_0 \cdot (1-s)$.

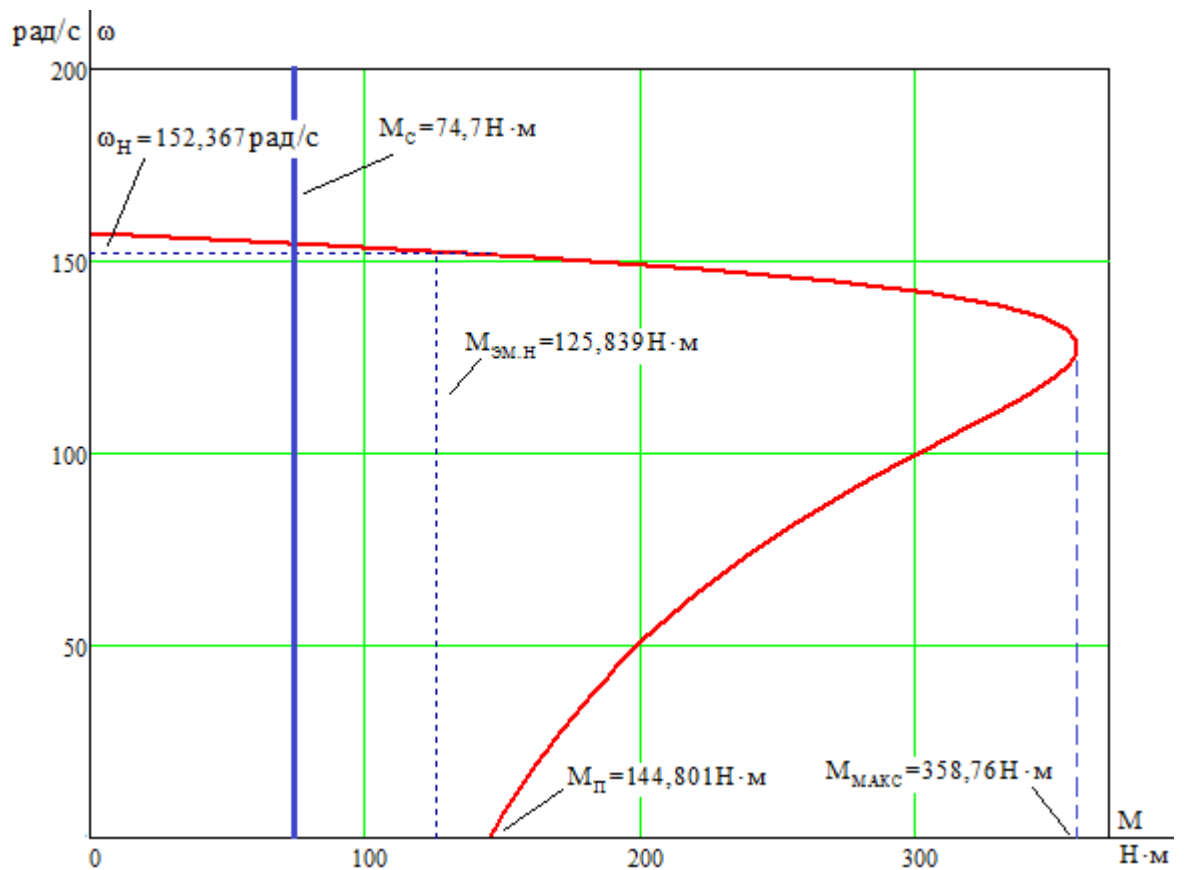


Рисунок 7– Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя $\omega(M)$

1.6. Расчет естественной электромеханической характеристики

Электромеханическая характеристика $I_1(s)$ асинхронного двигателя рассчитывается для значения частоты $f_{1H} = 50$ Гц по выражению:

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

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1фH}}{\sqrt{(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}};$$

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

По результатам расчета строим электромеханическую характеристику $\omega(I_1)$.

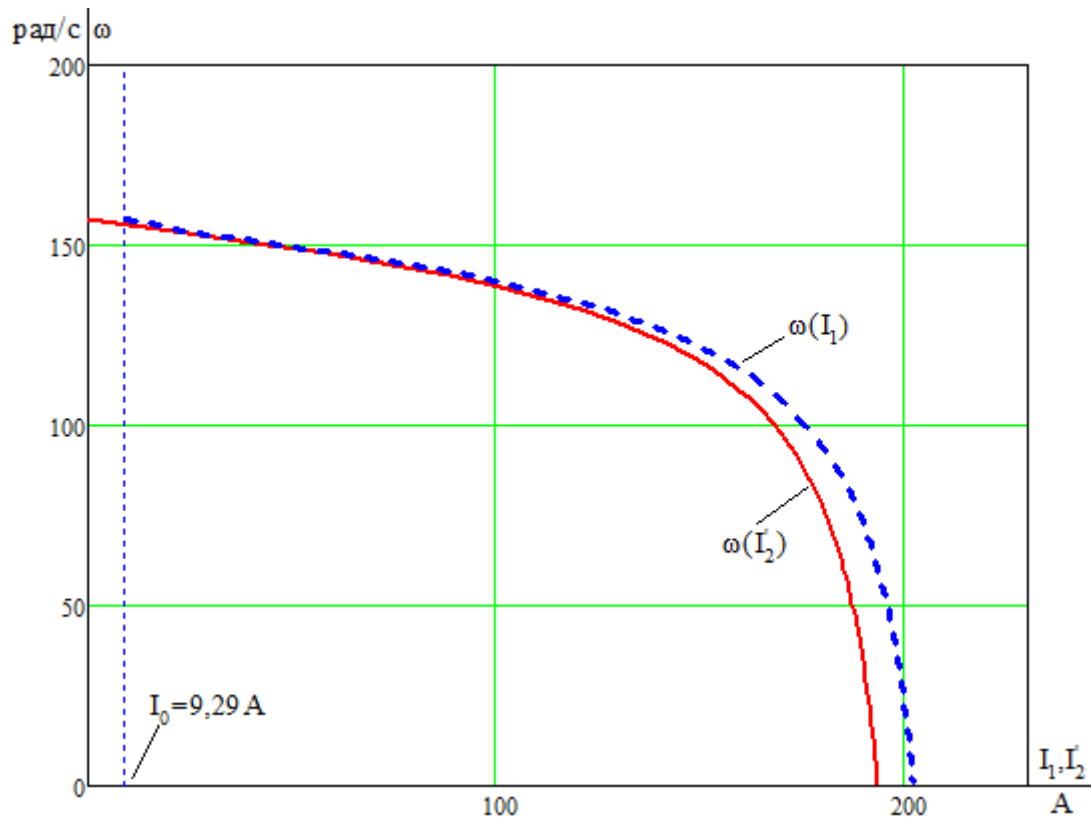


Рисунок 8– Электромеханическая характеристика $\omega(I_1)$

1.7. Выбор преобразователя частоты

Выбор преобразователя частоты производим по следующим рекомендациям:

1. Параметры питающей сети: 3-х фазная сеть 380/220В, 50 Гц.
2. Выходные параметры преобразователя частоты:
 - 3 фазы;
 - максимальное выходное (линейное) напряжение 380В;
 - максимальная выходная частота преобразователя

$$f_{п.макс} > 50 \cdot \frac{\omega_{эп.макс}}{\omega_0 \cdot (1-s_K)} = 50 \cdot \frac{198,95}{157 \cdot (1-0,191)} = 78,32 \text{ Гц};$$

- минимальная выходная частота преобразователя

$$f_{п.мин} < 50 \cdot \frac{\omega_{эп.мин}}{\omega_0} = 50 \cdot \frac{52,3}{157} = 16,6 \text{ Гц};$$

3. Преобразователь выбирается по номинальному (длительно допустимому) току $I_{ин}$ и максимальному (кратковременно допустимому) току $I_{и.макс}$ по следующим условиям:

$$I_{ин} \geq I_{лн} \cdot \frac{M_{с.макс}}{M_{дв.ном}} = 34,801 \cdot \frac{74,6}{121,417} = 21,38 \text{ А};$$

$$I_{и.макс} \geq I_{лн} \cdot \frac{M_{эп.макс}}{M_{дв.ном}} = 34,801 \cdot \frac{149,2}{121,417} = 42,76 \text{ А}.$$

где $M_{эп.макс} = M_{с.макс} \cdot 2 = 74,6 \cdot 2 = 149,2 \text{ А}$

В соответствии с техническими требованиями выбираем преобразователь частоты SIMOVERT MASTERDRIVES Vector Control фирмы Siemens. Данный вид преобразователей частоты выпускаются 12 типоразмеров мощностью от 2.2 до 2300 кВт в блочном исполнении (серия 6SE70) и шкафном исполнении (серия 6SE71). Блоки компактного исполнения с воздушным охлаждением имеют степень защиты IP20, встраиваемого – IP00. Преобразователи с водяным охлаждением выпускаются со степенью защиты до IP65. Шкафное исполнение поставляется со стандартной степенью защиты IP20.

Основные технические параметры выбранного преобразователя приведены в таблице 2.3 [7].

Таблица 2.3. Технические параметры преобразователя частоты

Типоразмер	Макс. Мощность двигателя, кВт	Номинальный выходной ток, А	Базовый ток нагрузки, А	Ток перегрузки, А	Номинальный ток звена пост. Тока, А	Потребляемый ток, А	Потери при 2.5 кГц, кВт	Примерный вес, кг
7023	18,5	37,5	34,1	51,2	44,6	41,3	0,60	35

Принимаем тип управления: скалярное

1.8. Выбор несущей частоты инвертора

Выбор несущей частоты инвертора $f_{\text{шим}}$ осуществляется в соответствии с рекомендациями фирмы производителя для выбранного типа преобразователя с учетом фактического тока загрузки. Если для выбранного преобразователя частоты отсутствуют рекомендации по выбору несущей частоты, то для её выбора можно воспользоваться приведенными на рис. 9 обобщенными зависимостями несущей частоты для преобразователей малой и средней мощности фирмы *Siemens*. Рекомендуемое максимальное значение несущей частоты зависит от номинальной выходной мощности преобразователя и фактического тока загрузки инвертора при максимальной нагрузке привода [7].

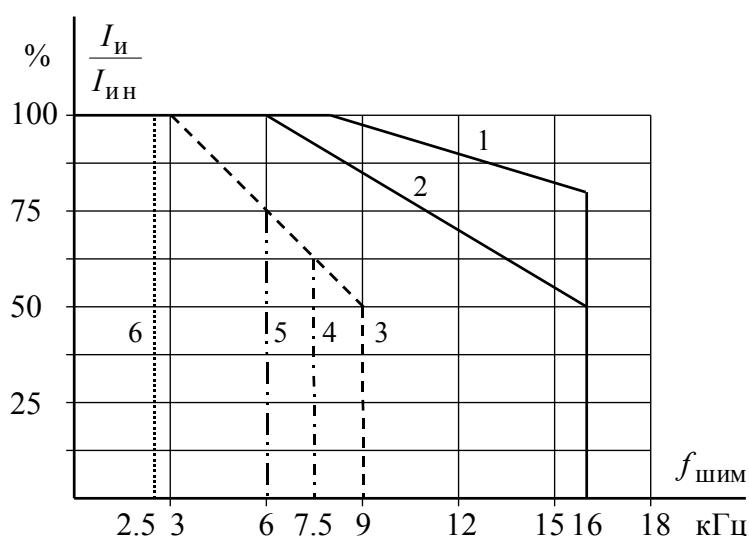


Рисунок 9 – Зависимости максимального значения несущей частоты инвертора от номинальной выходной мощности и загрузки преобразователя: 1 – до 3 кВт; 2 – до 55 кВт; 3 – до 90 кВт; 4 – до 132 кВт; 5 – до 250 кВт; 6 – до 900 кВт

Принимаем несущую частоту инвертора $f_{\text{шим}} = 16 \text{ кГц}$.

1.9. Определение интервала частот инвертора

Частоты инвертора, необходимые для обеспечения требуемых скоростей вращения, находим, решая совместно уравнения механической характеристики

двигателя и нагрузки при максимальной $\omega_{\text{эл.макс}} = 198,95$ рад/с и минимальной скоростях электропривода $\omega_{\text{эл.мин}} = 52,3$ рад/с:

$$\frac{3 \cdot \left[U_{1\text{фн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right) \right]^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \cdot s \cdot \left[\left(X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}}} \right)^2 \right]} = M_{\text{с.макс}}, (1)$$

учитывая, что $\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{z_p}$; $s = 1 - \frac{\omega}{\omega_0}$, уравнение (1) примет следующий вид:

$$\frac{3 \cdot \left[U_{1\text{фн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right) \right]^2 \cdot R'_2}{\left(\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} - \omega \right) \cdot \left[\left(X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} - \omega} \cdot \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2 \right]} = M_{\text{с.макс}}, (2)$$

Требуемое значение максимальной частоты преобразователя $f_{\text{и.макс}} = 64,66$ Гц при максимальной $\omega_{\text{эл.макс}} = 198,95$ рад/с скорости электропривода.

Требуемое значение максимальной частоты преобразователя $f_{\text{и.мин}} = 16,75$ Гц при минимальной $\omega_{\text{эл.мин}} = 52,3$ рад/с скорости электропривода.

Для обеспечения пусковой характеристики принимаем начальное значение частоты инвертора $f_{\text{и.нач}} = 5$ Гц.

1.10. Расчет искусственных механических и электромеханических характеристик системы регулируемого электропривода для заданного диапазона регулирования скорости

Нагрузка электропривода ПСУ в процессе работе остается постоянной, поэтому регулирование скорости вниз от основной (номинальной) скорости двигателя $n_0=1500\text{об/мин}$ до минимальной рабочей скорости $n_{р.мин}=500\text{об/мин}$ ($\omega_{эп.мин}=52,3\text{рад/с}$) осуществляется при реализации закона управления $U_1/f_1=\text{const}$. Вверх от основной скорости до максимальной скорости $n_{р.макс}=1900\text{об/мин}$ ($\omega_{эп.макс}=198,95\text{рад/с}$) регулирование осуществляется при постоянном значении напряжения $U_1=\text{const}$ путем повышения частоты.

Механические характеристики $\omega(M)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при законе регулирования $U_1/f_1=\text{const}$ для ряда выбранных значений выходной частоты инвертора в интервале от $f_{и.мин}=16,75\text{ Гц}$ до $f_{и.макс}=64,66\text{ Гц}$ Гц рассчитываются по выражениям:

$$\omega(s, f_1) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1-s),$$

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left[\left(X_{кн} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]};$$

где $U_1(f_1) = U_{1фн} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right) = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right).$

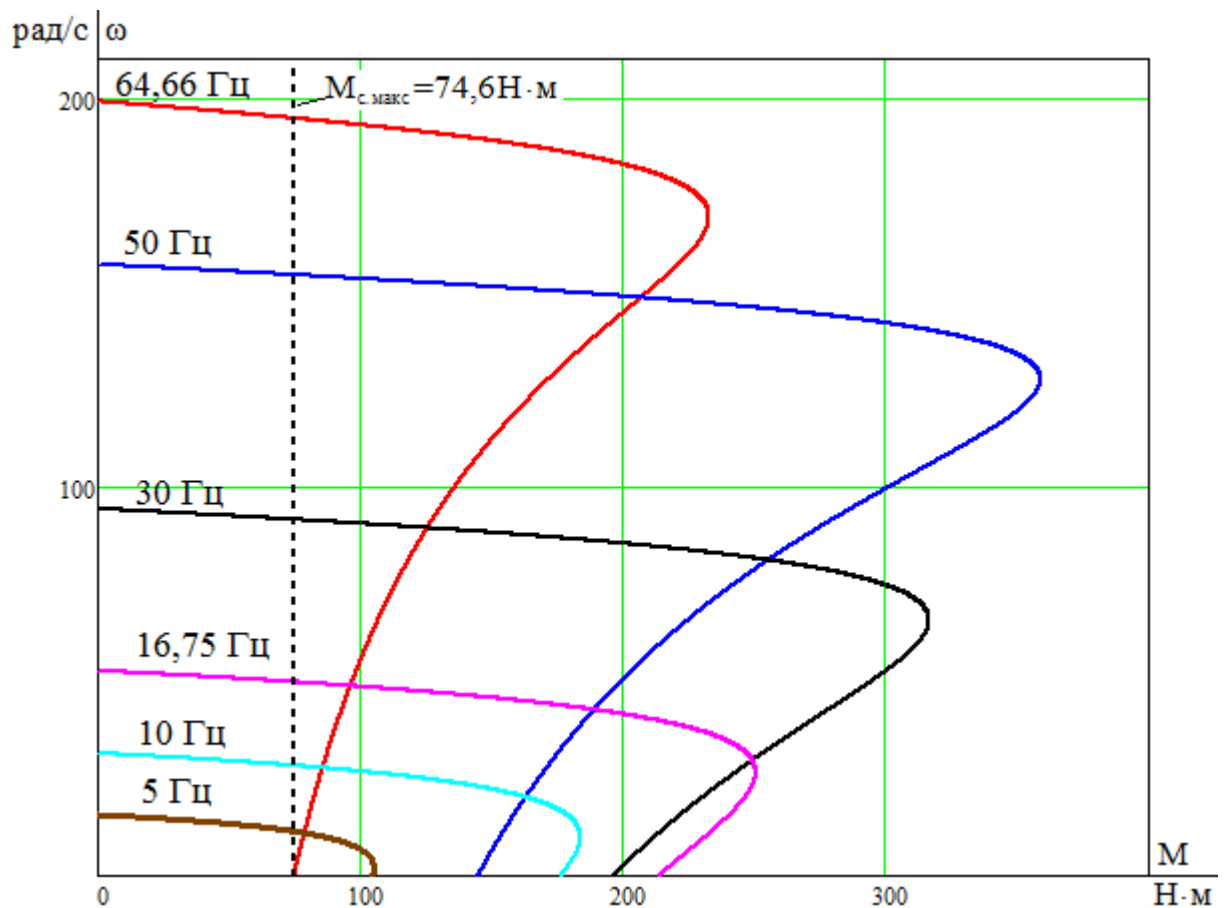


Рисунок 10 – Механические характеристики $\omega(M)$

Электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель рассчитываются для выбранных ранее значений частоты по выражениям:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(s, f_1) \cdot \sin f_2(s, f_1)};$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}};$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}};$$

$$\sin \varphi_2(s, f_1) = \frac{X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}},$$

По результатам расчета на рисунке 8 построено семейство электромеханических характеристик $\omega(I_1)$ системы преобразователь-двигатель.

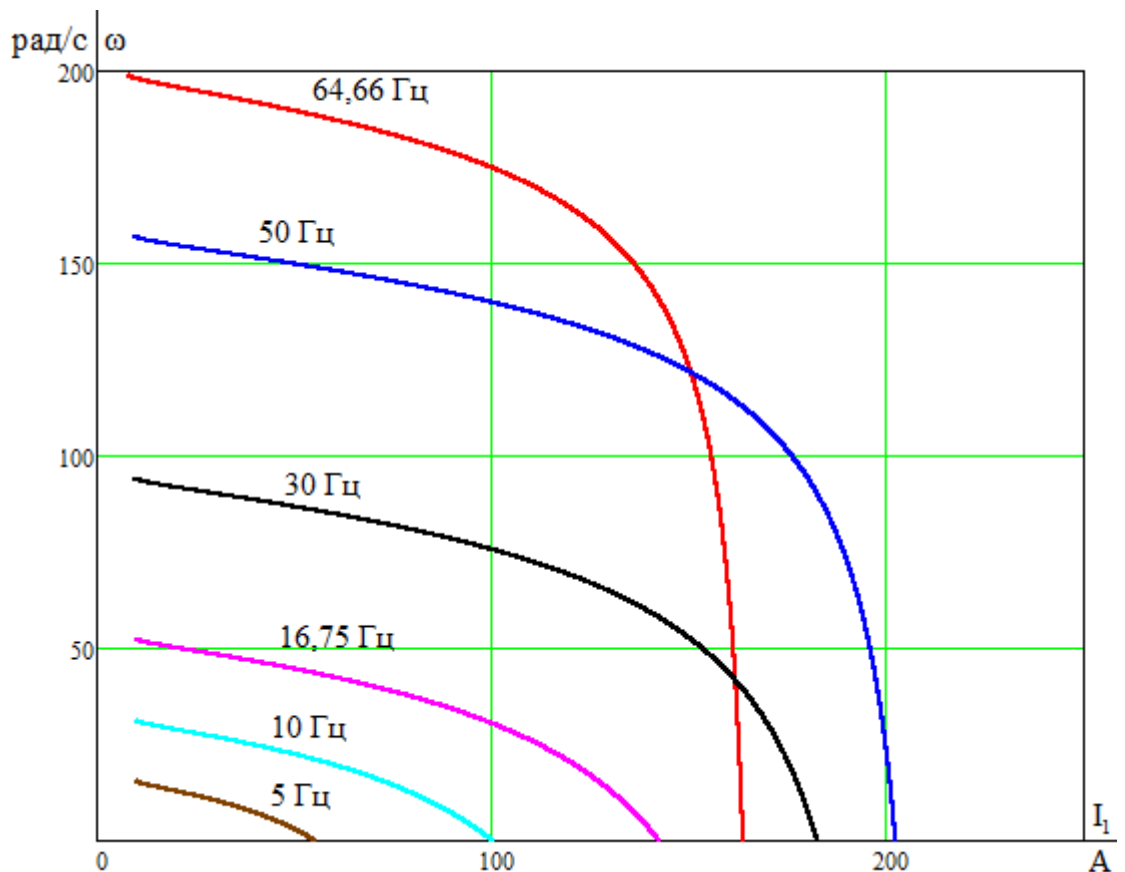


Рисунок 11 – Электромеханические характеристики электропривода $\omega(I_1)$

1.11. Искусственные механические статические характеристики при законе регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$ с IR-компенсацией

Для увеличения величины пускового момента увеличим напряжение статора на величину падения напряжения на активном сопротивлении статора

(IR-компенсация). В этом случае механические характеристики будут рассчитываться по следующим выражениям:

$$\omega(s, f_1) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1-s);$$

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_1^2(s, f_1) \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left[\left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]};$$

$$\text{где } U_1(s, f_1) = R_1 \cdot i_1(s) + U_{1\phi H} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right).$$

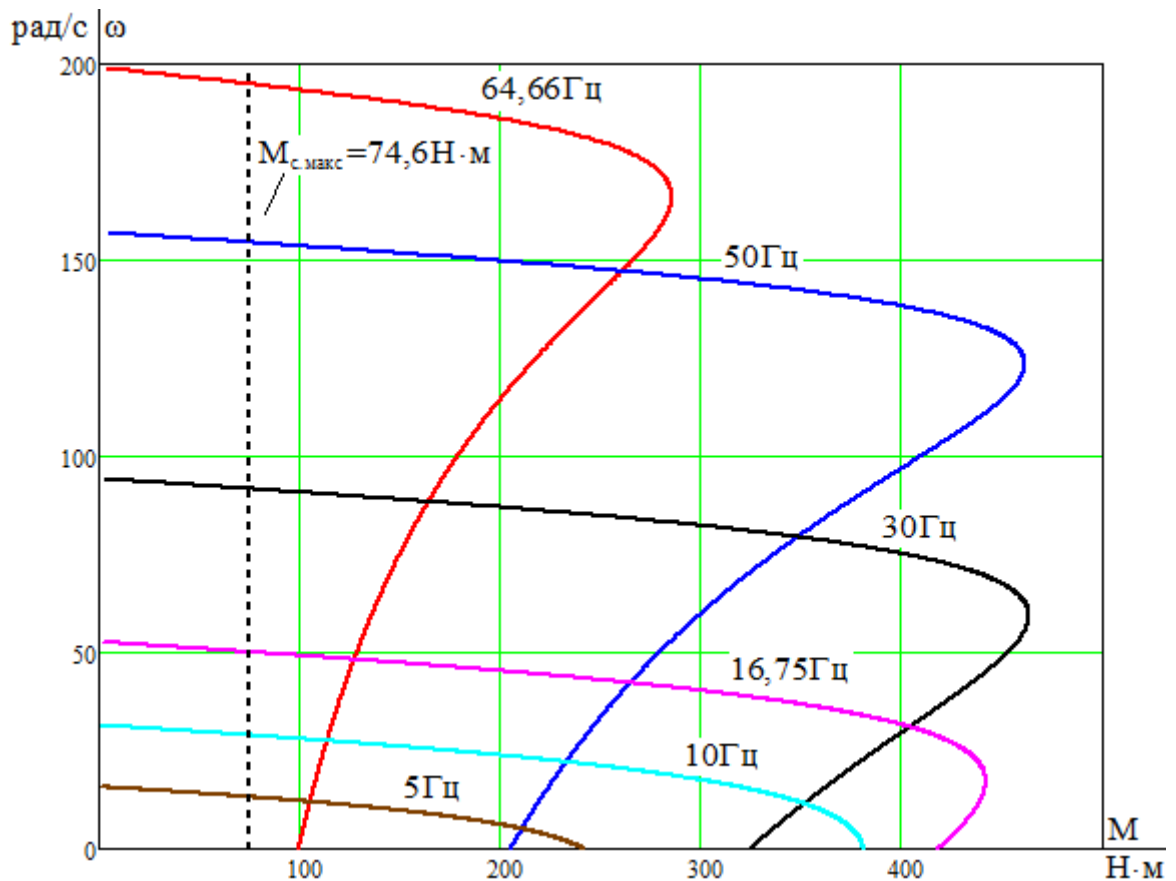


Рисунок 12 – Механические характеристики $\omega(M)$ при законе регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$ и IR-компенсации

1.12. Моделирование прямого пуска электродвигателя

При построении скалярных систем управления асинхронными электроприводами используется, в основном, математическое описание АД

относительно векторов тока статора. Для анализа динамики произвольно вращающуюся систему координат целесообразней заменить неподвижной (стационарной), наиболее адекватно соответствующей процессам в реальном двигателе.

Математическое описание АД в неподвижной системе координат α – β :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{s\alpha}(t)}{dt} = \frac{1}{L_e} \cdot [U_{s\alpha}(t) - R_e \cdot i_{s\alpha}(t) + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\alpha}(t) + K_r \cdot z_p \cdot \omega(t) \cdot \psi_{r\beta}(t)] \\ \frac{di_{s\beta}(t)}{dt} = \frac{1}{L_e} \cdot [U_{s\beta}(t) - R_e \cdot i_{s\beta}(t) + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\beta}(t) - K_r \cdot z_p \cdot \omega(t) \cdot \psi_{r\alpha}(t)] \\ \frac{d\psi_{r\alpha}(t)}{dt} = R_r \cdot K_r \cdot i_{s\alpha}(t) - A_r \cdot \psi_{r\alpha}(t) - z_p \cdot \omega(t) \cdot \psi_{r\beta}(t) \\ \frac{d\psi_{r\beta}(t)}{dt} = R_r \cdot K_r \cdot i_{s\beta}(t) - A_r \cdot \psi_{r\beta}(t) + z_p \cdot \omega(t) \cdot \psi_{r\alpha}(t) \\ \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{1}{J} \cdot \{ K_m \cdot [\psi_{r\alpha}(t) \cdot i_{s\beta}(t) - \psi_{r\beta}(t) \cdot i_{s\alpha}(t)] - M_c \} \end{array} \right. .$$

Здесь $i_{s\alpha}(t)$, $i_{s\beta}(t)$, $U_{s\alpha}(t)$, $U_{s\beta}(t)$ – компоненты пространственных векторов тока и напряжения статора; $\psi_{r\alpha}(t)$, $\psi_{r\beta}(t)$ – компоненты пространственного

вектора потокоцепления ротора; $R_e = R_s + R_r \cdot K_r^2$, $L_e = L_s - \frac{L_m^2}{L_r}$, $K_r = \frac{L_m}{L_r}$,

$A_r = \frac{R_r}{L_r}$, $K_m = 1,5 \cdot K_r \cdot z_p$ – коэффициенты, учитывающие параметры АД;

$L_s = L_{s\sigma} + L_m$, $L_r = L_{r\sigma} + L_m$ – полные индуктивности обмоток статора и ротора.

Параметры обмоток ротора в уравнениях считаются приведенными к обмотке статора. Структурная схема двигателя, соответствующая приведенным уравнениям в системе координат α – β , представлена на рисунке 13. Имитационная модель асинхронного двигателя в программной среде MATLAB Simulink приведена на рисунке 14.

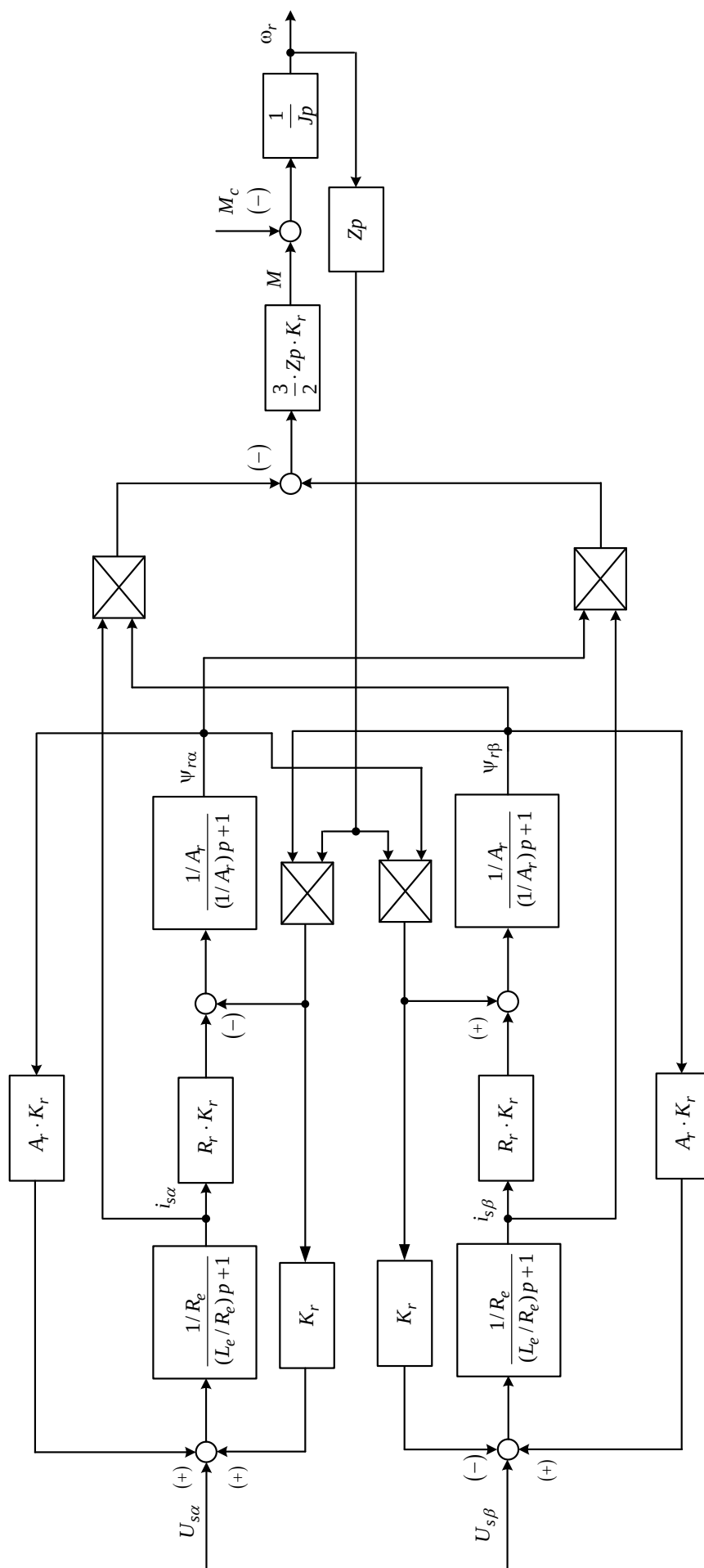


Рисунок 13 – Структурная схема асинхронного двигателя в неподвижной системе координат α - β

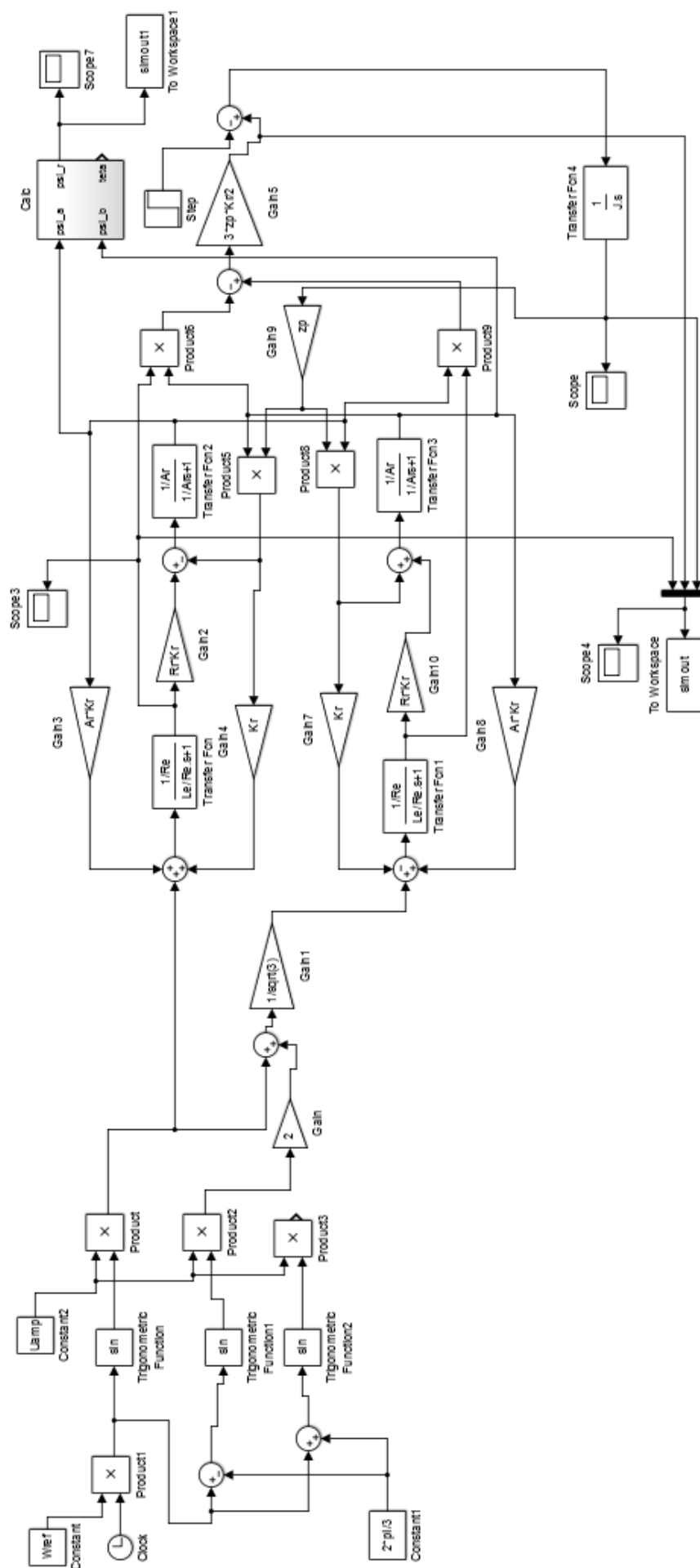


Рисунок 14 – Имитационная модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат в программной среде MATLAB Simulink

Полная индуктивность цепи статора:

$$L_1 = L_{\sigma 1} + L_{\mu} = 0,001419 + 0,071 = 0,072 \text{ Гн.}$$

Полная индуктивность цепи ротора:

$$L'_2 = L'_{\sigma 2} + L_{\mu} = 0,001923 + 0,071 = 0,073 \text{ Гн.}$$

Рассчитаем коэффициенты структурной схемы:

$$K_r = \frac{L_{\mu}}{L'_2} = \frac{0,071}{0,073} = 0,974;$$

$$L_e = L_1 - \frac{L_{\mu}^2}{L'_2} = 0,072 - \frac{0,071^2}{0,073} = 0,00329 \text{ Гн.}$$

$$R_e = R_1 + R'_2 \cdot K_r^2 = 0,207 + 0,203 \cdot 0,974^2 = 0,399 \text{ Ом.}$$

$$A_r = \frac{R'_2}{L'_2} = \frac{0,203}{0,073} = 2,786.$$

Переходные процессы в АД при прямом пуске вхолостую и набросе номинальной нагрузки представлены на рисунке 15.

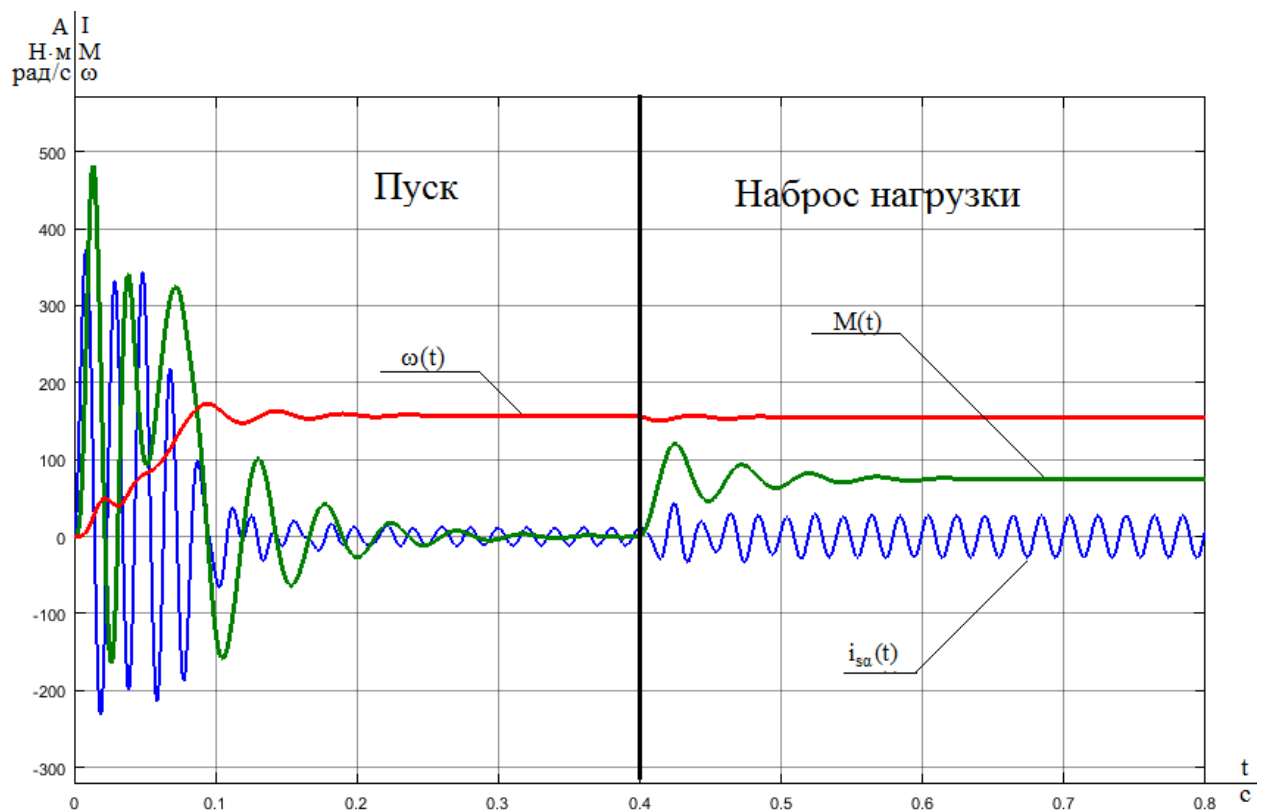


Рисунок 15 – Переходные процессы в АД при прямом пуске вхолостую и последующим набросе номинальной нагрузки

1.13. Моделирование частотного пуска электродвигателя с частотным законом управления $U_1/f_1 = \text{const}$

Имитационная модель асинхронного электропривода со скалярным управлением в программной среде MATLAB Simulink представлена на рисунке 16.

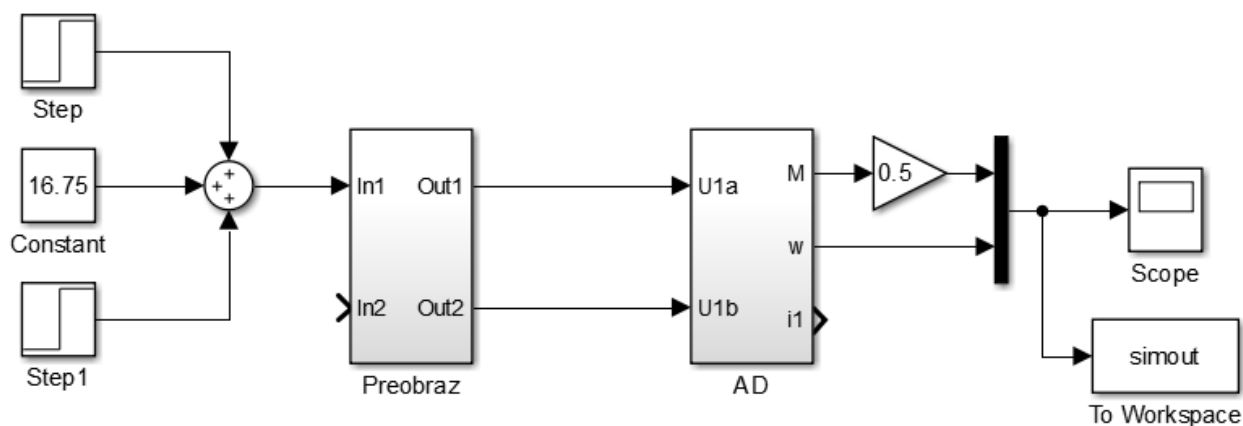


Рисунок 16 – Имитационная модель асинхронного электропривода со скалярным управлением

Имитационная модель асинхронного двигателя (подсистема «AD») представлена на рисунке 17.

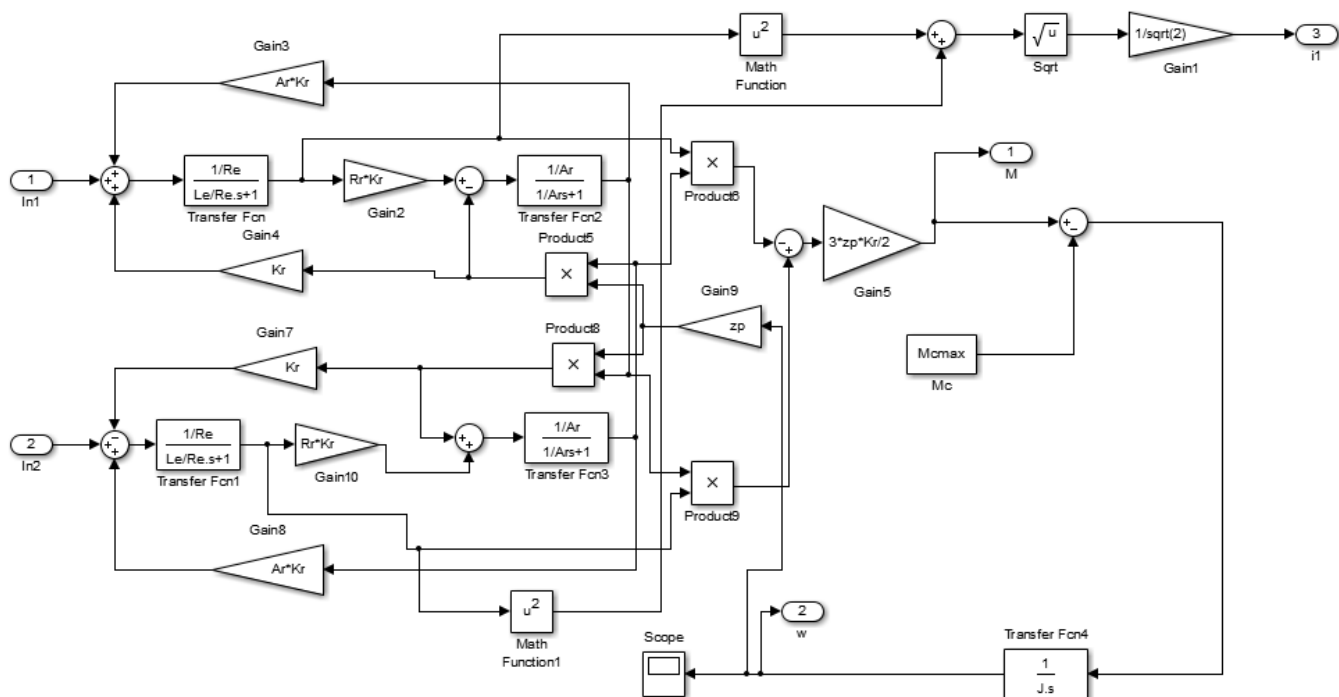


Рисунок 17 – Имитационная модель асинхронного двигателя

Имитационная модель преобразователя частоты (подсистема «Preobraz») представлена на рисунке 18.

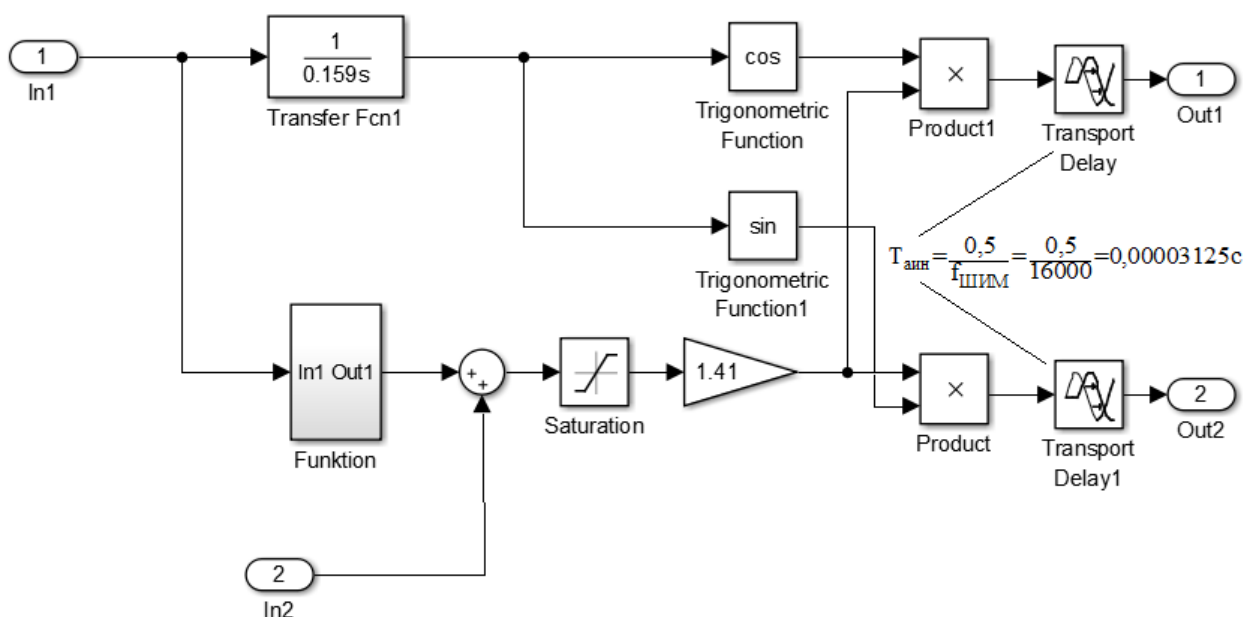


Рисунок 18 – Имитационная модель преобразователя частоты

Подсистема «Function» реализует закон управления:

$$U_1(f_1) = U_{1\phi_n} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1n}} \right) = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right) = 4,4 \cdot f_1 = \text{const}$$

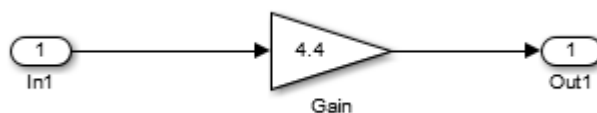


Рисунок 19 – Подсистема «Function»

Моделирование производится при законе регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$.

Результатом имитационного исследования прямого пуска электродвигателя при значениях частоты $f_{11}=16,75$ Гц, $f_{12}=50$ Гц и $f_{13}=64,66$ Гц является переходный процесс, представленный на рисунке 20.

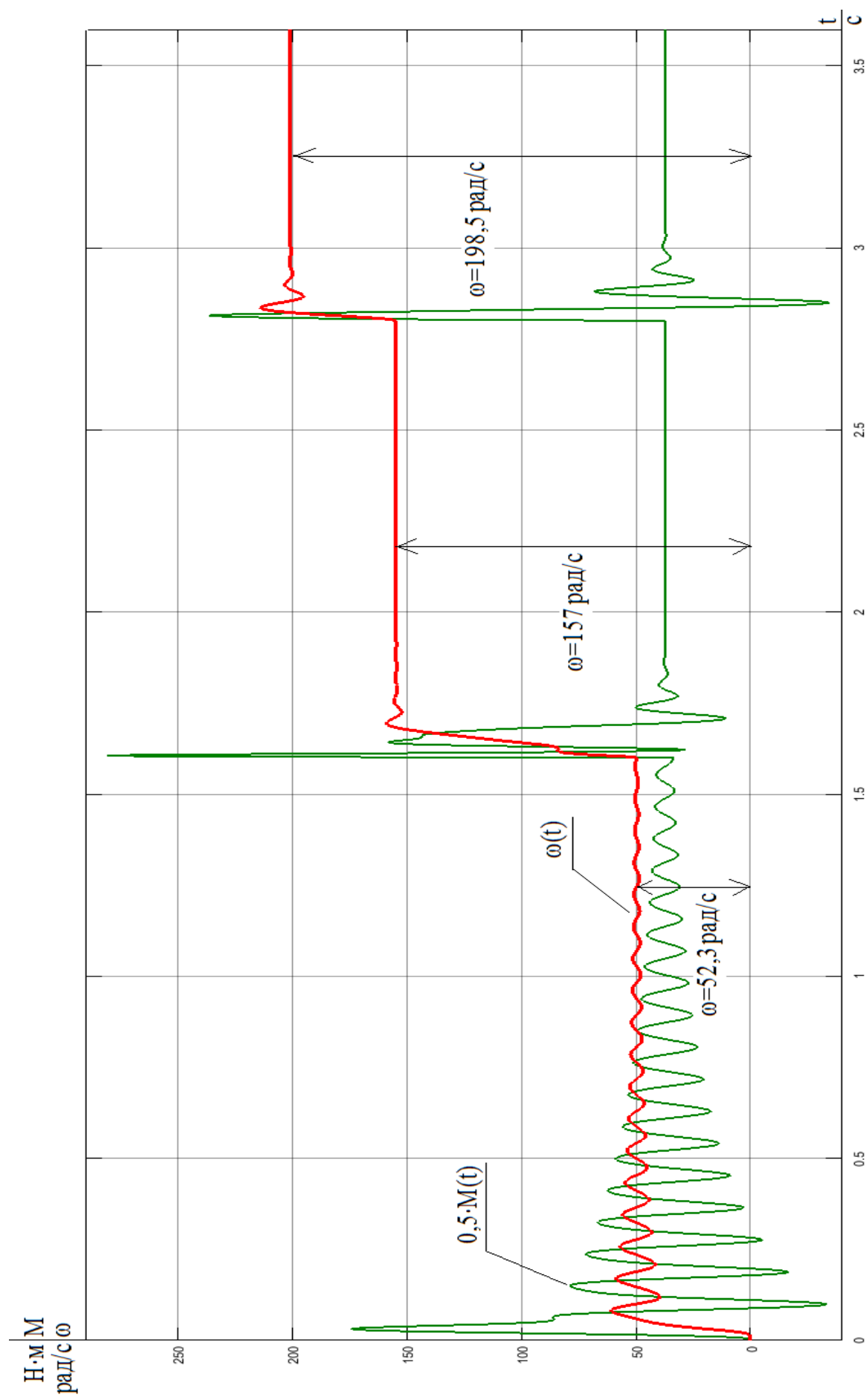


Рисунок 20 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f = \text{const}$ при значениях частоты $f_1 = 16,75 \text{ Гц}$, $f_2 = 50 \text{ Гц}$ и $f_3 = 64,77 \text{ Гц}$

На графике переходных процессов мы не можем наблюдать, что при прямом пуске электродвигателя присутствуют значительные колебания момента двигателя, а также большие значения пускового тока и момента. Для преобразователя частоты данные превышения по току могут привести к выходу из строя, так как преобразователь рассчитан на определенное значение превышения по току. Для электродвигателя вышеуказанные превышения скажутся на сроке службы, т.к. при протекании большого значения тока по обмоткам двигателя, его срок эксплуатации уменьшается.

Имитационное моделирование показало, что частоты, требуемые для обеспечения минимальной и максимальной скоростей электропривода, рассчитаны верно. Неприемлемым остаются броски тока и момента при пуске и переходе от одной скорости к другой, поэтому принимаем решение ограничить указанные величины.

1.14. Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателя со скалярным управлением

Ограничение тока и момента можно добиться с помощью задатчика интенсивности, поэтому воспользуемся функциональной схемой частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением. Данная схема приведена на рисунке 21. В нее входят следующие устройства и механизмы: преобразователь частоты SIMOVERT VASTERDRIVES Vector Control 7023, асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором АИР60М4. Данный электропривод можно настроить с помощью типа и параметра задатчика интенсивности.

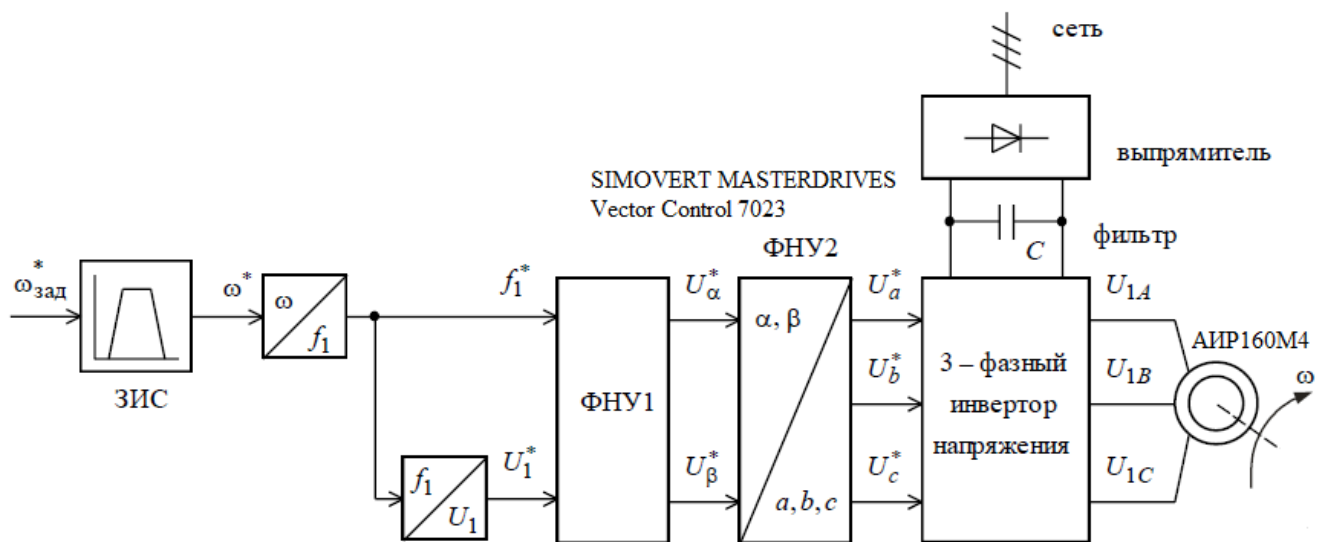


Рисунок 21 – Функциональная схема асинхронного электропривода питателя с частотным регулированием

Структура частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением и IR-компенсацией представлена на рисунке 22.

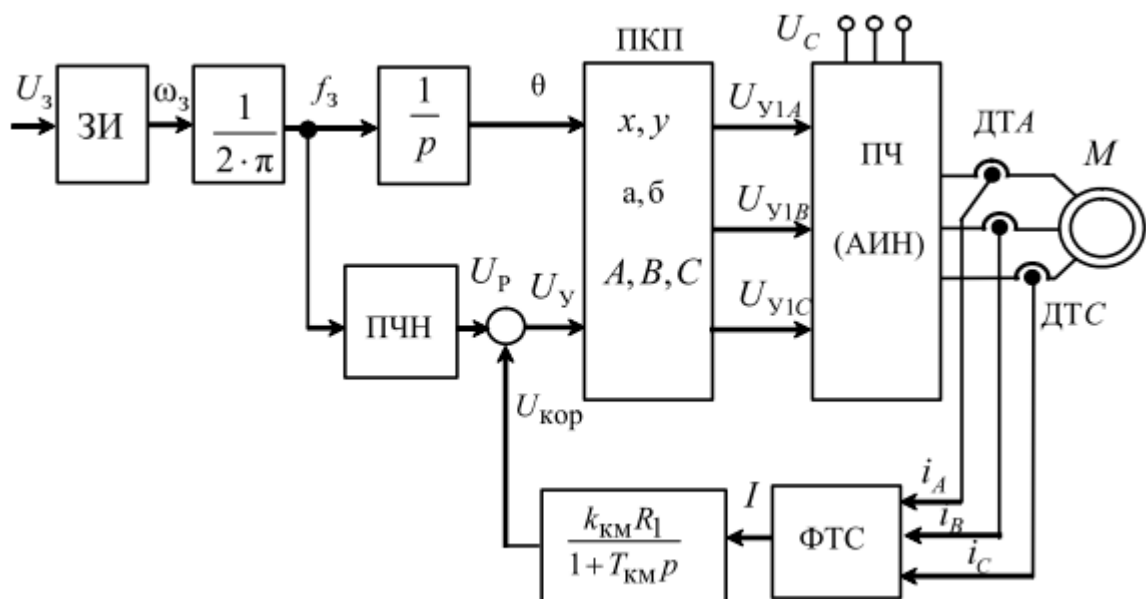


Рисунок 22 – Структурная схема асинхронного ЭП со скалярным управлением

ЗИ – задатчик интенсивности формирует кривую и темп разгона двигателя;

ПЧН – блок «преобразователь частота – напряжение» формирует требуемую зависимость скалярного управления между частотой и напряжением преобразователя, чем и устанавливает один из принятых способов частотного регулирования;

ПКП – прямой координатный преобразователь, на выходе которого формируется три синусоидальных напряжения управления U_{y1A} , U_{y1B} , U_{y1C} , сдвинутые относительно друг друга на угол $\pm 2\pi/3$, с амплитудами, пропорциональными напряжению управления;

АИН – автономный инвертор, на выходе которого сигналы U_{y1A} , U_{y1B} , U_{y1C} формируют фазные напряжения;

ФТС – формирователь тока статора, необходим для коррекции тока статора и создания корректирующего напряжения;

ДТС – датчик тока статора.

1.15. Выбор задатчика интенсивности для электропривода питателя

В разомкнутой системе асинхронный двигатель – преобразователь частоты возможно ограничить момент двигателя в переходных режимах. Данного ограничения можно достигнуть, если использовать задатчик интенсивности скорости. Существуют два типа задатчиков интенсивности – линейный и s-образный. Оба задатчика формируют время разгона электропривода, ограничивая момент в переходных режимах. Сравним оба задатчика при имитационном моделировании и соответственно выберем лучший из них.

Имитационная модель s-образного задатчика интенсивности приведена на рисунке 23.

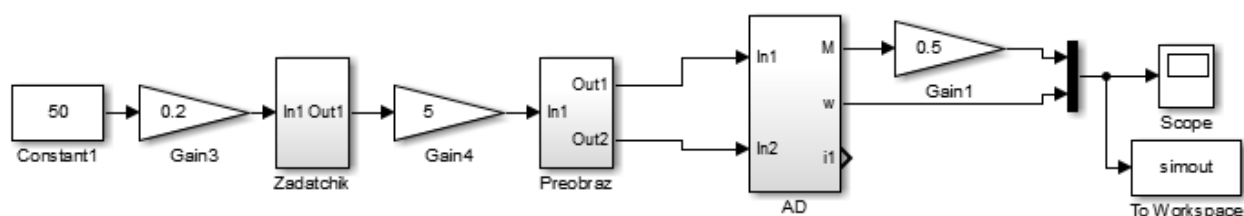


Рисунок 23 – Имитационная модель s-образного задатчика интенсивности

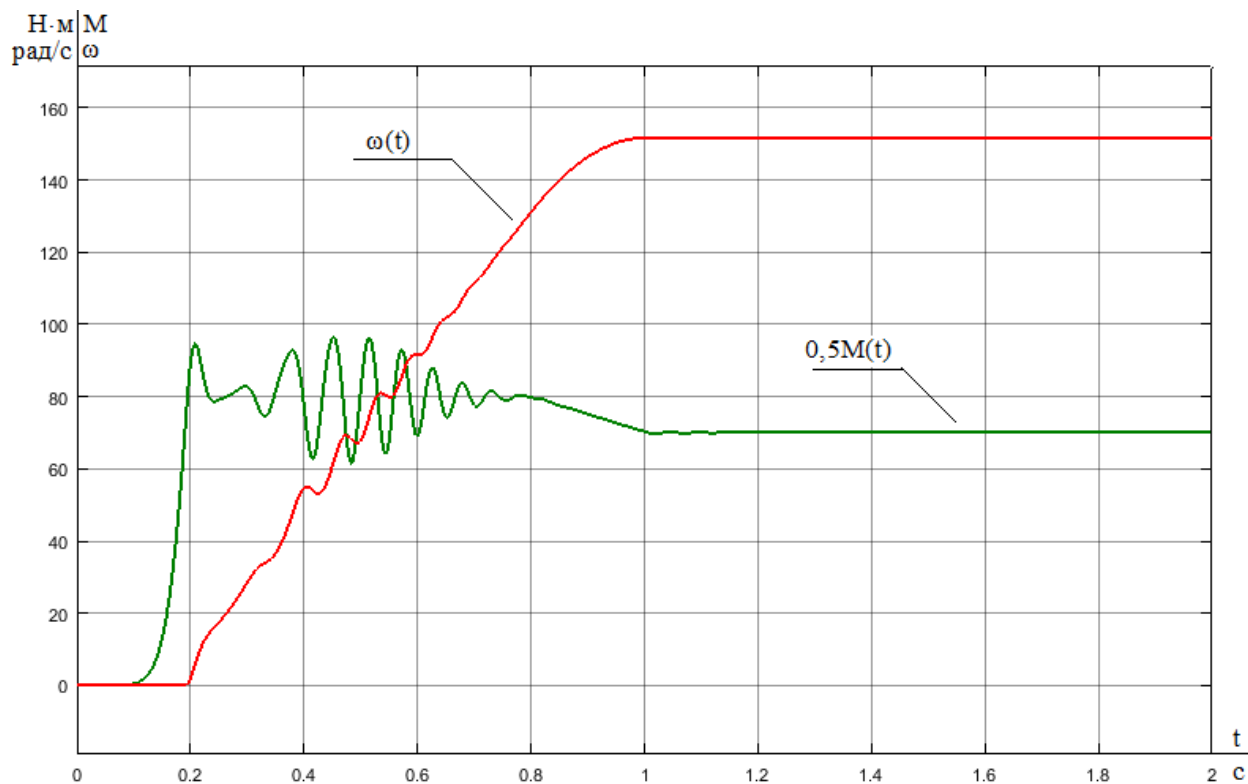


Рисунок 24 – Переходные процессы при пуске электродвигателя с s-образным задатчиком интенсивности

Имитационная модель линейного задатчика интенсивности приведена на рисунке 25.

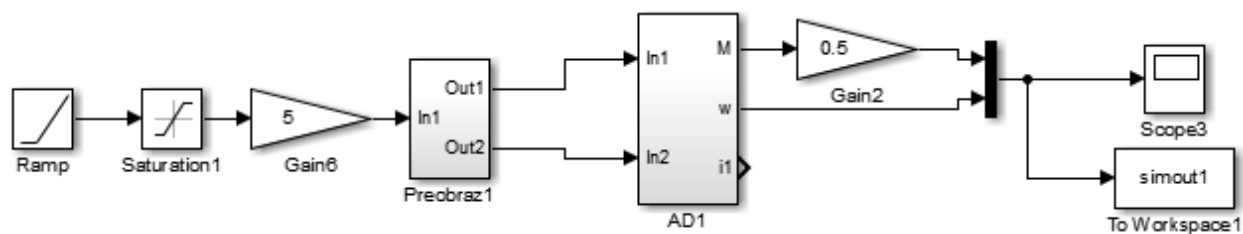


Рисунок 25 – Имитационная модель линейного задатчика интенсивности

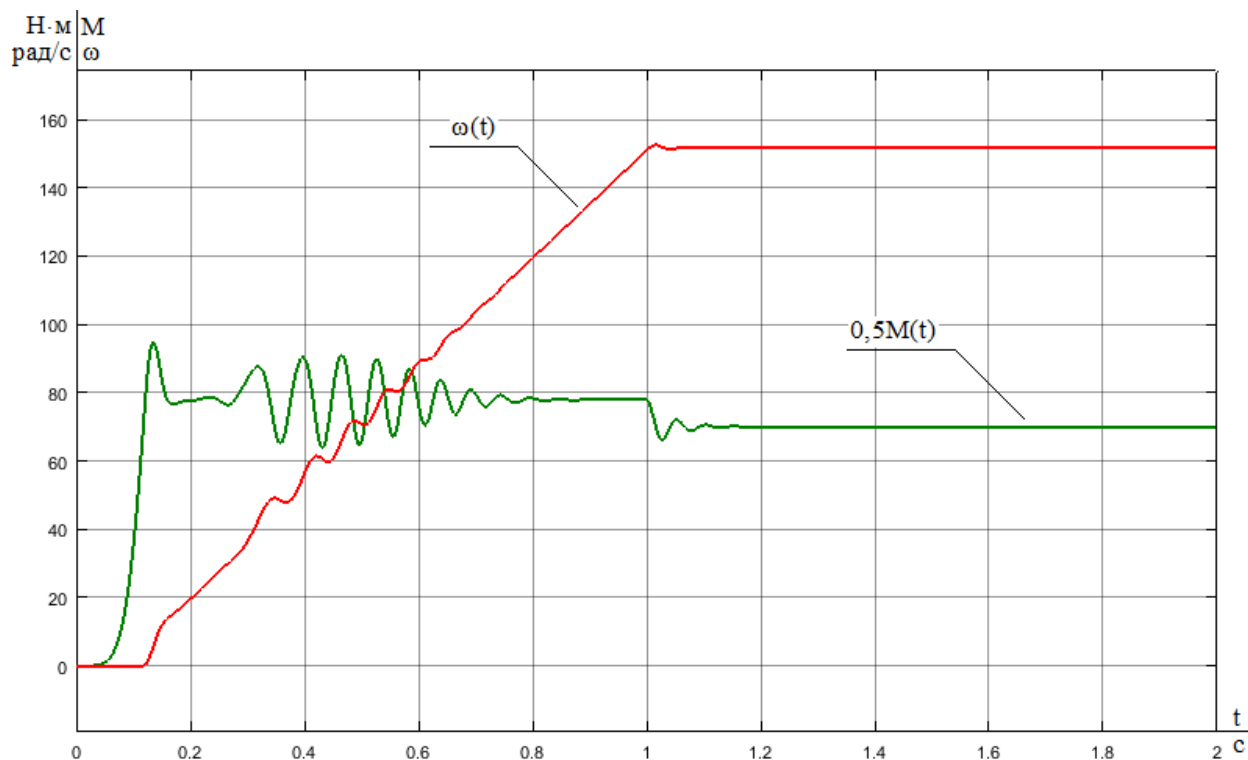


Рисунок 26 – Переходные процессы при пуске электродвигателя с линейным задатчиком интенсивности

Анализируя полученные графики переходных процессов, можно сделать вывод, что при пуске электродвигателя s-образный задатчик скорости ведет себя лучше. В переходном процессе наблюдается меньшая частота колебаний момента. Данный факт предопределил выбор s-образного задатчика интенсивности скорости.

1.16. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателя с s-образным задатчиком интенсивности

Проведем имитационное исследование электропривода питателя с s-образным задатчиком для полного цикла работы. Нужно оценить адекватность работы электропривода в основных технологических режимах работы. Имитационная модель приведена на рисунке 27.

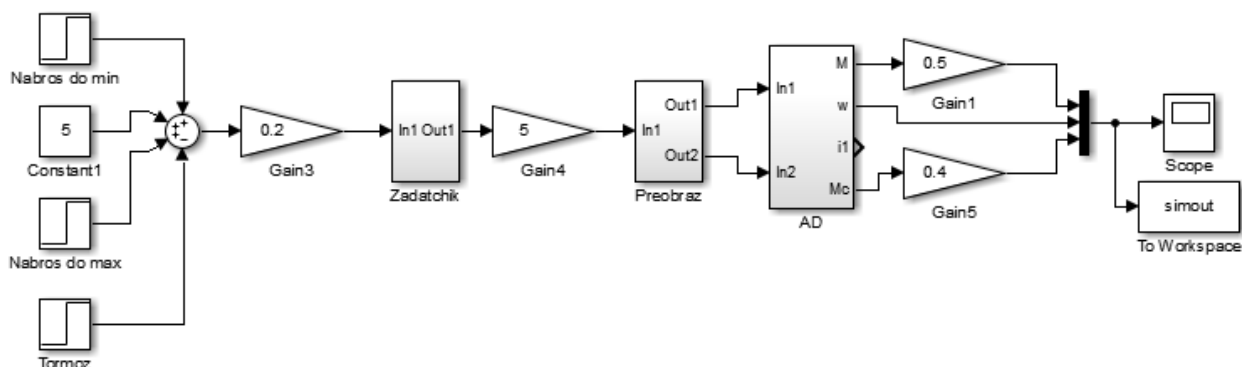


Рисунок 27 – Имитационная модель асинхронного электропривода

Полученный при моделировании полный цикл работы асинхронного электропривода питателя с s-образным задатчиком интенсивности скорости показан на рисунке 28. Торможение производится методом выбега, т.е. под действием момента сопротивления на валу двигателя. В данном цикле работы показаны следующие этапы работы. Отрезок А – к электроприводу подается минимальная частота инвертора, равная 5 Гц, затем частота увеличивается до 16,75 Гц, для того, чтобы обеспечить минимальную рабочую скорость. Отрезки В, D, К – электропривод работает в установившемся режиме при минимальной рабочей скорости. Отрезки С, G – при работе электропривода в установившемся режиме происходит увеличение момента нагрузки в 2 раза, затем уменьшение до номинального. Отрезок Е – электропривод разгоняется с минимальной рабочей скорости до максимальной. Отрезок F, Н – электропривод работает в установившемся режиме на максимальной рабочей скорости. Отрезок J – уменьшая частоту инвертора, электропривод тормозится до минимальной рабочей скорости.

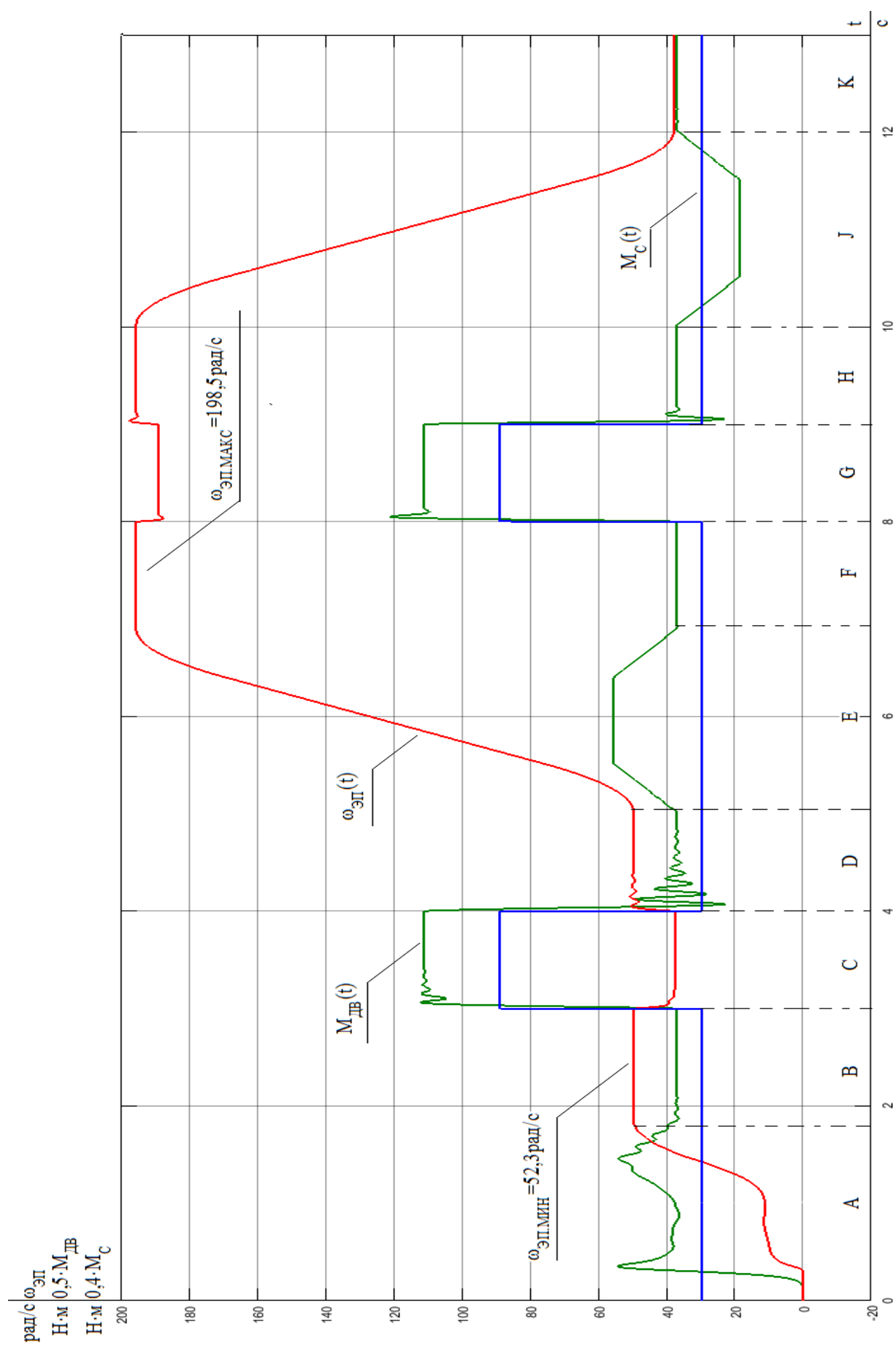


Рисунок 28 – Полный цикл работы электропривода питателя

Анализируя полученных переходных процессов, можно делать вывод, что выполненное моделирование оказалось успешным. При установке s-образного задатчика интенсивности скорости удалось уменьшить скачки момента и тока. Данный факт говорит о том, что при моделировании асинхронного электропривода питателя было правильно выбрано все требуемое оборудование. Требуемые, согласно техническому заданию, скорости были получены. В установившемся режиме на этих скоростях был произведен наброс момента нагрузки, превышающий номинальный в 2 раза. В этом случае скорость просела в допустимых пределах. Данный факт говорит о том, что спроектированный асинхронный электропривод питателя будет адекватно работать во всей области работы.

2. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

При проектировании асинхронного электропривода питателя нужно качественно оценить достигаемый эффект. В данной работе рассмотрим асинхронный электропривод питателя, который в дальнейшем может быть внедрен в систему топливоподачи тепловой электростанции для улучшения ресурсоэффективных показателей и экономии энергии.

2.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

2.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

В данном случае сегментирования целесообразно провести по критерию точности, т.к. как для разных типов режимов работы, требуется разная величина подачи угля в установки соответствующей мощности.

А также следует выделить сегменты рынка:

- по разработке, проектированию и производству;
- по установке и пуско-наладке;
- по дальнейшему обслуживанию и ремонту.

Исходя из сегмента рынка, будет произведено сегментирование коммерческих организаций по отраслям. Сегментирование приведено на рисунке 29.

	Электропривода постоянного тока с датчиками скорости	Асинхронные электропривода с датчиками скорости	Бездатчиковые асинхронные электропривода
Проектирование и производство			
Установка и пуско-наладка			
Обслуживание и ремонт			
Фирма А		Фирма Б	

Рисунок 29 – Карта сегментирования рынка разработок для ЭП

Результаты сегментирования:

- Основными сегментами рынка являются все виды деятельности для электроприводов постоянного тока и асинхронных электроприводов с датчиками скорости
- Наиболее сильно предприятие должно быть ориентировано на сегменты рынка связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой бездатчиковых асинхронных электроприводов;
- Наиболее привлекательными сегментами рынка являются отрасли, связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой бездатчиковых асинхронных электроприводов.

2.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Анализ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения приведен в приложении А.1.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 2.1, подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (3)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Итог анализа:

Данный асинхронный электропривод является энергоэффективным, а также, в системе используется частотно регулируемая система, что гарантирует надежную работу и простоту в управлении, а также возможность легкой настройки для автоматических режимов работы.

Данный анализ показывает, что продукт конкурентоспособен, и он может заинтересовать инвесторов, т.к. экономия энергии и ресурсов является одной из главных задач современности.

2.1.3. Технология QuaD

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценку проводим в табличной форме (приложение А.2).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по сто балльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (3)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Значение показателя P_{cp} получилось от 69 до 40 – то перспективность средняя.

Для большего распространения необходимо сделать некие маркетинговые ходы, поскольку не многие знают о подобных разработках. А также необходимо искать решения в альтернативных, более дешевых, материалах, которые могут быть использованы взамен, тех дорогих, которые используются сейчас.

2.1.4. SWOT-анализ

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

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап составление предварительной SWOT-матрицы (Приложение А.3).

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в приложении А.4.

В рамках **третьего этапа** должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приведена в приложении А.5.

Из данного анализа можно сделать вывод о том, что данная система является довольно перспективной, так как является очень простой в управлении, а также высокоэнергоэффективной. Среди недостатков следует выделить проблемы с материалами, а также возможность заполнения ниш

потенциальными конкурентами, так как данное направление в настоящее время активно развивается.

2.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Разработка находится на стадии получения конечного продукта, исходя из рекомендаций, приведенных в методических указаниях, предложим три основных варианта совершенствования разработки и основных направлений научного исследования.

Первый вариант представляет собой использование проверенной технологии проведения научных исследований на основе ОСТ 26-1141-74.

Второй вариант использования проверенной технологии проведения научных исследований на основе ОСТ 26-1141-74 с применением дополнительного оборудования.

Третий вариант – это использования реальных объектов испытаний для проведения научных исследований, а не их макетов. Использование данного метода позволит получить более точные результаты исследования.

2.3. Планирование научно-исследовательских работ

2.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1-Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер совместно с лаборантом
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Оформление отчета по НИР	9	Составление пояснительной записки	Инженер
	10	Публикация полученных результатов	Инженер

В данном разделе был составлен перечень работ и их распределение между сотрудниками. Основными исполнителями выбраны инженер, научный руководитель. Также некоторую помощь будет оказывать лаборант.

2.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (5)$$

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

В таблице 2.10 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работы.

2.3.3. Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (6)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

Результат представлен в приложении А.6.

Итого длительность работ в календарных днях при использовании

Первого варианта- 54,5 календарных дней.

Второго варианта- 69,9 календарных дней.

Третьего варианта- 45,3 календарных дней.

Календарный план-график построенный для максимального по длительности второго варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в приложении А.7.

В данном разделе были рассчитаны календарный план-график работ, трудоемкость, а также длительность работ. Наиболее быстрым методом

оказался метод, который проводится в 3 случае, то есть работа на реальном объекте, так как данный метод основан уже на исследованиях и оборудовании реально работавших в прошлом, что позволило сэкономить ресурсы.

2.3.4.1. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расхi}, \quad (7)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2-Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Z _м), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Перчатки	Пара	3	2	1	15	15	15	36	36	18
Нож	Штука	2	2	-	30	30	-	72	72	-
Кусачки	Штука	1	1	-	200	200	-	240	240	-
Эмальпровод ПЭТД-180	Кг	1	1	1	400	400	400	480	480	480
Компаунд КП-50	Банка	1	1	1	800	800	800	960	960	960
Итого								1752	1752	1440

2.3.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Расчет затрат по данной статье заносится в таблицу 2.3.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблица 2.3.

Таблица 2.3 -Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования
для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования			Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Вентиль тор	Вентиль тор	-	1	1	-	4600	4600	-	4600	4600	-
2.	-	Датчик разности давлени я	-	-	1	-	-	5000	-	-	5000	-
3.	Преобра зователь частоты	Преобра зователь частоты	-	1	1	-	8600	8600	-	8600	8600	-
Итого:										13200	18200	-

2.3.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия,

выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (8)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot М}{F_{д}}, \quad (9)$$

где $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет основной заработной платы представлен в приложении А.8.

Расчет баланса рабочего времени приведен в таблице 2.4.

Таблица 2.4-Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер	Лаборант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней			
- выходные дни	52	52	52
- праздничные дни	14	14	14
Потери рабочего времени			
- отпуск	56	56	28
- невыходы по болезни	14	17	20
Действительный годовой фонд рабочего времени	229	226	251

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{м} = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р}, \quad (10)$$

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

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$);

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{тс}$);

$k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{с1} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 2.5.

Таблица 2.5-Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р}$, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	27500	0,3	0,15	1,3	51838	2308,91921	229	528742,5
Инженер	17500	0,3	0,5	1,3	40950	1848,18584	226	417690
Лаборант	13000	0,3	0,3	1,3	27040	1206,56574	251	302848
Итого								1249281

Тарифные ставки были приняты на основании данных газеты «За кадры» <http://za-kadry.tpu.ru/article/3393/7618.htm>

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор (см. «Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

2.3.4.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.) [8].

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (12)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 2.17.

2.3.4.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (13)$$

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

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлен в таблице 2.6.

Таблица 2.6-Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Научный руководитель	10620,97	95127,08	18471,26	1274,51	11415,25	2216,55
Инженер	102019,5	171141,4	12789,53	12242,34	20536,97	1534,74
Лаборант	41264,34	62741,1	55075,75	4951,72	7528,93	6609,09
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	46713,18					
Исполнение 2	99860,98					
Исполнение 3	26204,86					

2.3.4.6. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (14)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Расчет величины накладных расходов приведен в таблице 2.7.

Таблица 2.7-Величины накладных расходов

	$Z_{\text{накл}}$, руб.
Исполнение 1	37446,18
Исполнение 2	77123,19
Исполнение 3	19894,69

2.3.4.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 2.8.

Таблица 2.8 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НИИ	1752	1752	1440	Пункт 3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	13200	18200	-	Пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	153904,9	322726	86336,58	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	18468,57	39481,2	10360,38	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	46713,18	99861	26204,86	Пункт 3.4.5
6. Накладные расходы	37446,184	77123,2	19894,6912	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	234038,65	482020	124341,82	Сумма ст. 1- 6

В данном разделе были рассчитаны основные расходы при проведении исследований, наиболее простым и дешевым методом оказался метод 3.

2.4. Определение ресурсоэффективности проекта

Финансовую эффективность проекта можно оценить при помощи интегрального финансового показателя:

$$I_{фин}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

где:

$I_{фин}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Расчёт интегрального финансового показателя проводим в виде табличной формы.

Таблица 2.9 – Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

Вариант схемы	Φ_{max} , руб.	Φ_{pi} , руб.	$I_{фин}^{исп.i}$, о.е.
1	482020	234038	0,486
2		482020	1
3		124341	0,258

Величина интегрального финансового показателя разработки схемы 3 (исп. 3) отражает соответствующее численное удешевление стоимости электропривода при одинаковой мощности. Схема 3 имеет наименьший интегральный показатель среди трёх конкурентных технических решений, и, следовательно, вариант схемы является наиболее финансово эффективным, что является определяющим критерием.

Определение ресурсоэффективности проекта схемы 3 можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности схем проводим в виде табличной формы.

Таблица 2.10 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Жилые квартиры	Офисные помещения	Цеха
1. Безопасность	0,25	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,10	5	5	5
3. Помехоустойчивость	0,10	4	4	4
4. Энергосбережение	0,15	4	4	5
5. Надёжность	0,25	5	5	4
6. Материалоёмкость	0,15	4	4	5
Итого:	1,00	4,5	4,5	4,6

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,6.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта. [9]

В ходе выполнения данной работы, было выявлено, что данная разработка является весьма актуальной. Так как ресурсоэффективность в настоящем является одной из основных целей многих предприятий. Также экономией энергии не пренебрегают и частные лица, внедряющий данные рекуперативные установки в свои жилые помещения.

Среди достоинств, основываясь на проведенных выше анализах, стоит отметить простоту в управлении, так как используется хорошо распространенная система электропривода «преобразователь частоты – асинхронный двигатель».

Помимо достоинств, у системы есть и недостатки. На основании анализа, следует сделать вывод о том, что проекту необходимо развиваться в области замены более дорогих материалов, альтернативными более дешевыми, а также стоит поработать над качеством шумоизоляции.

Во всех трех случаях, наиболее лучшими показателями обладает третий способ ведения исследований, который основан на том, что проект будет разработан с участием реальных объектов, на предприятии.

Наиболее затратным оказалось второе исполнение, а наименее затратным третий. Помимо показателя наименьших затрат, третий способ займет наименьшее количество времени.

Введение данной разработки позволит повысить эффективность и надежность привода питателя ТЭС, а также улучшить показатели экономических составляющих.

3. Социальная ответственность

3.1. Описание рабочей зоны

На сегодняшний день процессы, происходящие в индустрии промышленности страны, тесно связаны с экономикой и занимаемой на мировом рынке местом. Принципы взаимосвязи человека и предприятия должны отражать стратегическую деятельность, направленную на общую цель. Термины устойчивого развития предприятия и социальной ответственности подразумевает под собой ряд соглашений, норм и ценностей. А также сознательное отношение субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости, гражданского долга, социальных задач, понимание последствий осуществляемой деятельности для определенных социальных групп и личностей, для социального прогресса общества и развития предприятия в целом.

Целью данного раздела является оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, разработка мер защиты от них, рассмотрение вопросов производственной санитарии, техники безопасности, пожарной профилактики, охраны окружающей среды, защиты в ЧС при работе электротехнического (электроэнергетического) персонала, обслуживающего проектируемый электропривод шнекового питателя на тепловой электростанции.

Персонал, обслуживающий оборудование электропривода питателя, работает в условиях возможного воздействия ряда неблагоприятных для здоровья факторов, обусловленных состоянием помещений и характером производства. В связи с этим, обязательным является соблюдение санитарных норм проектирования промышленных предприятий.

3.2. Анализ опасных и вредных факторов

В процессе трудовой деятельности электротехнический персонал, обслуживающий оборудование электропривода питателя и находящийся на своем рабочем месте (главный корпус с паровыми котлами тепловой

электростанции) подвержен влиянию опасных (вызывающие травмы) и вредных (вызывающие заболевания) производственных факторов.

К вредным относятся следующие факторы технологического процесса:

- Возможность повышенного уровня шума и вибраций (в местах, где установлено технологическое оборудование);
- Возможность недостаточной освещенности рабочей зоны, отклонения от нормативов метеоусловий, уровня электромагнитного поля.
- Возможность повышенного уровня шума и вибраций (в местах, где установлено технологическое оборудование);
- Возможность недостаточной подвижности воздуха рабочей зоны.

К опасным относятся следующие факторы технологического процесса:

- Возможность поражения человека вращающимися частями электрооборудования (вал двигателя, вал питателя);
- Возможность поражения электричеством (случайное прикосновение к токоведущим частям оборудования);
- Возможность загорания (пожара);

3.3. Производственная санитария

Согласно ГОСТ 12.0.002-2014 производственной санитарией называется система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие на работающих вредных производственных факторов.

Для создания нормальных условий работы объем производственных помещений должен составлять на одного работающего не менее 15 м³, площадь не менее 4,5 м², при высоте помещения не меньше 3,2 м.

В цехах ТЭС должны быть предусмотрены гардеробные, душевые, помещения для отдыха, оздоровительные кабинеты для рабочих.

3.4. Воздух рабочей зоны

Большое значение для охраны здоровья и труда человека имеет качество воздуха в производственных помещениях.

По ГОСТ 12.1.005-97ССБТ нормируются следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздушного потока, ПДК вредных веществ.

Эти данные приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Нормируемое качество воздуха

Сезон года	Категория работы	Температура, С°	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный период года	I	20-30	60-40	0,2
	IIa	18-20		0,2
	IIб	17-19		0,3
	III	16-18		0,3
Теплый период года	I	22-25	60-40	0,2
	II а	21-23		0,3
	II б	20-22		0,4
	III	18-21		0,5

При оценке допустимых значений температуры и влажности воздуха учитывается категория тяжести работ. По степени физической тяжести работа электротехнического персонала относится к категории средней тяжести II б [10,11].

Параметры микроклимата в зимнее время поддерживаются системой отопления, летом – общеобменной вентиляцией.

3.5. Вентиляция

При осуществлении любого производственного процесса, как правило, всегда выделяется теплота. Источниками теплоты являются печи, котлы,

паропроводы и т. д. Теплота выделяется при сжигании топлива, нагреве, при переходе электроэнергии в теплоту и т.п.

Многие производственные процессы сопровождаются выделением пыли. Проникая в организм человека при дыхании, при заглатывании и через поры кожи могут вызвать различные заболевания. Поэтому для поддержания микроклимата в цехах ТЭС в оптимальном состоянии используется вентиляция помещений.

Вентиляция позволяет осуществлять регулируемый воздухообмен, обеспечивающий нормальные санитарно-гигиенические условия в производственных помещениях.

В цехах ТЭС используется общеобменная, механическая приточно-вытяжная вентиляция. Для очистки загрязненного воздуха, выбрасываемого в атмосферу, используются пылеотделители.

3.6. Защита от шума и вибрации

Повышение звукового давления негативно влияет на орган слуха. Для измерения громкости (в децибелах Дб) может быть использован двушкальный шумомер. В цехе допускается громкость не выше 80 Дб. Громкость выше заданной нормы может вызвать болевой эффект [12].

Шум на исследовательском рабочем месте создаётся вентиляционной системой и производственным оборудованием (двигатели, шнековые питатели, котлы).

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются следующие меры:

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

Предельно допустимые уровни шума согласно ГОСТ 12.1.003-83 “Шум. Общие требования безопасности.” представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2. Предельно допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Главный корпус	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Главный щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Технические нормы вибрации согласно ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационная безопасность» представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Нормы вибрации

Вид вибрации	Среднеквадратичная частота, Гц									
	Логарифмический уровень виброскорости									
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500
Главный корпус	-	103	100	101	106	112	118	-	-	-

3.7. Освещение

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормированных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.

Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятии, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности.

Наилучшим видом освещения является дневное, солнечное. Поэтому в соответствии с санитарными правилами все цеха ТЭС имеют естественное освещение.

Однако дневной свет, зависящий также от погодных условий, не может обеспечить необходимый уровень освещенности в течении всех рабочих смен. Поэтому цеха ТЭС обеспечиваются как естественным, так и искусственным освещением.

В качестве источников искусственного освещения применяются люминесцентные лампы.

Нормативы освещенности для главного цеха представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4. Нормативы освещенности

Наименование цеха, отделения, участка, технологической операции, оборудования, рабочего места	Освещенность, лк		
	при комбинированном освещении		при общем освещении
	общее + местное	общее	
<i>Главный корпус</i>			
Общий уровень освещенности по цеху			300
Оборудование питателя	2000	200	

В соответствии со СНиП 23-05-95 территория Российской Федерации зонирована на пять групп административных районов по ресурсам светового климата, Томская область относится к первой группе.

При проектировании здания необходимо учитывать естественную освещенность и составлять планы цехов таким образом, чтобы уровень КЕО (коэффициент естественной освещенности) удовлетворял нормативным требованиям, приведенным ниже.

Таблица 3.5. Нормированные значения КЕО

<i>Разряд зрительной работы</i>	<i>Наименьшее нормированное значение КЕО %, при совместном освещении</i>		
	<i>верхнем или верхнем и боковом</i>	<i>боковом</i>	
		<i>В зонах с устойчивым снежным покровом</i>	<i>На остальной территории</i>
I	3.0	1.0	1.2
II	2.5	0.8	1.0
III	2.0	0.6	0.7
IV	1.5	0.4	0.5
V	1.0	0.2	0.3
VI	0.7	0.2	0.2
VII	1.0	0.2	0.3

3.8. Электробезопасность

Основным документом, регламентирующим воздействие электрического тока в производственных условиях, является ГОСТ 12.1.009-76.

По степени опасности поражения людей электрическим током главный корпус относится к помещениям с повышенной опасностью (2 категория). В корпусе имеются условия, создающие повышенную опасность, а именно возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

Электрический ток представляет значительную опасность для здоровья человека непосредственно при контакте человека с токопроводящей поверхностью.

Электробезопасность - система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного

действия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Прохождение электрического тока через тело человека вызывает поражение различных органов, оказывает воздействие на нервную систему, кровеносно-сосудистую систему человека, на кровь, сердце, мозг и т.д.

Виды воздействий электрического тока на организм человека:

- Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагрев кровеносных сосудов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути протекания тока до критической температуры;
- Электролитическое действие тока выражается в разложении крови, что нарушает ее состав и функции;
- Механическое действие тока проявляется в значительном давлении в кровеносных сосудах и мышечных тканях;
- Биологическое действие тока проявляется в раздражении живых тканей, что вызывает реакцию организма – возбуждение, что и обуславливает непроизвольное сокращение мышц.

При наиболее неблагоприятном исходе воздействие электрического тока может привести к смерти человека.

Для защиты персонала от поражения электрическим током в цехах ТЭС используются следующие меры: защита от случайного прикосновения; защитное заземление; зануление.

3.8.1. Защита от случайного прикосновения

Для исключения возможности случайного прикосновения или опасного приближения к токоведущим частям в цехах ТЭС обеспечивается их недоступность путем ограждения, блокировок или расположения токоведущих частей на недоступную высоту. Ограждения применяются как сплошные, в виде кожухов и крышек, применяемые в электроустановках до 1000 В, так и сетчатые, которые имеют двери, запирающиеся на замок.

В электроустановках до 1000 В ограждаются – неизолированные токоведущие части, находящиеся под напряжением части оборудования, пусковая аппаратура, открытые плавкие вставки.

В электроустановках выше 1000 В – все без исключения токоведущие части (изолированные и неизолированные) должны быть надежно ограждены сетками, закрыты металлическими дверями, заключены в металлические ящики или расположены на недоступной высоте.

Блокировки применяются в электроустановках, в которых часто производятся работы на ограждаемых токоведущих частях и электрических аппаратах. Электрические блокировки осуществляют разрыв цепи специальными контактами, которые устанавливаются на дверях кожухов.

3.8.2. Защитное заземление

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетокведущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциала, разряд молнии и т. п.). Основное назначение защитного заземления – устранение опасности поражения персонала электрическим током при появлении напряжения на конструктивных частях электрооборудования.

3.8.3. Зануление

Защитное зануление в электроустановках напряжением до 1 кВ - преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Зануление применяется в четырехпроводных сетях напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью. При занулении корпуса электрооборудования соединяются не с заземлителями, а с нулевым проводом.

Принцип действия: зануление превращает замыкание на корпус в однофазное короткое замыкание, в результате чего срабатывает максимальная токовая защита и селективно отключает поврежденный участок сети. Кроме того, зануление снижает потенциалы корпусов, появляющиеся в момент замыкания на землю. При замыкании на зануленный корпус ток короткого замыкания проходит через обмотки трансформатора, фазный провод и нулевой провод.

3.9. Мероприятия по технике безопасности и пожарной безопасности

Главный корпус, согласно Федеральному Закону от 22.07.2008 №123-ФЗ и Техническому регламенту о пожарной безопасности относится к категории «Г», т.е. это производство где присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) негорючие вещества или материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и/или пламени. Перед началом работ в электроустановках в целях безопасности необходимо проводить организационные и технические мероприятия.

К организационным мероприятиям относят выдачу нарядов, распоряжений и допуска к работе, надзор во время работы, оформление перерывов в работе, переводов на другое рабочее место и окончание работы. Наряд и распоряжение – это задания на безопасное производство работ, определяющее их меры безопасности, места и время, а также лица, которым поручено выполнение этих работ. При работе по наряду бригада должна состоять не менее чем из двух человек - производителя работ и члена бригады.

Производитель работ отвечает за правильность подготовки рабочего места, выполнение необходимых для производства работ мер безопасности. Он же проводит инструктаж бригады об этих мерах, обеспечивает их выполнение

ее членами, следит за исправностью инструмента, такелажа, ремонтной оснастки. В зависимости от категории электроустановок (свыше или до 1000 В) производитель выполняемых работ должен иметь группу по электробезопасности не ниже IV, в установках до 1000 В и для работ, выполняемых по распоряжению, не ниже III. Перед допуском к работе ответственный руководитель и производитель работ вместе с допускающим проверяют выполнение технических мероприятий по подготовке рабочего места. После этого допускающий проверяет соответствие состава бригады и квалификации включенных в нее лиц.

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно [13], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности, разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара, и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно должен сообщить по телефону 01 в пожарную охрану и руководителю, далее проводится эвакуация людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными

средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

3.10. Охрана окружающей среды

Работа электропривода питателя не приносит вреда окружающей среде, но работа самой ТЭС сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения (ЛОС) такие как альдегиды, кетоны, азотистые соединения и т.д., бытовая пыль. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает загрязнение атмосферы.

В проектах тепловых электростанций должны быть предусмотрены мероприятия, обеспечивающие концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферного воздуха с учетом имеющегося фона не превышающие допустимые санитарные нормы. При этом по доле предельно-допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу при работе электростанции, определяются величины предельно-допустимых выбросов (ПДВ). Показатели выбросов вредных веществ в дымовых газах котлов должны соответствовать нормативам удельных выбросов для котельных установок комплектуемых пылегазоочистным оборудованием в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Для защиты водного бассейна от загрязнения производственными сточными водами должны быть предусмотрены сооружения и установки, обеспечивающие требования санитарных и природоохранных норм, а также мероприятия по поддержанию температурного режима поверхностных вод в соответствии с действующими нормативами. В проектах электростанций должны быть предусмотрены технические решения, обеспечивающие отсутствие сбросов неочищенных сточных вод в природные водоемы, а также

минимальное водопользование, в частности за счет оснащения электростанций необходимыми очистными сооружениями.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы и т.д.); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014), в котором сказано, что бытовой мусор после предварительной сортировки складируют в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах.

Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя

поверхность должны быть изготовлены из неадсорбирующего ртуть материала (винипласта).

К сфере защиты рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Наиболее весомым вкладом является экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, улучшаются экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий региональных сетей, что приводит к уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

3.11. Предотвращение ЧС и устранение их последствий

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации в главном корпусе ТЭС: возникновение пожара и электропоражение. Основные причины пожара и методы его предотвращения были рассмотрены в разделе «Мероприятия по технике безопасности и пожарной безопасности».

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции

или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования.» для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление.

В случае если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья, пострадавшему должна быть обеспечена скорая медицинская помощь. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо установить защитное заземление.

3.12. Эвакуация людей из зданий и помещений

В соответствии с требованиями главы СНиП 2.01.02-85 эвакуационные пути должны обеспечивать эвакуацию всех людей, находящихся в помещениях зданий и сооружений, в течение необходимого времени эвакуации. Расчетное

время эвакуации людей из помещений и зданий определяют исходя из протяженности эвакуационных путей и скорости движения людских потоков на всех участках пути от наиболее удаленных мест до эвакуационных выходов.

Спасение людей при пожаре должны обеспечивать конструктивные, объемно-планировочные, инженерно-технические и организационные мероприятия. К ним относятся [14]:

- устройство пожарных проездов и подъездных путей для пожарной техники, совмещенных с функциональными проездами и подъездами или специальных;
- устройство наружных пожарных лестниц и других способов подъема персонала пожарных подразделений и пожарной техники на этажи и на кровлю зданий, в том числе устройство лифтов, имеющих режим "перевозки пожарных подразделений";
- противодымная защита путей следования пожарных подразделений внутри здания, зон безопасности;
- оборудование здания в необходимых случаях индивидуальными и коллективными средствами спасения людей;
- размещение на территории поселения или объекта подразделений пожарной охраны с необходимой численностью личного состава и оснащенных пожарной техникой, соответствующей условиям тушения пожаров на объектах, расположенных в радиусе их действия.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был рассчитан и спроектирован регулируемый электропривод на основе системы ПЧ-АД для шнекового питателя сырого угля для тепловых электростанций. На основе данных о шнеке и редукторе произведен выбор двигателя АИР160М4. После выбора преобразователя были определены параметры схемы замещения двигателя и рассчитаны механические и электромеханические характеристики разомкнутой системы преобразователь – двигатель. Так же был произведен выбор преобразователя частоты, модель: Siemens. Далее на основе функциональной и структурной схемы управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением было выполнено моделирование двухфазного асинхронного электродвигателя с реактивной нагрузкой, силового канала, преобразователя частоты и задатчика интенсивности в среде MatLAB Simulink. Имитационное исследование доказало работоспособность электропривода на всем диапазоне скоростей и по его перегрузочной способности. Цикл работы включил в себя разгон и работу на основных скоростях, которые являются границами диапазона регулирования, набросе и сбросе нагрузки на каждой скорости и останов двигателя.

Были спланированы этапы работ, определена трудоемкость, а также разработан график проведения научного исследования. В итоге был сформирован бюджет затрат научно-исследовательского проекта.

Также было проанализировано рабочее место ремонтного персонала, выявлены вредные и опасные факторы в помещении, угрозы окружающей среде, объявлены необходимые для их устранения меры.

Список использованных источников

1. Волков Э.П., Баринов В.А. Перспективы развития электроэнергетики России в период до 2030 г.
2. Голоднов Ю.М. Собственные нужды тепловых электростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1991.–270с.
3. Лазарев Г.Б. Частотно-регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок // Силовая электроника. 2007. №3. – С.41-48.
4. Петров А.В., Татаринцев Н.И. Применение частотно-регулируемых приводов на питателях сырого угля // Автоматизация и современные технологии. – 2005. – №6.
5. Картошкин М.Д. Топливоподача тепловых электростанций. –М.: Госэнергоатомиздат, 1961.–208с.
6. Кравчик А.Э., Стрельбицкий Э.К., Шлаф М.М. Выбор и применение асинхронных двигателей. М., Энергоатомиздат, 1987. –283с.
7. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно регулируемый электропривод. Издание 2-е переработанное и дополненное. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 648 с.

Приложение А.1

Оценочная карта для сравнения конкурентных тех разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0.05	1	1	1	0.05	0.05	0.05
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.1	4	4	4	0.4	0.4	0.4
Уровень шума	0.075	3	3	3	0.225	0.225	0.225
Надежность	0.05	4	3	3	0.2	0.15	0.15
Безопасность	0.1	3	3	3	0.3	0.3	0.3
Энергоэкономичность	0.125	4	1	1	0.5	0.125	0.125
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0.1	5	2	3	0.5	0.2	0.3
Уровень проникновения на рынок	0.05	5	2	2	0.25	0.1	0.1
Цена	0.075	3	3	3	0.225	0.225	0.225
Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	4	3	3	0.4	0.3	0.3
Послепродажное обслуживание	0.075	4	3	4	0.3	0.225	0.3
Финансирование научной разработки	0.05	4	1	1	0.2	0.05	0.05
Наличие сертификации разработки	0.05	2	1	1	0.25	0.05	0.05
Итого	1	49	30	32	3.8	2.4	2.575

Приложение А.2

Оценочная карта для сравнения конкурентных тех разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)	П _{ср}
1	2	3	4	5	6	
Показатели оценки качества разработки						
Надежность	0.05	75	100	0.75	56.25	2.8125
Энергоэффективность	0.125	80	100	0.8	64	8
Унифицированность	0.05	80	100	0.8	64	3.2
Уровень материалоемкости разработки	0.05	50	100	0.5	25	1.25
Уровень шума	0.075	60	100	0.6	36	2.7
Безопасность	0.05	70	100	0.7	49	2.45
Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.15	95	100	0.95	90.25	13.53
Ремонтопригодность	0.1	60	100	0.6	36	3.6
Простота эксплуатации	0.05	85	100	0.85	72.25	3.612
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки						
Конкурентоспособность продукта	0.05	95	100	0.95	90.25	4.512
Уровень проникновения на рынок	0.075	95	100	0.95	90.25	6.77
Перспективность рынка	0.05	90	100	0.9	81	4.05
Цена	0.05	50	100	0.5	25	1.25
Финансовая эффективность научной разработки	0.075	70	100	0.7	49	3.675
Итого	1	1055	1400	10.55	828.25	61.42

Приложение А.3
Матрица SWOT (предварительная таблица)

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Разработка позволит сэкономить большое количество ресурсов С2. Экологичность технологии. С3. Простота в управлении С4. Доступность материалов С5. Квалифицированный персонал. С6. Имеются опытные образцы	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Сложная система. Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с системой. Сл3. Цена. Сл4. Неосведомленность клиентов. Сл5. Шум при работе
Возможности: В1. Внедрение в данной разработки в производственные цеха. В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт В3.Появление более дешевых материалов. В4.Дальнейшее улучшение надежности В5.Лучшее подавление шума		
Угрозы: У1.Возможное появление у конкурентов, систем для цехов. У2.Дороговизна может препятствовать покупке продукта У3.Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4.Сложность с обеспечением исследуемых материалов.		

Приложение А.4

Интерактивные матрицы проекта SWOT

Интерактивная матрица проекта С-В

Сильные стороны проекта							
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5	С6
	В1	+	+	+	+	–	–
	В2	+	+	+	0	0	+
	В3	–	–	+	+	0	+
	В4	0	0	+	0	+	+
	В5	–	+	–	–	–	+

Интерактивная матрица проекта С-У

Сильные стороны проекта							
Угрозы		С1	С2	С3	С4	С5	С6
	У1	+	+	+	+	–	0
	У2	–	–	–	+	–	–
	У3	–	+	–	+	0	–
	У4	–	0	–	+	–	–

Интерактивная матрица проекта Сл-В

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	+	–	+	–	+
	В2	+	+	+	+	0
	В3	0	0	–	+	0
	В4	0	0	–	0	+
	В5	–	–	+	–	+

Интерактивная матрица проекта Сл-У

Слабые стороны проекта						
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	+	+	0	0
	У2	–	+	+	0	–
	У3	–	+	–	–	+
	У4	0	–	+	–	+

Приложение А.5
Итоговая матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Разработка позволит сэкономить большое количество ресурсов С2. Экологичность технологии. С3. Простота в управлении С4. Доступность материалов С5. Квалифицированный персонал. С6. Имеются опытные образцы	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Сложная система. Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с системой. Сл3. Цена. Сл4. Неосведомленность клиентов. Сл5. Шум при работе
Возможности: В1. Внедрение в данной разработки в производственные цеха. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Появление более дешевых материалов. В4. Дальнейшее улучшение надежности В5. Лучшее подавление шума	С1В1В2 С2В1В2В5 С3В1В2В3В4 С4В1В3 С5В4	Сл1В1В2 Сл2В2 Сл3В1В2В5 Сл4В2В3 Сл5В1В2В5
Угрозы: У1. Возможное появление у конкурентов, систем для цехов. У2. Дороговизна может препятствовать покупке продукта У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Сложность с обеспечением исследуемых материалов.	С1У1 С2У1У3 С3У1 С4У1У2У3У4	Сл1У1 Сл2У1У2У3 Сл3У1У2У4 Сл5У3У4

Приложение А.6

Диаграмма Ганта

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ож\ i}$, чел-дни											
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение технического задания	1	5	2	2	8	4	1,4	6,2	2,8	1	2	1	1,4	3,1	2,8	1,7	3,8	3,4
Подбор и изучение материалов по теме	1	5	3	2	8	4	1,4	6,2	3,4	1	2	1	1,4	3,1	3,4	1,7	3,8	4,1
Выбор направления исследований	1	4	1	3	8	3	1,8	5,6	1,8	1	2	1	1,8	2,8	1,8	2,2	3,4	2,2
Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	2	5	1,4	1,4	3,2	1	1	1	1,4	1,4	3,2	1,7	1,7	3,9
Проведение теоретических расчетов и обоснований	4	10	4	8	14	8	5,6	11,6	5,6	1	2	1	5,6	5,8	5,6	6,8	7,1	6,8
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	28	28	7	40	40	8	32,8	32,8	7,4	2	2	2	16,4	16,4	3,7	20	20	4,5
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	5	10	5	7	20	7	5,8	14	5,8	1	2	1	5,8	7	5,8	7,1	8,5	7,1
Оценка эффективности полученных результатов	2	8	2	3	11	3	2,4	9,2	2,4	1	2	1	2,4	4,6	2,4	2,9	5,6	2,9
Составление пояснительной записки	4	7	4	7	14	7	5,2	9,8	5,2	1	1	1	5,2	9,8	5,2	6,3	11,9	6,3
Публикация полученных результатов	1	1	1	7	7	7	3,4	3,4	3,4	1	1	1	3,4	3,4	3,4	4,1	4,1	4,1

Приложение А.7

Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{KI} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель и инженер	3,8														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель и лаборант	3,8														
3	Выбор направления исследований	Научный руководитель и инженер	3,4														
4	Календарное планирование работ по теме	Лаборант	1,7														
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер и лаборант	7,1														
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер и лаборант	20														
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер и научный руководитель	8,5														
8	Оценка эффективности и полученных результатов	Инженер и научный руководитель	5,6														
9	Составление пояснительной записки	Инженер	11,9														
10	Публикация полученных результатов	Инженер	4,1														

■
Научный
руководитель

■
Инженер

⊗
Лаборант

Приложение А.8

Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов			Исполнители по категориям			Трудо-емкость, чел.- дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1		Составление и утверждение технического задания	Науч ный руко води тель	Научн ый руково дитель	Науч ный руко води тель	1,4	6,2	2,8	2308,91	2308,91	2308,91	3232,47	14315,24	6464,94	
				Инжен ер						1848,18			11458,71		
2		Подбор и изучение материалов по теме	Науч ный руко води тель	Научн ый руково дитель	Науч ный руко води тель	1,4	6,2	3,4	2308,91	2308,91	2308,91	3232,47	14315,24	7850,29	
				Лабора нт						1206,56			7480,67		
3		Выбор направления исследований	Науч ный руко води тель	Научн ый руково дитель	Науч ный руко води тель	1,8	5,6	1,8	2308,91	2308,91	2308,91	4156,03	12929,89	4156,03	
				Инжен ер						1848,18			10349,80		
4		Календарное планирование работ по теме	Лабо рант	Лабора нт	Лабо рант	1,4	1,4	3,2	1206,56	1206,56	1206,56	1689,18	1689,18	3860,99	
5		Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инж енер	Инжен ер	Инж енер	5,6	11,6	5,6	1848,18	1848,18	1848,18	10349,80	21438,88	10349,80	
				Лабора нт						1206,56			13996,09		
6		Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инж енер	Инжен ер	Инж енер	32,8	32,8	7,4	1848,18	1848,18	1848,18	60620,30	60620,30	13676,53	
			Лабо рант	Лабора нт	Лабо рант				1206,56	1206,56	1206,56	39575,16	39575,16	8928,54	
7		Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инж енер	Научн ый руково дитель	Инж енер	5,8	14	5,8	1848,18	2308,91	1848,18	10719,44	32324,74	10719,44	
				Инжен ер						1848,18			25874,52		
8		Оценка эффективности полученных результатов	Инж енер	Научн ый руково дитель	Инж енер	2,4	9,2	2,4	1848,18	2308,91	1848,18	4435,63	21241,972	4435,632	
				Инжен ер						1848,18			17003,256		
9		Составление пояснительной записки	Инж енер	Инжен ер	Инж енер	5,2	9,8	5,2	1848,18	1848,18	1848,18	9610,53	18112,16	9610,53	
10		Публикация полученных результатов	Инж енер	Инжен ер	Инж енер	3,4	3,4	3,4	1848,18	1848,18	1848,18	6283,81	6283,81	6283,81	
Итого:													153904,9	322725,86	86336,58