

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

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Электропривод пылепитателя городской ТЭЦ

УДК 62-83-52:621.311.22:697.34

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ71	Грецингер Михаил Григорьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Вайда И.	Ph.D., д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Куликова О.А.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Гарганеев А.Г.	д.т.н.		

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	<i>Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.</i>
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.</i>
P3	<i>Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.</i>
P4	<i>Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.</i>
Профессиональные компетенции	
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.</i>
P6	<i>Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.</i>
P7	<i>Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.</i>
P8	<i>Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.</i>
P9	<i>Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.</i>
P10	<i>Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.</i>
P11	<i>Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.</i>
P12	<i>Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.</i>

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

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Гарганеев
А.Г.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ71	Грецингеру Михаилу Григорьевичу

Тема работы:

Электропривод пылепитателя городской ТЭЦ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 753/с от 01.02.2019 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Тип электропривода пылепитателя – асинхронный. 2. Мощность приводного двигателя – 3кВт, синхронная скорость вращения – 1500 об/мин. 3. Диапазон регулирования скорости: 1:5.
---------------------------------	---

	4. Способ управления приводным двигателем – частотный с законом изменения амплитуды и частоты питающего напряжения $U/f=\text{const}$. 5. Способ пуска – плавный с задатчиком интенсивности.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Описание технологического процесса на Ново-Кемеровской ТЭЦ. 2. Расчет параметров схемы замещения двигателя, его основных характеристик. 3. Расчет искусственных статических характеристик системы преобразователь-двигатель при скалярном управлении 4. Имитационное моделирование пуска асинхронного электропривода на различные скорости вращения с задатчиком интенсивности на входе системы и без него. Анализ полученных результатов моделирования.
Перечень графического материала	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, к.э.н., Подопригора И.В.
Социальная ответственность	Доцент, к.т.н., Куликова О.А.

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
Профессор	Вайда И.	Ph.D., д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ71	Грецингер Михаил Григорьевич		

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования – Магистр

Отделение электроэнергетики и электротехники

Период выполнения _____ весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.04.2019г	Расчет и построение статических характеристик электропривода пылепитателя	
05.05.2019г	Разработка имитационной модели системы «ПЧ-АД» в среде Matlab	
12.05.2019г	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
19.05.2019г	Социальная ответственность	
25.05.2019г	Оформление пояснительной записки	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Вайда И.	Ph.D., д.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев А.Г.	д.т.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ71	Грецингеру Михаилу Григорьевичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора Игнат Валерьевич	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ71	Грецингер Михаил Григорьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ71	Грецингеру Михаилу Григорьевичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Электропривод пылепитателя городской ТЭЦ	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является электропривод пылепитателя городской ТЭЦ. В машинном зале возможны возникновения: – вредных факторов производственной среды; – опасных факторов производственной среды; – негативного воздействия на окружающую природную среду; – чрезвычайных ситуаций (пожар и взрыв).
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные правовые нормы трудового законодательства – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	1. ТК РФ, Статья 221. Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты [1]. 2. ТК РФ. Глава 15. Рабочее время. Общие положения [2]. 3. Федеральным законом от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» [3]. 4. ТК РФ, Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий работников [4].
2. Производственная безопасность – анализ выявленных вредных и опасных факторов; обоснование мероприятий по снижению воздействия	Необходимо проанализировать основные вредные и опасные факторы в машинном зале: – электромагнитное поле

	– несоответствие нормам условий микроклимата – освещение – поражение электрическим током – механические повреждения
3. Экологическая безопасность: – анализ воздействия объекта на гидросферу; – анализ воздействия объекта на литосферу;	Необходимо рассмотреть негативное влияние машинного зала на окружающую среду, а именно: – гидросферу; – литосферу.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;	Рассматриваются наиболее типичные ЧС, которые могут возникнуть в машинном зале: – пожар; – взрыв

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отд. общетехнических дисциплин	Куликова Ольга Александровна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ71	Грецингер Михаил Григорьевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 105 с., 22 рис., 23 табл., 25 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: пылепитатель, асинхронный электропривод, скалярное управление, переходные процессы, котельный агрегат.

Объектом исследования является асинхронный электропривод пылепитателя котельного агрегата.

Цель работы – исследовать основные характеристики асинхронного электропривода со скалярным управлением с законом управления $U_1/f_1 = \text{const}$.

В процессе исследования проводились выбор асинхронного двигателя пылепитателя котельной установки на Ново-Кемеровской ТЭЦ, расчет параметров двигателя, его естественных статических характеристик, расчет искусственных статических характеристик электропривода со скалярным управлением при различных частотах питающего напряжения, исследование и анализ переходных характеристик электропривода при пуске под нагрузкой на разные скорости вращения.

В результате исследования было доказано преимущество использования задатчика интенсивности на входе системы для ограничения пускового момента и исключения колебаний момента в переходных режимах.

Оглавление

Введение	10
1. Общие сведения о предприятии «Ново-Кемеровская ТЭЦ»	11
2. Продукция, производимая Ново-Кемеровской ТЭЦ.....	13
3. Установка частотного регулирования пылепитателей котла.....	15
4. Шнековый питатель	18
5. Расчет параметров и естественных характеристик электродвигателя.....	20
6. Выбор преобразователя частоты.....	29
7. Выбор закона частотного управления двигателем и определение интервала частот инвертора.....	30
8. Искусственные статические характеристики системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$	32
9. Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя	35
10. Моделирование работы скалярной системы управления.....	39
11. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	46
12. Социальная ответственность	73
Заключение.....	88
Список литературы	89
Приложение А.....	92

Введение

До недавнего времени на большинстве ТЭЦ для приведения в движение питателей сырого угля (ПСУ) использовался электропривод на основе двигателя постоянного тока с регулируемой частотой вращения. Электродвигатель данного типа имеет ряд недостатков, в число которых входят высокие затраты на обслуживание, наличие щёточно-коллекторного узла. В связи с этим за последние годы на многих ТЭЦ идёт замена двигателей постоянного тока на асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.

Наблюдения за последние 10-15 лет показали, что эффективным решением для энергосбережения в электроэнергетике является повышение КПД и снижения потерь мощности механизмами собственных нужд. Это достигается за счет применения регулируемого асинхронного электропривода с преобразователем частоты, что помимо снижения потерь позволяет обеспечить плавный пуск механизмов с большой мощностью без электродинамических ударов и перегрузки электрических сетей.

В данной магистерской диссертации разрабатывается частотно-регулируемый электропривод пылепитателя городской ТЭЦ.

11. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В последнее десятилетие произошло ухудшение экономических показателей работы энергетической отрасли. Выросли относительные потери электроэнергии в электрических сетях более чем в 1,5 раза. Основными способами экономии на ТЭС являются уменьшение потребления энергии на собственные нужды и повышение надежности основных узлов и агрегатов, ведь любая поломка, приводящая к остановке турбогенератора, несет за собой многомиллионные убытки. Таким образом, модернизация электроприводов топливоподачи, пылеприготовления, насосов и тягодутьевых механизмов является первоочередной целью развития ТЭС.

При принятии решения о переходе к асинхронному электроприводу пылепитателя котельного агрегата важно правильно оценить затраты и соизмерить их с достигаемым эффектом. К самым важным экономическим предпосылкам перехода к асинхронному электроприводу для рассматриваемого объекта автоматизации относятся:

- Низкая стоимость. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором имеет более низкую стоимость по сравнению с двигателем постоянного тока. Причиной этому служит более простая конструкция и высокая технологичность производства. Асинхронные двигатели имеют более широкое распространение, чем остальные виды электрических машин.
- Малые эксплуатационные затраты. Асинхронный двигатель практически не требует обслуживания в течение всего времени эксплуатации, а двигатель постоянного тока нуждается в регулярном обслуживании коллекторного узла.
- Ремонт электрической машины. Общие затраты на организацию и проведение ремонта машин постоянного тока часто равна или даже превышает стоимость новой асинхронной короткозамкнутой машины.

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 22

	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 22 – 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 таблице 13.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 3, 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:

$$K = \sum B_i \cdot F_i, \quad (1)$$

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 (таблице 14).

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:

$$\Pi_{\text{ср}} = \sum B_i \cdot \Phi_i, \quad (2)$$

где $\Pi_{\text{ср}}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

Φ_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение $\Pi_{\text{ср}}$ позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Значение показателя $\Pi_{\text{ср}}$ 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 (таблица 15).

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 таблице 16.

В рамках **третьего этапа** должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приведена в таблице 17.

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.

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.

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 3.

Таблица 3 -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:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxі}}{5}, \quad (3)$$

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

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

$t_{maxі}$ – 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4)$$

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 6 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5)$$

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

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

Результат представлен в таблице 18.

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 в рамках научно-исследовательского проекта приведен в таблице 19.

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:

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

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.);

C_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 4

Таблица 4 -Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _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 5.

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 5.

Таблица 5 -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 таблице 7.

Расчет баланса рабочего времени приведен в таблице 6.

Таблица 6 -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:

$$З_{м} = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р}, \quad (11)$$

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

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

k_d – 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_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{ci} = 600$ 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 7.

Таблица 7 -Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , 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.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

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.).

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 8.

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 закона 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 8.

Таблица 8 -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:

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

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Расчет величины накладных расходов приведен в таблице 9.

Таблица 9 -Величины накладных расходов

	З _{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. 10.

Таблица 10 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	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 НТИ	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.

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 11 – 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 12 – 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.

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 асинхронного электропривода пылепитателя котельного агрегата на ТЭЦ, а также улучшить показатели экономических составляющих.

Таблица 13

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

Таблица 14

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

Таблица 15

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.		
---	--	--

Таблица 16

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	—	+	—	+

Таблица 17

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	С1У1 С2У1У3 С3У1 С4У1У2У3У4	Сл1У1 Сл2У1У2У3 Сл3У1У2У4 Сл5У3У4

У4.Сложность с обеспечением исследуемых материалов.		
---	--	--

Таблица 18

Диаграмма Ганта

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнитель и			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ожгi}$, 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 теоретическим и 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

Таблица 19

Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кп} кап. 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

Таблица 20

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			Нау чны й руко води тель	Научн ый руково дитель	Нау чны й 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			Нау чны й руко води тель	Научн ый руково дитель	Нау чны й 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			Нау чны й руко води тель	Научн ый руково дитель	Нау чны й 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			Лаб оран т	Лабора нт	Лаб оран т	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
				Лаб оран т	Лабора нт	Лаб оран т				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

12. Социальная ответственность

Введение

В выпускной квалификационной работе разработан электропривод пылепитателя городской ТЭЦ.

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и профессиональные заболевания в производстве, обеспечивающих снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, экономное расходование ресурсов.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

При эксплуатации электропривода пылепитателя городской ТЭЦа возможно воздействие на человека опасных и вредных производственных факторов.

1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочий персонал имеет следующие права:

– На работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, работникам бесплатно выдаются прошедшие обязательную сертификацию или декларирование соответствия специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты, а также смывающие и (или) обезвреживающие средства в соответствии с типовыми нормами, которые устанавливаются в порядке, определяемом Правительством Российской Федерации (в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90-ФЗ) [11];

– Работники имеют право на сокращение продолжительности рабочего времени. Сокращается продолжительность рабочего времени для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, – не более 36 часов в неделю в порядке, установленном Правительством Российской Федерации с учетом мнения Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений (часть первая в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90-ФЗ ст. 92 п. 5) [12];

– Право на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, которое осуществляется в Российской Федерации с января 2000 года в соответствии с Федеральным законом от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний». Если происходят несчастные случаи (травмы, смерть), то семье или самому работнику выплачивается компенсация в размере, зависящем от тяжести последствий [13];

– Также предоставляются права на проведение в установленном порядке за счет средств организации обязательных предварительных (при

поступлении на работу) и периодических в течение трудовой деятельности в данной организации медицинских осмотров (обследований), а также внеочередных медицинских осмотров работников в соответствии с медицинскими рекомендациями согласно законодательству Российской Федерации [14].

Организационными мероприятиями при компоновке рабочей зоны являются [21]:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;
- на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;
- проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;
- наложено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где они отсутствуют, установлены переносные заземления);
- вывешены указательные плакаты «Заземлено», ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты.

2 Производственная безопасность

2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» основные вредные и опасные факторы в машинном зале СН КЭС представлены в таблице 1 [16].

Таблица 21 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработк	Изготовле	Эксплуата	
1.Электромагнитное поле		+	+	ГОСТ 12.1.002-84 «ССБТ. Электрические поля промышленной частоты [7]. СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях"[8]. СанПиН 2.2.4.548-96 « Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [9]. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» [10]. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2011 [11]. ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности» [12].
2.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	
3.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
4.Поражение электрическим током		+	+	
5.Механические повреждения		+	+	

2.1.1 Электромагнитное поле

Величина магнитного поля характеризуется напряженностью (H , А/м), а величина электрического поля – напряженностью (E , В/м).

Электрическое поле промышленной частоты

Источником электрических полей являются токоведущие части действующих электроустановок (электродвигатели, токопроводы и др.).

Различают следующие виды воздействия [17]:

1. непосредственное воздействие, проявляющееся при пребывании в электрическом поле;
2. воздействие электрических разрядов (импульсного тока), возникающий при прикосновении человека к изолированным от земли конструкциям;
3. воздействие тока, проходящего через человека.

Нормы на предельно допустимые напряженности электрического поля (ЭП) на промышленной частоте для персонала установлены в ГОСТ 12.1.002-84 «ССБТ. Электрические поля промышленной частоты [17]:

- $E \geq 25$ кВ/м – пребывание в ЭП без средств защиты не допускается;
- $20 < E < 25$ кВ/м – пребывание в ЭП не более 10 минут;
- при $5 < E \leq 20$ кВ/м допустимое время пребывания в ЭП вычисляют по формуле:

$$T, \text{ часов} = (50 / E) - 2;$$

- $E \leq 5$ кВ/м – пребывание в ЭП допускается в течение полного рабочего дня.

Если напряженность электрического поля превышает предельно допустимые уровни, должны быть приняты меры по ее снижению. Основными видами средств коллективной защиты от воздействия электрического поля промышленной частоты являются экранирующие устройства – составная часть электрической установки, предназначенная для защиты персонала от действия электрического поля.

Магнитное поле промышленной частоты

Магнитное поле имеет место в электроустановках всех классов напряжения. Его интенсивность выше вблизи работающих высоковольтных электродвигателей, а также в распределительном устройстве собственных нужд 6–10 кВ и вблизи них [15].

Магнитное поле промышленной частоты (МП ПЧ) со значениями плотности магнитного потока, превышающими 0,3–0,4 мкТл, в условиях продолжительного воздействия является канцерогенным фактором окружающей среды. Также реакция организма на магнитное поле имеет неспецифический характер. Воздействие магнитного поля приводит к развитию нейродегенеративных болезней и неврологических расстройств.

Предельно допустимые уровни (ПДУ) магнитного поля установлены в СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях" и приведены в таблице 22 [18].

Таблица 22 – Предельно допустимые уровни магнитного поля

Время пребывания (ч)	Допустимые уровни МП Н (А/м)/В (мкТл) при воздействии	
общем	локальном	
<1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

Обеспечение защиты работающих от неблагоприятного влияния МП осуществляется путем проведения организационных и технических мероприятий.

К организационным относятся мероприятия, обеспечивающие соблюдение требований ограничения продолжительности пребывания персонала под воздействием МП, и организация рабочих мест на расстояниях от токоведущих частей оборудования, обеспечивающих соблюдение ПДУ.

К техническим относятся мероприятия, снижающие уровни МП на рабочих местах путем экранирования источников МП или рабочих мест. Экранирование должно осуществляться посредством материалов с высокой относительной магнитной постоянной или активных экранов.

2.1.2 Несоответствие нормам условий микроклимата

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах зависят от категории тяжести работ.

Работы, производимые в машинном зале СН электрической станции (монтаж, наладка электрооборудования, его замена) относят к категории Пб. К данной категории относятся работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением.

Работы в машинном зале производятся как в помещении, так и на открытой территории. При работе на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях возможность защиты от воздействия метеоусловий ограничена. В связи с этим согласно СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» предусмотрено [19]:

- 1) ограничение влияния метеоусловий (или каких-либо факторов, зависящих от них) по верхним или нижним показателям;
- 2) установление благоприятных режимов труда и отдыха.

Так, например:

– запрещены работы при температуре воздуха выше $+33^{\circ}\text{C}$ и ниже -45°C , а также при скорости ветра более 15 м/с;

– запрещены верхолазные и монтажные работы при скорости ветра более 15 м/с, а также тумане и гололеде;

– при температуре воздуха на рабочих местах ниже 10°C работающие должны быть обеспечены помещениями для обогрева;

– в холодный период года режимы труда и отдыха устанавливаются в зависимости от жесткости погоды. При 1–й степени жесткости (температура до -25°C) устанавливаются перерывы 10 мин через каждый час работы; при 2–й степени (от -25°C до -30°C) – 10 мин на каждый час до обеда и 50 мин после обеда; при 3–й степени (от -31°C до -45°C) – 15 мин на каждый час до обеда и 45 мин после обеда.

2.1.3 Несоответствие нормам освещения

Рациональное освещение производственных рабочих мест в машинном зале имеет большое значение для выполнения персоналом своих функциональных обязанностей в условиях, когда на большом количестве рабочих мест отсутствует естественное освещение. В машинном зале предусматривается естественное, совмещенное и искусственное освещение. Для освещения применяются, как правило, прожекторы с металлогалогенными лампами и с натриевыми лампами.

Характеристика зрительной работы на рассматриваемом объекте относится к работе высокой точности. Согласно СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» взаимосвязь нормируемых параметров естественного и искусственного освещения с характеристиками зрительных работ представлены в таблице 3 [20].

Таблица 3 – Взаимосвязь нормируемых параметров естественного и искусственного освещения

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы, %	Освещенность на рабочей поверхности от системы общего искусственного освещения, лк	Средний КЕО при верхнем или верхнем и боковом освещении, %	Минимальный КЕО при боковом освещении, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Различение объектов при фиксированной линии зрения							
Высокой точности	0,3-0,5	Б	1	≥70	300	3,0	1,2
			2	<70	200	2,5	1,0

2.1.4 Электрический ток

В машинном зале присутствует опасность поражения электрическим током. Электрический ток, проходя через живой организм, производит [21]:

- термическое (тепловое) действие, которое выражается в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов, крови, нервных волокон и т.п.;
- электролитическое (биохимическое) действие – выражается в разложении крови и других органических жидкостей, вызывая значительные нарушения их физико-химических составов;
- биологическое (механическое) действие – выражается в раздражении и возбуждении живых тканей организма, сопровождается непроизвольным судорожным сокращением мышц (в том числе сердца, лёгких).

Рассматриваемый объект – машинный зал агрегатов СН 6 кВ относительно категории помещений по поражению электрическим током относится к особо опасному помещению. Условиями, создающими повышенную опасность являются:

- а) особая сырость;

- б) химически активная или органическая среда;
- в) токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.);
- г) высокая температура (выше 35 °С).

По правилам охраны труда существуют допустимые расстояния до токоведущих частей под напряжением, приближение к которым на расстояние менее указанных не допускается. Данные допустимые расстояния представлены в таблице 4 [21]. Так как объектом является машинный зал 6 кВ, то приведем информацию только для класса напряжения 6 кВ.

Таблица 23 – Допустимые расстояния до токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Напряжение, кВ	Расстояние от людей и применяемых ими инструментов и приспособлений, от временных ограждений, м	Расстояние от механизмов и грузоподъемных машин в рабочем и транспортном положении, от стропов, грузозахватных приспособлений и грузов, м
Продолжение таблицы 4		
до 1	Не нормируется (без прикосновения)	1
1-35	0,6	1,0

К средствам защиты, используемые в электроустановках, относят [21]:

- изолирующие оперативные штанги, изолирующие съемники для операций с предохранителями, указатели напряжения для определения наличия напряжения;
- изолирующие лестницы, изолирующие площадки, изолирующие тяги, захваты и инструмент с изолированными рукоятками;
- резиновые диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики, изолирующие подставки;
- переносные заземления;
- временные ограждения, предупредительные плакаты, изолирующие колпаки и накладки;

- защитные очки, брезентовые рукавицы, фильтрующие и изолирующие противогазы, предохранительные пояса, страхующие канаты.

2.1.5 Механические повреждения

При ведении работ в машинном зале агрегатов СН персонал при несоблюдении требований безопасности труда зачастую может получить различные механические травмы. К травмам такого типа относятся: ушибы, переломы, вывихи и ранения.

Обычно ушибы происходят при неосторожном обращении с инструментом, при использовании непригодного инструмента, при падении инструмента и т.д. Исключать получение ушибов тела при движении по неровной или скользкой поверхности не приходится.

Переломы пальцев рук и ног имеют место при падении тяжелых предметов с высоты. Переломы костей возникают в основном при падении сотрудника с высоты, при авариях на транспорте.

По большей части, получение ранения происходит при использовании режущих инструментов, при зачистке изоляции проводов и кабелей и т.д.

Согласно ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности» для минимизации травм персонал должен быть подготовлен соответствующими инструктажами. Инструктажи делятся на [22]:

1. Вводный – предусматривает изложение всех функций специалиста, возложенных на него по охране труда, а также изложение утвержденной программы;
2. Первичный – знакомит работников с имеющимися вредными и опасными производственными факторами, а также при данном инструктаже проходит устная проверка знаний охраны труда;

3. Повторный – повторяет первичный инструктаж на рабочем месте;
4. Внеплановый – производится по приказу или распоряжению;
5. Целевой – оформляется приказом о проведении работ с оформлением наряда-допуска.

Инструктажи проводятся не только для минимизации механических травм, но и для предотвращения других повреждений.

3. Экологическая безопасность

3.1 Защита гидросферы

В процессе эксплуатации агрегатов собственных нужд электростанции наносится вред гидросфере. Большую часть агрегатов собственных нужд составляют насосы. Для осуществления технологического процесса выработки электроэнергии используется вода из естественных водоемов (озера, реки). Сброс воды в водоемы негативно влияет на гидросферу и ее обитателей.

Ниже приведены некоторые пункты из ГОСТ 17.1.3.13-86. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.», которыми регулируется охрана гидросферы от загрязнений [22].

1) При проектировании, строительстве и вводе в эксплуатацию новых и реконструируемых предприятий, сооружений и других объектов, влияющих на состояние поверхностных вод, должны предусматриваться и осуществляться необходимые мероприятия по охране вод. Не допускается ввод в эксплуатацию новых и реконструированных предприятий, которые не обеспечены сооружениями для предотвращения загрязнения водных объектов.

2) На промышленных предприятиях при соответствующем технико-экономическом обосновании должны создаваться замкнутые системы водоснабжения.

3) В поверхностные воды не допускается сброс стоячих вод, вызывающих загрязнения водных объектов. Степень очистки сточных вод определяется их составом и свойствами, ассимилирующей способностью водного объекта и требованиями водопользователей к качеству воды.

3.2 Защита литосферы

Существенный вред, который можно нанести окружающей среде при эксплуатации электродвигателей машинного зала – это растекание смазочного масла вследствие повреждения ЭД. Для предотвращения растекания масла, в соответствии с п. 4.2.69 ПУЭ, машинный зал должен быть оборудован сетью маслоотводов со сбросом в закрытый маслосборник емкостью 50 м³. Емкость маслосборника рассчитана на задержание полного объема масла из наибольшего единичного оборудования плюс 20 м³ воды.

При ведении ремонтных или строительных работ возможно образование различных отходов производства.

В процессе деятельности, при которой образуются отходы, сотрудники обязаны [23]:

- вести учет образовавшихся, использованных, обезвреженных, переданных другим лицам или полученных от других лиц, а также размещенных отходов;
- установить и подтверждать класс опасности образовавшихся, использованных, обезвреженных, переданных другим лицам или полученных от других лиц, а также размещенных отходов;
- составить паспорта на опасные отходы;
- разработать проекты нормативов образования отходов и лимитов на размещение.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К основным видам возможных ЧС техногенного характера в машинном зале агрегатов СН 6 кВ относятся: аварии с выбросом химически опасных

веществ, пожары и взрывы, аварии на энергетических и коммунальных системах, обрушение зданий и сооружений.

Наиболее типичным ЧС являются пожары и взрывы. Наиболее часто происходит взрыв электродвигателя из – за внутренних коротких замыканий и тем самым горение его масла, также возникают электрические дуги, которые могут привести к возгоранию близлежащих объектов.

Источником инициирования взрыва согласно ГОСТ 12.1.010 – 76 являются [24]:

- открытое пламя, горящие и раскаленные тела;
- электрические разряды;
- искры от удара и трения;
- ударные волны;
- электромагнитные и другие излучения.

Предотвращение возникновения источника инициирования взрыва должно быть обеспечено:

- предотвращением нагрева оборудования до температуры самовоспламенения взрывоопасной среды;
- применением материалов, не создающих при соударении искр, способных инициировать взрыв взрывоопасной среды; применением средств защиты от атмосферного и статического электричества, блуждающих токов, токов замыкания на землю и т. д.:
- применением быстродействующих средств защитного отключения, возможных электрических источников инициирования взрыва;
- ограничением мощности электромагнитных и других излучений.

Согласно НПБ 105-03 машинный зал агрегатов СН по категории пожарной опасности относится к типу ВЗ –горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна) [25].

Пожары трансформаторов, реакторов и масляных выключателей тушат пеной средней кратности с интенсивностью подачи раствора пенообразователя 0,2 л/с м², а также тонкораспыленной водой с интенсивностью 0,1 л/с м². Для тушения электроустановок без напряжения используют пенные огнетушители. Остальные виды огнетушителей (порошковые, углекислотные) используют для тушения электроустановок класса напряжения менее 110 кВ. Также территория машинного зала должна быть оборудована пожарными ящиками с песком.

Заключение

В данной магистерской диссертации был исследован электропривод пылепитателя городской ТЭЦ. В ходе выполнения работы был выбран асинхронный электродвигатель типа АИР, а также преобразователь частоты фирмы *Danfoss*. В качестве управления был принят скалярный способ с законом изменения частоты и амплитуды питающего напряжения $U_1/f_1 = \text{const}$. Получены искусственные статические характеристики электропривода при работе на различных частотах питающего напряжения.

В программной среде MATLAB Simulink были получены переходные характеристики в асинхронном электроприводе при пуске на разные скорости. Моделирование доказало преимущество использования задатчика для ограничения пускового момента и темпа нарастания скорости двигателя в переходных режимах.

Разработанный электропривод удовлетворяет всем требованиям технического задания.

Список литературы

1. Производственная инструкция по предотвращению развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части филиала «Ново-Кемеровская ТЭЦ» Сибирская генерирующая компания. (ПИ-ЭЦ-35Э)
2. Официальный сайт Сибирской Генерирующей Компании.<http://sibgenco.ru>
3. Ключев В. И., Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с., ил.
4. М.Г. Чиликин, М.М. Соколов, В. М. Терехов, А.В. Шинянский Основы автоматизированного электропривода. Учеб. Пособие для вузов. М., «Энергия», 1974. – 568 с.
5. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
6. Лихачев В. Л. Электродвигатели асинхронные / В. Л. Лихачев. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 304 с.
7. Мальцева О. П. Системы управления электроприводов.: учебное пособие / О. П. Мальцева, Л. С. Удут, Н. В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 152 с.
8. Густав Олссон, Джангуидо Пиани Цифровые системы автоматизации и управления. – Спб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.
9. Шрейнер Р. Т., Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты, Екатеринбург УРО РАН, 2000 г. – 654 с.
10. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием.-М.: Издательский центр «Академия», 2006.-272с.

11. ТК РФ, Статья 221. Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты.
12. ТК РФ. Глава 15. Рабочее время. Общие положения.
13. Федеральным законом от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний».
14. ТК РФ, Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий работников.
15. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие. Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд – во ТПУ, 2008.
16. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
17. ГОСТ 12.1.002-84 «ССБТ. Электрические поля промышленной частоты:
18. СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях».
19. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
20. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение».
21. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2011.
22. ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности»
23. ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие к охране поверхностных вод от загрязнений.

24. ГОСТ 12.1.010-76 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). требования Взрывобезопасность. Общие требования».

25. НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

Приложение А

Раздел 2

Electric Drive of the City Thermal Power Plant

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ71	Грецингер Михаил Григорьевич		

Консультант школы отделения (НОЦ) (ИШЭ, отделения электроэнергетики и электротехники):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вайда Иштван	Ph.D., д.т.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы (ИШЭ, отделения иностранных языков):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Обсков Александр Владимирович	к. п. н.		

Introduction

Until recently, the electric drive with a variable speed DC motor was used at most thermal power plants (TPP) to gear the coal feeder. This electric motor type has some disadvantages including high maintenance costs and the presence of commutator. That is why in recent years this electric motor type is being replaced at the TPPs by the squirrel-cage motors.

During the last 10-15 years, the observations at the energy sector have shown that an effective solution for energy saving in the electric power industry is to increase efficiency factor and to reduce power losses using auxiliary mechanisms. It is achieved by using a controlled asynchronous electric drive with a frequency converter, which in addition to reducing losses allows providing a smooth start of mechanisms with high capacity without electrodynamic surges and electrical network overloads.

The topic of this bachelor's thesis is the development of the variable frequency asynchronous electric drive of coal feeder at the Novo-Kemerovskaya TPP.

1. General Information about the Novo-Kemerovskaya TPP

A separate department of the 'Directorate of Kuzbass electric networks' Novo-Kemerovskaya TPP was founded in 1955. Originally, NK TPP was built as a structural department of the Novo-Kemerovski Chemical plant without its railway facilities and maintenance personnel. In the middle of the 20th century, TPP was being developed and construction and installation works were underway. The construction of the fuel supply began. New coal transporter galleries, car tipplers, and gas regulating station buildings were constructed.

Since 1971 NK TPP was the first in the Kuzbassenergo system to establish the sanitary laboratory to control of emissions into the atmosphere and water reservoirs, hot water according to 'Drinking Water' National State Standard, and

industrial emissions. In 1978 NK TPP was the first plant in Kuzbass that switched to natural gas, a new type of fuel.

On the territory of 44 hectares there are:

Workshops:

- fuel and transport workshop;
- thermal automation and measurement workshop;
- boiler shop;
- maintenance shop;
- turbine workshop;
- complex service area;
- electric workshop;
- chemical workshop;

Departments:

- production technology;
- repair department;
- health and safety department;
- metal control laboratory.

At the Novo-Kemerovskaya TPP there are also:

- 8 turbine sets with a total capacity of 642 MW. All turbine units are equipped with regenerative feedwater heater arrangement.

- 10 U-shaped boilers with natural circulation and liquid slag removal. The main fuel is Kuznetsk coal of CC brand; the start-up fuel is mazut, a buffer is associated gas. The boilers are equipped with burner devices for burning the natural gas excess. Total boiler capacity is 4200 tons per hour. All installed turbine and boiler sets are connected by the cross-links and belong to the 'TPP 130 kilogram/cm without resuperheating' group of equipment.

2. The Products of the Novo-Kemerovskaya TPP

The main elements of the power plant are a boiler unit producing high-temperature-high-pressure steam, a turbine or a steam turbine plant transforming the heat of steam into the mechanical energy of the turbine rotor spinning, and the electrical devices (electric generator, transformer, etc.) providing the electricity generation.

The special coal arriving at the TPP in special cars is unloaded, crushed to the pieces of 20-25 mm and transported by belt conveyor after to the bunker that holds coal stock for several hours of operation. From the bunker, the coal is transported to mills where it is ground to a pulverized condition. Heated air is continuously supplied to the mill by a mill fan. Hot air is mixed with coal dust and delivered through the boiler burners to combustion area of the boiler furnace. The boiler is a U-type structure with the gas ducts of a rectangular cross-section. The fuel is burning in the furnace. For stable combustion, hot air heated in the air heater is continuously supplied to the burners by the blast fan. The fuel ash not carried away by the flow of gases is removed from the furnace bottom and transported to the ash-disposal areas. As a result of the chemical reaction of combustion, the fuel carbon is converted into oxides CO_2 and CO , hydrogen H_2 turns to water vapor H_2O , sulfur S transforms into oxides SO_2 and SO_3 , etc., the fuel combustion products that are a mixture of different gases of high temperature are formed. The thermal energy of combustion products is the main source of electricity generated by the TPP.

The furnace walls are covered with pipes to which the feed water is supplied from the economizer. The space behind the boiler furnace is densely filled with the pipes inside which steam or water moves. From the outside, these pipes are washed with hot flue gases, which gradually cool down as they move towards the gas stack. The dry saturated vapor enters the main superheater. Its temperature and the potential energy rise there. Obtained high-temperature-high-pressure steam leaves the boiler and flows through the steam line to the steam turbine.

A powerful steam turbine consists of several separate turbines, called cylinders. The steam is supplied directly to the first cylinder (the high-pressure cylinder) from the boiler, that is why this cylinder has high parameters. The steam pressure is 3 - 3.5 MPa (30 - 35 ATM.), and the temperature is 300 - 340 °C at the outlet of the high-pressure cylinder. The relatively cold steam moves back from the high-pressure cylinder to the boiler in the reheater. And there the steam falls again under the influence of the hot gases of the boiler, its temperature rises to the initial (540 °C). The resulting steam is delivered to the intermediate pressure cylinder. The steam enters the low-pressure cylinder after expansion to 0.2 - 0.3 MPa (2 - 3 ATM) in the intermediate pressure cylinder. In that way, the steam expanding in the turbine rotates its rotor which is connected to the rotor of the electric generator, in the stator windings of which an electric current is produced. The transformers increase its voltage to reduce the losses in power lines and transfer a part of the generated energy to the auxiliary power supply system, and the rest of the electricity is released into the power system.

3. Installation of Frequency Regulation of the Boiler Pulverized Coal Feeder

The cabinets (electrical cabinets) with integrated frequency converters are meant to control 12 asynchronous AC induction motors with a power of 3 kW, installed on the boiler pulverized-coal feeders.

The cabinets are equipped with frequency converters Danfoss, adapted to Russian operating conditions.

Basic functions:

- Soft start/stop and speed control of the motor shaft;
- Motor and converter operation and failure indication on the LCP board;
- Output of the cabinet and electric motor signals to the instrumentation panel by means of the light signalling hardware;
- Motor protection from phase imbalance, phase loss, short-circuit currents, etc;
- Speed control of the electric motor from the instrumentation panel;

- Speed control of the electric motor in manual mode by the operator;
- Maintaining the operating temperature inside the cabinet with forced ventilation.

Table 1 – Technical specifications

Parameter name	Measurement unit	Value
Number of connected units	pieces	3
Rated power supply voltage	B	380±10%
Rated control supply	B	220±10%
Rated power frequency	Hz	50
Type of electric motor	-	Asynchronous three-phase
Rated power	kW	3x3
Rated input current	A	3x7
Rated output current	A	3x7
Environment temperature	°C	0...+50
Max height above sea level without reducing the characteristics	m	1000
IP protection level	-	IP54
Relative humidity	95%, Non-condensing	
Cabinet version	-	floor-standing
Cable entries design	-	underneath
Mean time between failures	minimally 30000 hours	

Average lifetime	10 years	
Net weight	kg	150
Overall dimensions	mm	2100x600x600

The Cabinet consists of a floor-standing metal all-welded case. On the case back, there is a wiring board with electrical devices.

4. Parameters Calculation and Natural Characteristics of the Electric Motor

The induction motor AIP100S4 is selected by the capacity and the speed of rotation of the drive motors. The induction motor has the following data:

$P_H = 3 \text{ kWt}$ – rated motor power;

$U_{1H} = 380 \text{ B}$ – rated electrical line voltage;

$n_0 = 1500 \text{ rpm}$ – synchronous speed;

$s_H = 6 \%$ – rated motor slip;

$\eta_H = 0,82$ – efficiency of the rated power mode (100 % load);

$\cos \varphi_H = 0,83$ – power factor;

$k_i = \frac{I_{\pi}}{I_H} = 7 \text{ o.e.}$ – locked-rotor current ratio;

$k_{\pi} = \frac{M_{\pi}}{M_H} = 2 \text{ o.e.}$ – starting torque ratio;

$k_{\max} = \frac{M_K}{M_H} = 2,2 \text{ o.e.}$ – maximum torque ratio;

$J_{dB} = 0,0087 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ – dynamic moment of inertia.

Synchronous angular motor speed:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \frac{rad}{s}.$$

Rated motor speed:

$$n_{\partial\theta, HOM} = (1 - s_H) \cdot n_0 = (1 - 0,06) \cdot 1500 = 1410 \frac{rad}{s}$$

$$\text{Or } \omega_{\partial\theta, HOM} = (1 - s_H) \cdot \omega_0 = (1 - 0,06) \cdot 314 = 147,58 \frac{rad}{s}.$$

Rated motor torque:

$$M_{\partial\theta, HOM} = \frac{P_{\partial\theta, HOM}}{\omega_{\partial\theta, HOM}} = \frac{3000}{147,58} = 20,328 \text{ HM}.$$

Induction motor no-load current:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H) \right)^2}{1 - \left(p_* \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H) \right)^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{5,111^2 - (0,75 \cdot 6,679 \cdot (1 - 0,06) / (1 - 0,75 \cdot 0,06))^2}{1 - (0,75 \cdot (1 - 0,06) / (1 - 0,75 \cdot 0,06))^2}} = 1,998 \text{ A},$$

$$\text{where } I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{3000}{3 \cdot 220 \cdot 0,83 \cdot 0,82} = 6,679 \text{ A}$$

is the rated current of the motor stator;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{p*} \cdot \eta_{p*}} = \frac{0,75 \cdot 3000}{3 \cdot 220 \cdot 0,813 \cdot 0,82} = 5,111 \text{ A}$$

is the current of the motor stator under partial load;

$\eta_{p*} = \eta_H = 0,82$ – the efficiency under partial load;

$\cos \varphi_{p*} = 0,98 \cdot \cos \varphi_H = 0,98 \cdot 0,83 = 0,813$ – the power factor under partial load;

$p_* = P / P_H = 0,75$ – the motor load factor.

It's necessary to determine the relation by the Kloss formula for the calculation of the critical slip. $\beta=1$ is the coefficient characterizing the ratio of the active impedance of the stator and the rotor:

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,06 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - (1 - 2 \cdot 0,06 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,06 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,294 \text{ o.e.}$$

Next, we define a number of intermediate coefficients:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{1,998}{2 \cdot 7 \cdot 6,679} = 1,021;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,06)}{2 \cdot 1,021 \cdot 2,2 \cdot 3000} = 10,124.$$

The active resistance of the rotor is determined by

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K}\right) \cdot C_1} = \frac{10,124}{\left(1 + \frac{1}{0,294}\right) \cdot 1,021} = 2,253 \text{ Ohm.}$$

The formula of the stator winding resistance is:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,021 \cdot 2,253 \cdot 1 = 2,301 \text{ Ohm.}$$

For the parameter γ , which allows us to find the inductive short-circuit resistance we determine by: $\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_K^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,294^2} - 1^2} = 3,25.$

Then the short-circuit resistance could be expressed by:

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 3,25 \cdot 1,021 \cdot 2,253 = 7,477 \text{ Ohm.}$$

It's necessary to select the scattering resistance of the stator and rotor phases from the inductive short-circuit resistance, using the relations for serial asynchronous motors.

The inductive reactance of the dispersion rotor provided to the stator:

$$X'_{2\sigma} = \frac{0,58 \cdot X_{KH}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 7,477}{1,021} = 4,246 \text{ Ohm.}$$

The inductive reactance of the scattering of a stator winding is:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 7,477 = 3,14 \text{ Ohm.}$$

EMF branches of the magnetization induced by the air flow in the stator winding by the nominal mode:

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{\left(U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_H - R_1 \cdot I_{1H}\right)^2 + \left(U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - X_{1H} \cdot I_{1H}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(220 \cdot 0,83 - 2,301 \cdot 6,679\right)^2 + \left(220 \cdot \sqrt{1 - 0,83^2} - 3,14 \cdot 6,679\right)^2} = 195,748 \text{ B.} \end{aligned}$$

In this case, the inductive reactance of magnetization is defined as:

$$X_{\mu H} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{195,748}{1,998} = 97,972 \text{ Ohm.}$$

The leakage inductance of a stator winding:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{3,14}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 9,996 \cdot 10^{-3} \text{ H.}$$

The inductance of the rotor winding reducing to the stator:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{4,246}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,014 \text{ H.}$$

The inductance of the magnetizing branch:

$$L_{\mu H} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{97,972}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,312 \text{ H}.$$

The t-shaped equivalent circuit of the asynchronous motor for one phase is shown in figure 3.

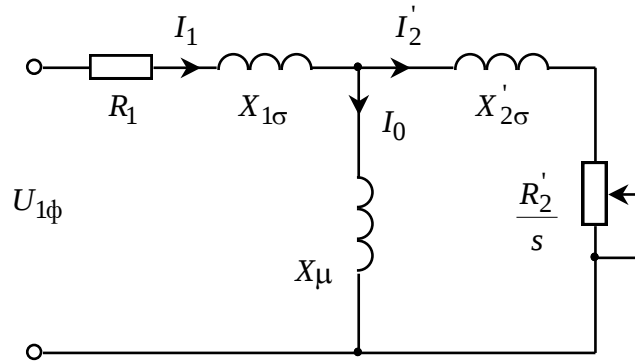


Figure 3 – an equivalent circuit of the asynchronous motor

The equivalent circuit parameters are in table 1.

Table 1 – Parameters of the equivalent circuit of the motor

R_1, Ohm	$X_{1\sigma}, Ohm$	$L_{1\sigma}, H$	X_{μ}, Ohm	L_{μ}, H	R'_2, Ohm	$X'_{2\sigma}, Ohm$	$L'_{2\sigma}, H$	X_{KH}, Ohm
2,301	3,14	$9,996 \cdot 10^{-3}$	97,972	0,312	2,253	4,246	0,014	7,477

The value of the rated flux linkage of the motor

$$\Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 1,998 \cdot 0,312 = 0,881 .$$

The value of the rated electromagnetic torque of the motor:

$$M_{\text{эм.н}} = M_{\text{эм.н}}(s_H) = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 2,253}{157 \cdot 0,06 \cdot \left[(7,477)^2 + \left(2,301 + \frac{2,253}{0,06} \right)^2 + \left(\frac{2,301 \cdot 2,253}{0,06 \cdot 97,972} \right)^2 \right]} = 21,106 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

The friction torque on the motor shaft:

$$M_{с,дв} = M_{эМ.Н} - M_{дв.Н} = 21,106 - 20,328 = 0,778 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

The inertia moment of the mechanism putting to the motor shaft:

$$J_{\text{м}} = 0,5 \cdot J_{\text{дв}} = 0,5 \cdot 0,0087 = 0,00435 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Equivalence inertia moment of the drive:

$$J_{\text{э}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{м}} = 0,0087 + 0,00435 = 0,013 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

To build the natural mechanical characteristics of the motor, it's necessary to determine the critical moment of the machine in the motor mode:

$$\begin{aligned} M_{\text{к}} &= \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot C_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{\text{кН}}^2} \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157 \cdot 1,021 \cdot \left[2,301 + \sqrt{2,301^2 + 7,477^2} \right]} = 44,699 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

We construct the mechanical characteristic of the induction motor according to the Kloss Formula: $M(s) = \frac{2 \cdot M_{\text{к}} \cdot (1 + a \cdot s_{\text{к}})}{\frac{s_{\text{к}}}{s} + \frac{s}{s_{\text{к}}} + 2 \cdot a \cdot s_{\text{к}}}$,

$$\text{Which } a = \frac{R_1}{R_2'} = \frac{2,301}{2,253} = 1,021.$$

The speed axis values are calculated by the expression:

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

Normal mechanical characteristic of the induction motor is shown in figure

1.

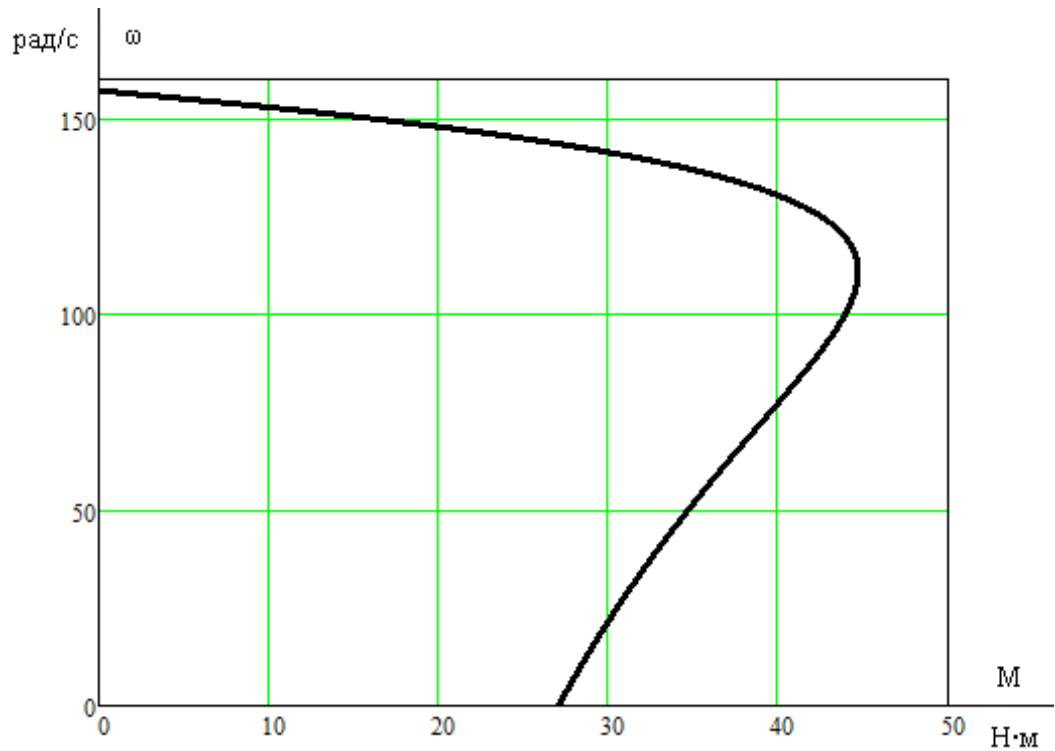


Figure 1 – Normal mechanical characteristics of the motor

The electromechanical characteristic of the induction motor is the stator current dependence on the speed. The magnetization current I_0 is reactive ($I_{0A}=0$), the stator current I_1 could be determined by the formula:

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

Where

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{KH}^2}};$$

$$\sin \varphi_2(\omega) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{KH}^2}}.$$

Setting the speed range from 0 to ω_0 , we construct the electromechanical characteristics of the induction motor according to the formulas for the currents of the stator and rotor windings.

The normal electromechanical characteristics of the motor are shown in figure 2.

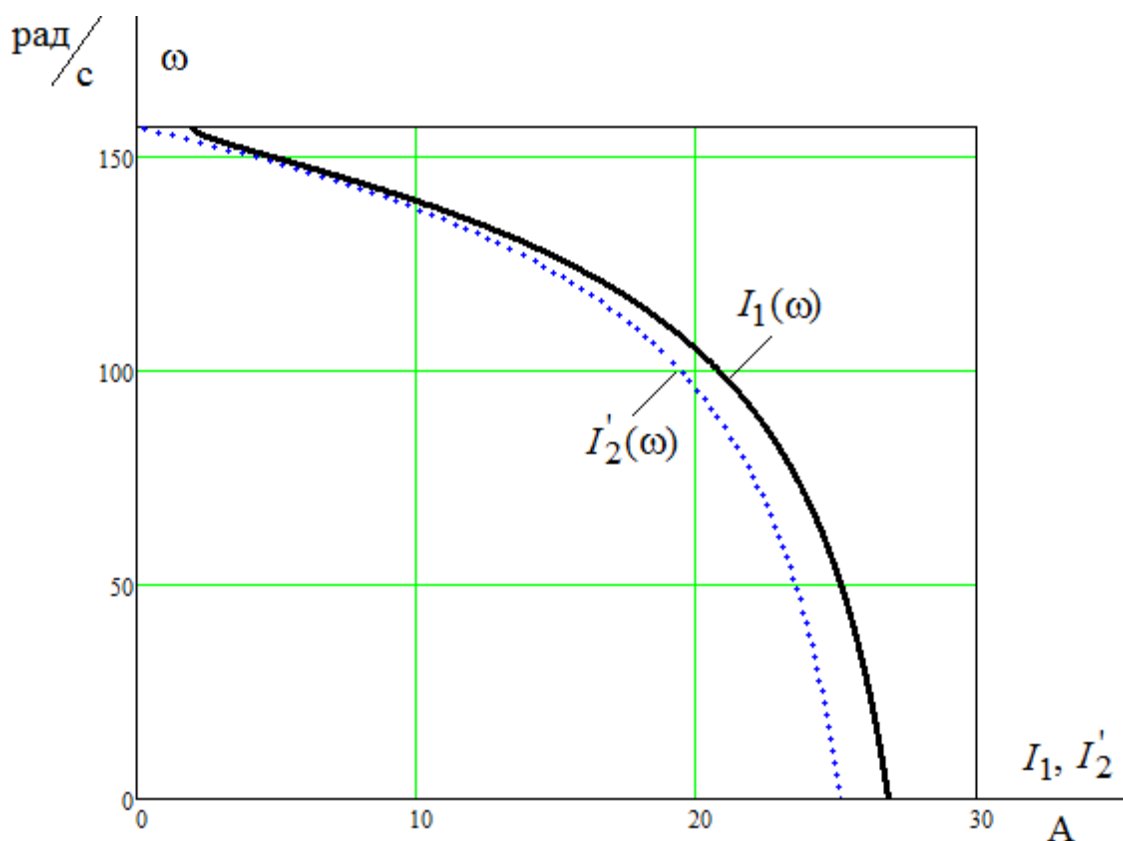


Figure 2 – Normal electromechanical characteristics of the motor