

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Источник питания рудничных аккумуляторных электровозов

УДК 622.625.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Копнов Алексей Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев Сергей Николаевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Фех Алина Ильдаровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2020

Планируемые результаты обучения по ООП

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки		
P1	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.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1,6; ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4,5; ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	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.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2,3; ОПК-1; ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Иметь представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии отрасли, навыки проведения работ с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1,6; ОПК-1, 4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.	Требования ФГОС ВО (УК-5, ОПК-4; ПК- 4-6), Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
По профилям подготовки		
P6	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.	Требования ФГОС ВО (ПК-1, 7,8), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций»)

P7	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.	Требования ФГОС ВО (ПК-2, 9, 10, 11), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-3, 13, 14, 15, 24-26), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций»)
P9	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.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 16-21, 24, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.	Требования ФГОС (ПК-22, 23, 25, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.	Требования ФГОС (ПК-27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций»)
P12	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.	Требования ФГОС (ПК-29, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)



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 Электроэнергетики и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5AM88	Копнову Алексею Олеговичу

Тема работы:

Источник питания рудничных аккумуляторных электровозов		
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)		27.02.2020 № 58-29/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Источник питания рудничных аккумуляторных электровозов. Материалы производственной практики, техническая литература, техническая документация</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>Титульный лист Задание Реферат Введение Раздел 1. Электропривод рудничного электровоза. Раздел 2. Источник питания для аккумуляторного электровоза. Раздел 3. Построение механических характеристик асинхронного двигателя Раздел 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Раздел 5 Социальная ответственность Заключение Список литературы</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>- функциональная схема ; - механическая характеристика двигателя - имитационная модель в режиме полного заряда аккумуляторной батареи для одного двигателя;</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Основное исследование</p>	<p>Кладиев С.Н.</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Спицына Л.Ю.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Фех А.И.</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Пташкин А.С.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</p>	
<p>Раздел 1. Электропривод рудничного электровоза.</p>	
<p>Раздел 2. Источник питания для аккумуляторного электровоза.</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>10.02.2020 г.</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Копнов А.О.		

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 Электроэнергетики и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники
 Период выполнения осенний/ весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.03.2020	Календарное планирование работ по теме	3
12.03.2020	Описание объекта исследования	3
20.03.2020	Подбор и изучение материалов по теме	3
22.03.2020	Составление и утверждение технического задания	3
28.03.2020	Составление схемы источника питания	3
11.04.2020	Расчет и выбор элементов источника питания	3
15.04.2020	Создание имитационной модели	3
25.04.2020	Анализ полученных данных	3
02.05.2020	Контроль качества выполнения проекта и консультирование студента	3
10.05.2020	Оценка эффективности проделанной работы	3
12.05.2020	Технико-экономические расчеты	3
15.05.2020	Вопросы экологической безопасности	3
22.05.2020	Составление пояснительной записки	4
26.05.2020	Итог	40

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
5AM88	Копнову Алексею Олеговичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02. 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	При проведении исследований используется материально-техническая база НИ ТПУ, в исследовании задействованы 2 человека: научный руководитель и инженер (дипломник). Бюджет проекта не более 300000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30 % премии 15 % надбавки 15% накладные расходы 30% районный коэффициент Интегральный показатель эффективности не менее 4 баллов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды составляют 27,1 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТИ)
2. Разработка устава научно-технического проекта	Не разрабатывается
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Разработка календарного плана работ, формирование сметы затрат.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение ресурсной эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Диаграмма FAST
4. Диаграмма Исикава
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л.Ю.	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Копнов Алексей Олегович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM88	Копнову Алексею Олеговичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и Электротехника

Тема ВКР:

«Источник питания рудничных аккумуляторных электровозов»	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является рабочее место инженера (дипломника).</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<i>«Трудовой кодекс Российской Федерации».</i> <i>ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»</i>
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<i>1. Микроклимат</i> <i>2. Производственная вибрация и шум</i> <i>3. Недостаточная освещенность рабочей зоны</i> <i>4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</i>
3. Экологическая безопасность:	<i>Фактором загрязнения окружающей среды является неправильная утилизация электронных устройств и других предметов человеческого пользования: бумажных, пластиковых, металлических и стеклянных изделий.</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>Самым распространённым ЧС в исследуемой лаборатории является пожар.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.02.2020
--	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Фех А.И.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Копнов А.О.		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 102 страницы, 32 рисунка, 33 таблицы, 1 приложение, 27 источников.

Ключевые слова: РУДНИЧНЫЕ ЭЛЕКТРОВОЗЫ, ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ, АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ, СУПЕРКОНДЕНСАТОРНЫЙ МОДУЛЬ, ИНВЕРТОР, ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ, ТЯГОВЫЕ АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ.

Объектом исследования является источник питания для рудничных аккумуляторных электровозов.

Целью работы является разработка источника питания для рудничных электровозов.

С помощью программного продукта Mathcad 15 рассчитаны параметры асинхронного тягового двигателя и построена его механическая характеристика.

С помощью программного продукта Matlab Simulink R2019b смоделирована модель питания. Получены графики тока, скорости и крутящего момента асинхронного тягового двигателя переходные характеристики процессов.

Диссертационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016.

Оглавление

СОКРАЩЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ	15
ВВЕДЕНИЕ	16
1. ЭЛЕКТРОПРИВОД РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА.....	17
1.1. Общие сведения о рудничных электровозах	17
1.2. Тяговый асинхронный двигатель	20
1.3. Сведения об электровозе проектируемого источника питания	23
2. ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ АККУМУЛЯТОРНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА	27
2.1. Общие сведения о разрабатываемом источнике питания	27
2.2. Расчет и выбор элементов источника питания.....	28
2.2.1. Выбор аккумуляторных батарей	28
2.2.2. Выбор суперконденсаторного модуля.....	30
2.2.3. Расчет инвертора напряжения	31
2.2.4. Расчет фильтра на выходе инвертора	33
2.2.5. Выбор зарядного устройства и системы контроля и управления аккумуляторных батарей	36
2.2.6. Выбор управляющих транзисторов	37
3. ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	39
3.1. Выбор асинхронного двигателя и расчет его параметров.....	39
3.2. Построение механических характеристик рассчитанного двигателя	43
3.3. Моделирование схемы источника питания при полном заряде аккумуляторной батареи	44
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	50
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений	52
4.1.3. FAST-анализ	54
4.1.4. Диаграмма Исикава.....	58
4.1.5. SWOT- анализ	59
4.2. Инициация проекта	62
4.3. Планирование научно-исследовательских работ.....	64
4.3.1. Контрольные события проекта	64
4.3.2. Планирование НИР	65
4.4. Бюджет научного исследования	67
4.4.1. Основная заработная плата (компенсация трудовых затрат).	68
4.4.2. Дополнительная заработная плата.....	69

4.4.3. Отчисления на социальные нужды.....	70
4.4.4. Прочие расходы.....	71
4.4.5. Накладные расходы.....	71
4.4.6. Амортизация	72
4.4.7. Полная смета затрат	72
4.5. Определение ресурсной и экономической эффективности исследования.....	73
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	76
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	76
5.2. Производственная безопасность	78
5.2.1. Микроклимат	79
5.2.2. Производственная вибрация и шум.....	80
5.2.3. Освещение.....	81
5.2.4. Поражение электрическим током	82
5.3. Экологическая безопасность.....	83
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	84
Вывод по разделу	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	87
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА.....	88
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	88
Приложение А	91

СОКРАЩЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ

АКБ – Аккумуляторная батарея

СК – Суперконденсатор

АИН – Автономный инвертор напряжения

ТАД – Тяговый асинхронный электродвигатель

КПД – Коэффициент полезного действия

ПЧ – Преобразователь частоты

ШИМ – Широтно-импульсная модуляция

IGBT – Биполярный транзистор с изолированным затвором

ВВЕДЕНИЕ

В горнодобывающей промышленности широкое распространение получил рельсовый подземный электротранспорт, так как обладает высокой эффективностью в перевозке грузов на большие расстояния. Работа электрического оборудования и электрических машин на больших расстояниях от источника питания является особенностью данной промышленности.

Электрическими приводами оснащены электровозы с питанием от аккумуляторных батарей или подземной контактной сети. В угольных шахтах из-за угрозы взрыва метана используются аккумуляторные электровозы, а в рудных шахтах используются электровозы с контактной тягой [1].

Для аккумуляторных электровозов важны массогабаритные показатели аккумуляторных батарей из-за влияния массогабаритных показателей электровоза на его процесс трогания.

Для рудничных аккумуляторных электровозов используется большое количество аккумуляторных батарей, вследствие чего масса электровоза становится большой и ухудшается процесс трогания электровоза.

В связи с этим актуальна разработка и создание источника питания для электровоза, который бы позволял получить необходимое напряжения для успешного функционирования, при этом обладая относительно малыми массогабаритными показателями.

1. ЭЛЕКТРОПРИВОД РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

1.1. Общие сведения о рудничных электровозах

Прежде, чем говорить об электроприводе рудничного электровоза, необходимо разобраться, что такое электровоз.

Рудничный электровоз – это локомотив, с электрическими тяговыми двигателями. По способу питания электровозы бывают: аккумуляторными, контактными, комбинированными. Также существуют электровозы разного исполнения, например, рудничного нормального исполнения или рудничного исполнения повышенной надежности, а также взрывобезопасного исполнения [2].

Проектируемый источник питания применяется в аккумуляторных электровозах, следовательно, будет рассмотрено устройство именно таких электровозов, но прежде необходимо сказать, что оборудование применяемое в них, в целом не отличается от оборудования контактных электровозов. Главные отличия в комплексе их откатки, а также в том, что на аккумуляторных электровозах установлены тяговые батареи, а на контактных – токоприемники.

В состав комплекса откатки аккумуляторных электровозов входят: подвижный состав, а именно непосредственно электровозы и вагонетки, рельсовый путь, зарядная подстанция, гараж для электровозов, а также различное вспомогательное оборудование. Как было сказано выше, на электровозах установлены тяговые батареи, через которые и происходит питание электровозов.

Схематичное устройство данного вида электровозов, представлено на рисунке 1.

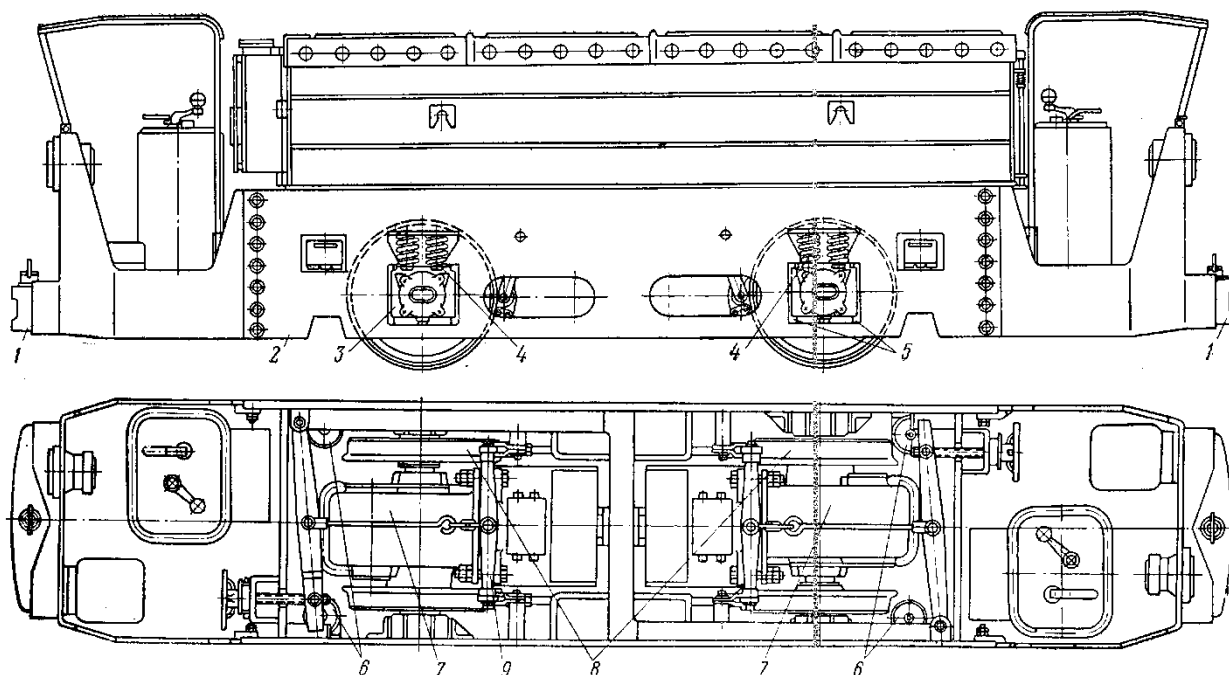


Рисунок 1. Схематическое устройство аккумуляторного электровоза: 1 – буферно-сцепное устройство; 2 – рама с кабиной; 3 – буксы; 4 – рессорная пружина; 5 – челюсти; 6 – песочная система; 7 – тяговая передача; 8 – ходовая часть; 9 – тормозная система.

Все оборудование электровозов можно разделить на три части:

1. механическая;
2. электрическая;
3. пневматическая [3].

Первая включает в себя кузов и тележки, которые состоят из рамы, колесных пар с буксами, подвесок тяговых двигателей, тяговой передачи, рычажно-тормозной передачи, рессорной подвески. При помощи рессорной подвески происходит опора кузова на тележки, а также с их помощью происходит гашение ударов электровоза при его движении.

Тяговые двигатели обеспечивают вращение колесных пар. Валы двигателей соединяют с осями колесных пар редукторами.

Случай, когда один двигатель вращает одну колесную пару, получил название индивидуальный тяговый привод. Такой привод имеет широкое применение.

Однако имеет место и случай, когда один двигатель вращает две колесные пары. Такой привод называют групповым. Однако, в этом случае привод имеет характеристики привода как технические, так и экономические, сильно уступают индивидуальному приводу.

Тяговые асинхронные двигатели главная электрическая часть электровоза, однако, также не стоит забывать про другие такие части. Эти аппараты выполняют важные функции, например, пуск двигателей, изменение скорости и направления движения электровоза.

Тяговые двигатели, в силу свойства обратимости электрических машин, при движении по спуску, переключают для работы в качестве генератора. Этот процесс называется рекуперацией электрической энергии.

Аккумуляторная батарея, фильтры, защитные элементы, преобразователь, асинхронные двигатели вместе образует силовую часть. Преобразователь позволяет получить переменное напряжение при двигательном режиме работы асинхронных двигателей, а при рекуперативном торможении постоянное напряжение.

Искусственная система охлаждения на электровозе представлена вентиляторами. Они служат для охлаждения силовой части электровоза.

Электрическое оборудование, работающее под высоким напряжением, состоит из двух электрических высоковольтных цепей – силовая цепь, в состав которой входят тяговые двигатели, пусковая и регулирующая аппаратура, и цепь вспомогательных машин вместе со своей аппаратурой. Низковольтные электрические аппараты, благодаря которым осуществляется управление аппаратами силовой и вспомогательной цепей, объединены в цепь управления.

Основным аппаратом цепи управления является контроллер машиниста, который расположен в кабине машиниста вместе с некоторыми другими низковольтными электрическими аппаратами.

Компрессоры, установленные на электровозе, позволяют управлять пневматическими тормозами. Образуют пневматическое оборудование, куда

также относятся и резервуары для сжатого воздуха, трубопровода и пневматические привода для электрических аппаратов.

1.2. Тяговый асинхронный двигатель

Для локомотивного транспорта, как для любого другого, важно улучшить экономические показатели работы.

Долгое время основой контактных и аккумуляторных рудничных электровозов были коллекторные двигатели постоянного тока (ДПТ). Данные двигатели в результате развития, достигли предела в преобразовании электрической энергии постоянного тока в механическую энергию. [SDPM]

Улучшение экономических показателей работы локомотивного транспорта возможно за счет снижения удельного расхода электроэнергии средствами электропривода. Одним из перспективных направлений решения этой задачи является оснащение рудничных электровозов асинхронным частотно-регулируемым приводом [4].

В отличие от ДПТ, в конструкции АД отсутствует сложный коллекторно-щеточный узел, а также более удобная система охлаждения.

Для локомотивного тягового двигателя существуют определенные требования, например, возможность регулирования частоты вращения в широком диапазоне, также регулирование в широком диапазоне вращающего момента, развиваемого двигателем.

Таким образом, главной задачей при использовании привода является формирование рациональной тяговой характеристики рудничного электровоза, то есть зависимости развиваемой скорости от тягового усилия. Двигатель электровоза должен обеспечивать значительную силу тяги при трогании локомотива с места, его разгоне и при преодолении крутых подъемов и т.п., но при этом снижать ее при более легких условиях движения.

Использование асинхронного тягового электродвигателя позволяет успешно решать эту задачу.

Трехфазные асинхронные двигатели – самые распространенные. К их достоинствам относят: простоту устройства и обслуживания, высокую надежность при относительно невысокой стоимости, простой пуск [5].

Частота вращения ротора асинхронного двигателя находится по выражению:

$$n_2 = (1 - s) \cdot n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s)$$

Следовательно изменение частоты вращения ротора можно добиться изменением частоты питающего напряжения, скольжения, числа пар полюсов.

Основным способом регулирования скорости подвижного состава, имеющего тяговый асинхронный электропривод, является регулирование скорости изменением частоты питающего напряжения. Регулирование в этом случае основано на изменении частоты вращения магнитного поля статора и осуществляется плавно и в широких пределах.

В асинхронном приводе путем соответствующего программирования системы управления можно получить тяговую характеристику практически любой формы. Наиболее известна для таких случаев тяговая характеристика, состоящая из трех участков: жесткого участка в области малых и отрицательных нагрузок, участка постоянной мощности в области средних и больших нагрузок и участка ограничения момента в области нагрузок, близких к предельным по условию сцепления (рисунок 2) [6].

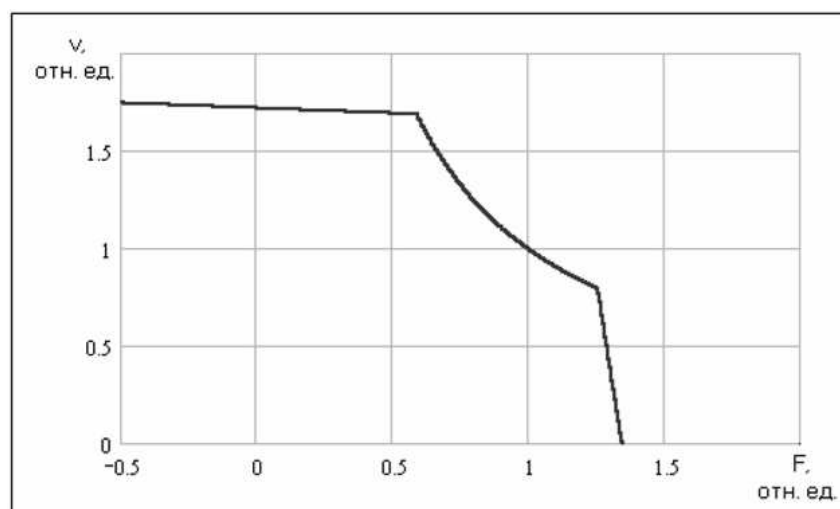


Рисунок 2. Тяговая характеристика электровоза

Асинхронный двигатель имеет жесткую механическую характеристику, благоприятную для тягового привода с точки зрения реализации тягового усилия. Таким образом, тяговую характеристику возможно получить, используя естественную механическую характеристику двигателя, только при этом необходимо соблюсти важное условие, а именно, поместить ее внутри допустимой области существования тяговых характеристик.

Рассмотрим вопрос реализации данной характеристики.

Использовать преобразователь частоты, о котором говорилось в предыдущем пункте работы, можно двумя способами: отдельно для каждого из двух двигателей или же применение одного общего преобразователя для обоих двигателей.

Более перспективным является применение индивидуальных инверторов для питания каждого двигателя, так как потери в преобразователе в данном случае распределяются на два устройства, что упрощает их охлаждение (в шахтных условиях желательно применение естественного воздушного охлаждения, тогда как в общепромышленных преобразователях широко применяется принудительное охлаждение). Упрощенная принципиальная схема силовой части асинхронного тягового привода показана на рисунке 3.

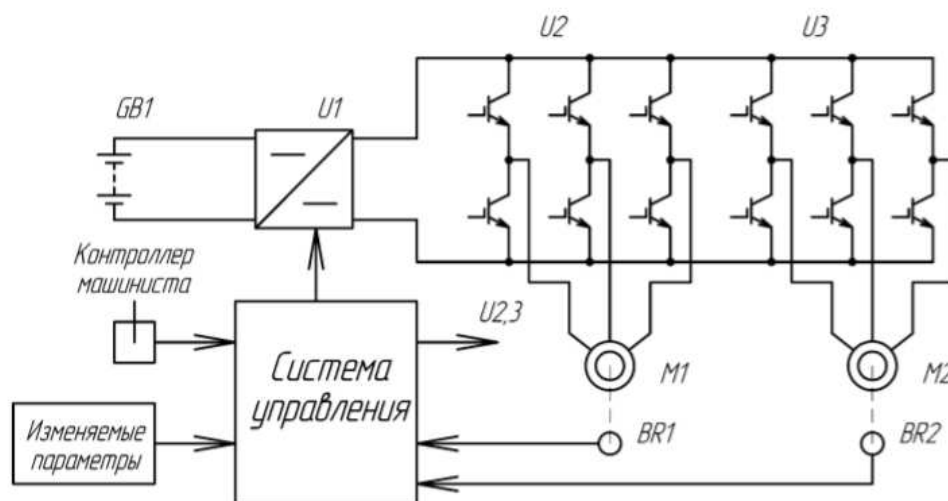


Рисунок 3. Упрощенная схема асинхронного тягового привода.

В представленной на рисунке схеме применяются два автономных инвертора $U2$ и $U3$, преобразователь постоянного напряжения $U1$ и тяговая батарея $GB1$.

При освоении асинхронного привода следует стремиться применять типовые двигатели, либо специальные, разработанные на базе типовых.

1.3. Сведения об электровозе проектируемого источника питания

Электровоз аккумуляторный DLPA44F, чешской фирмы Ferrit, являющийся аналогом отечественного электровоза АРП-14, изображен на рисунке 4, предназначен для перевозки материала или людей в горизонтальной горной выработке по рельсовому пути с шириной колеи 550-900 мм с макс. углом наклона пути 35 ‰ [7].

Электровоз представляет собой двухосный локомотив с индивидуальной подвеской рамы и двумя кабинами. Он оснащен механизированным гидравлическим приводом колодочного тормоза и отличается повышенной удельной энергоемкостью батарей, улучшенным обзором пути при движении в обоих направлениях, повышенной производительностью откатки.

Для облегчения транспортировки локомотива к горной выработке, его можно разобрать на три монтажных узла. Управление локомотивом осуществляется из кабины машиниста, которая оборудована элементами управления, контроля и защиты и приборами, служащими к его безопасному управлению. Конструкция кабины обеспечивает обслуживающему персоналу хороший вид на дорогу и надежную охрану от травм.



Рисунок 4. Вид аккумуляторного электровоза DLPA44F

Технические характеристики шахтного аккумуляторного электровоза DLPA44F представлены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики локомотива DLPA44F

Мощность	44 кВт (2×22 кВт)
Скорость	0–20 км/ч
Ширина колеи	550 - 900 мм
Масса	14 т

Для электровозов в основном применяют два вида аккумуляторов: щелочные железоникелевые и кислотные свинцовые. Однако наиболее широкое распространение на аккумуляторных электровозах получили железоникелевые, так как имеют более высокую прочность, в случае коротких замыканий не выходят из строя, могут храниться в разряженном состоянии, обладают большим сроком эксплуатации. Под емкостью аккумулятора понимают количество ампер-часов, отдаваемых при разряде до определенного конечного напряжения.

Для электровоза DLPA44F применяются в основном никель-железные аккумуляторные батареи. Например, аккумуляторы ТНЖ-500-У5. Внешний вид аккумулятора представлен на рисунке 5.



Рисунок 5. Аккумулятор ТНЖ-500-У5

Данные аккумуляторы обладают рядом преимуществ:

- конструкция пробок обеспечивает свободный выход газов, исключая возможность взрыва или деформации аккумулятора;
- аккумуляторы сохраняют работоспособность после длительных перезарядов и глубоких разрядов;
- изоляцией для аккумуляторов является специальный резиновый чехол;
- батареи имеют длительный срок службы и надежны в работе.

Один аккумулятор имеет следующие характеристики:

Таблица 2. Параметры аккумулятора

Тип	FL 500 M
Номинальная емкость, А/ч	500
Габаритные размеры ДхШхВ, мм	155x167x538
Масса с электролитом, кг	24
Масса без электролита, кг.	20,2
Номинальное напряжение, В	1,2 В
Ток разряда/заряда, А	100
Время разряда, ч	5
Время заряда, ч	8

В обозначении типа аккумулятора присутствуют следующие обозначения:

- F – никель-железная электрохимическая система аккумулятора;
- L – длительный режим разряда;
- 500 – номинальная ёмкость в ампер-часах;
- M – для использования в шахтах [8].

Для получения необходимого напряжения в 220 (230) В нужно взять две параллельно соединенных сборки из 192 последовательно соединенных аккумуляторов (230,4 В), таким образом, общее число аккумуляторов 384 шт.

В итоге масса аккумуляторов составит: $24 \cdot 384 = 9216$ кг.

2. ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ АККУМУЛЯТОРНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

2.1. Общие сведения о разрабатываемом источнике питания

Источник питания аккумуляторного рудничного электровоза представлен на рисунке 6.

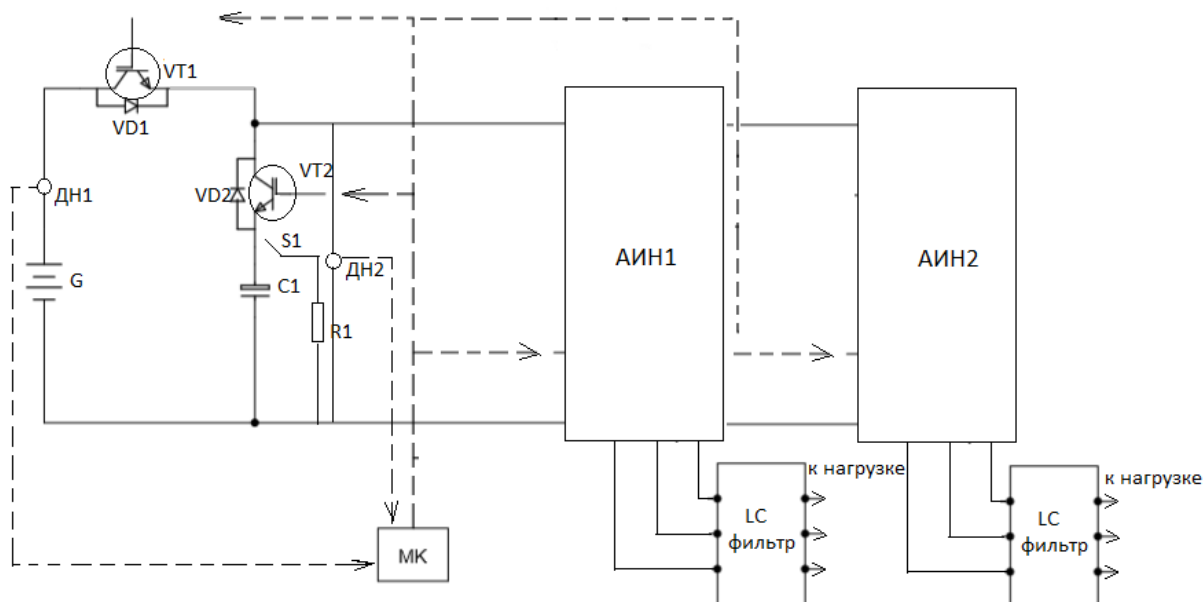


Рисунок 6. Схема источника питания

Особенностью схемы является использование литий-ионных аккумуляторов. Также применение суперконденсаторного модуля, который выполняет роль накопителя электрической энергии, образуемой в результате рекуперативного торможения асинхронных двигателей.

Далее энергия рекуперативного торможения используется для заряда аккумуляторов. Для этого применяется зарядное устройство, выбор которого проведен в следующих пунктах настоящей работы.

Источник питания состоит из аккумуляторной батареи G, суперконденсаторного модуля C1, управляющих транзисторов VT1, VT2. Через инверторы АИН1 и АИН2, которые образованы тремя стойками IGBT транзисторов, источник питания питает нагрузку переменным трехфазным напряжением – два тяговых асинхронных двигателя с короткозамкнутым ротором.

Датчик напряжения ДН1 показывает заряд аккумуляторной батареи. Датчик напряжения ДН2 показывает заряд суперконденсатора и в случае его наполнения подает сигнал микроконтроллеру МК, который переводит оставшуюся энергию на тормозной резистор R1.

3. ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

3.1. Выбор асинхронного двигателя и расчет его параметров

Помимо массогабаритных показателей, в аккумуляторных электровозах, очень важен и их пусковой момент, так как развиваемый двигателем пусковой момент должен обеспечивать трогание полностью загруженного состава с электровозом, а чем тяжелее электровоз, тем больше может быть развиваемый двигателем момент. Необходимо рассмотреть механические характеристики двигателя при использовании вольтодобавочного устройства и без него. Наиболее близкими по условию эксплуатации к тяговым двигателям являются серийные тяговые асинхронные двигатели.

Для рассматриваемого электровоза, выбран двигатель 4МТКМ2П200LA6, так как такой двигатель наиболее приближен к требуемому тяговому двигателям по мощности и разработан для частотно-регулируемого электропривода, внешний вид двигателя представлен на рисунке 19.



Рисунок 19. Тяговый двигатель

Используемый двигатель имеет характеристики, представленные в таблице 6 [13].

Таблица 6. Технические характеристики используемого двигателя

Заданные величины	Условное обозначение	Единица измерения	Численное значение
Напряжение	U	В	380/220
Мощность	P_n	кВт	22
КПД	η_n	%	87
Скольжение при номинальной нагрузке	S_n	%	2
Коэффициент мощности	$\cos \varphi_n$	о.е.	0,78
Кратность пускового тока	k_i	о.е.	6,9
Кратность пускового/макс. моментов	k_n	о.е.	3,4
Синхронная частота вращения	n_c	Об/мин	1000\980

Приведем следующие показатели двигателя:

Синхронная угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,72 \text{ рад/с}$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - S_n) \cdot n_c = (1 - 0,02) \cdot 1000 = 980 \text{ об/мин}$$

Номинальная угловая скорость:

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - S_n) \cdot \omega_c = (1 - 0,02) \cdot 104,72 = 102,63 \text{ рад/с}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{22000}{102,63} = 214,36 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номинальный фазный ток:

$$I_{\phi_n} = \frac{P_{\text{дв}}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{22000}{3 \cdot 220 \cdot 0,78 \cdot 0,87} = 49,1 \text{ А}$$

Коэффициент мощности при частичной нагрузке:

$$\cos \varphi_{p^*} = 0,95 \cdot \cos \varphi_n = 0,95 \cdot 0,78 = 0,741$$

Коэффициент загрузки двигателя:

$$p_z = 0,75 \text{ о.е.}$$

Тогда ток статора двигателя при частичной нагрузке равен:

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_{\text{дв}}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_n} = \frac{0,75 \cdot 22000}{3 \cdot 220 \cdot 0,741 \cdot 0,87} = 38,78 \text{ A}$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{p^* \cdot I_{\phi n} \cdot (1 - S_n)}{1 - p^* \cdot S_n} \right)^2}{1 - \left(\frac{p^* \cdot (1 - S_n)}{1 - p^* \cdot S_n} \right)^2}} = \sqrt{\frac{38,78^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 49,1 \cdot (1 - 0,02)}{1 - 0,75 \cdot 0,02} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1 - 0,02)}{1 - 0,75 \cdot 0,02} \right)^2}} = 19,02 \text{ A}$$

Критическое скольжение:

$$S_{kp} = S_n \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,02 \cdot \frac{3,4 + \sqrt{3,4^2 - (1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot (3,4 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot (3,4 - 1)} = 0,147 \text{ o.e}$$

где коэффициент $\beta = 1$

Предварительно для расчёта активных и индуктивных сопротивлений (параметров схемы замещения) обмоток статора и ротора определяются следующие коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{\phi n}} = 1 + \frac{19,022}{2 \cdot 6,9 \cdot 49,1} = 1,028$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{\phi}^2 \cdot (1 - S_n)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_{\text{дв}}} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,02)}{2 \cdot 1,028 \cdot 3,4 \cdot 22000} = 0,925$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_{kp}} \right) \cdot C_1} = \frac{0,925}{\left(1 + \frac{1}{0,147} \right) \cdot 1,028} = 0,116 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора определяется по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,028 \cdot 0,116 \cdot 1 = 0,119 \text{ Ом}$$

Параметр γ , для определения сопротивления короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{kp}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,147^2} - 1^2} = 6,708$$

$$X_{\kappa} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 6,708 \cdot 1,028 \cdot 0,119 = 0,798 \text{ Ом}$$

Тогда, индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, приближённо может быть рассчитано:

$$X'_2 = 0,58 \cdot \frac{X_{\kappa}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{0,798}{1,028} = 0,45 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{\kappa} = 0,42 \cdot 0,798 = 0,335 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания определяется через значение ЭДС обмотки статора:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{\phi} \cdot \cos \varphi_n - R_1 \cdot I_{\phi n})^2 + (U_{\phi} \cdot \sin \varphi_n + X_1 \cdot I_{\phi n})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,78 - 0,119 \cdot 49,1)^2 + (220 \cdot 0,62 + 0,335 \cdot 49,1)^2} = 205,35 \text{ В} \end{aligned}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{205,35}{19,022} = 10,795 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L_{1\delta} = \frac{X_1}{2\pi f} = \frac{0,335}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 1,066 \text{ мГн}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_2}{2\pi f} = \frac{0,45}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 1,432 \text{ мГн}$$

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

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f} = \frac{10,795}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,034 \text{ Гн}$$

3.2. Построение механических характеристик рассчитанного двигателя

Схема замещения асинхронного двигателя, имеет следующие параметры:

$R_1 = 0,119$ Ом – активное сопротивление обмотки статора;

$X_1 = 0,336$ Ом – индуктивное сопротивление обмотки статора;

$L_{1\delta} = 0,001066$ Гн – индуктивность обмотки статора;

$X_m = 10,741$ Ом – индуктивное сопротивление намагничивания;

$R'_2 = 0,116$ Ом – активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора;

$L_m = 0,034$ Гн – индуктивность контура намагничивания;

$X'_2 = 0,452$ Ом – индуктивное сопротивление обмотки ротора;

$L_{2\delta} = 0,001432$ Гн – приведенная индуктивность обмотки ротора;

$X_k = 0,799$ Ом – сопротивление короткого замыкания.

Естественная механическая характеристика $\omega = f(M)$ асинхронного двигателя рассчитывается по выражению:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R'_2}{\omega_n \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_k + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_m} \right)^2 \right]}$$

Механическая характеристика двигателя при пониженном напряжении рассчитывается по аналогичной формуле.

На рисунке 20 приведены естественная характеристика и характеристика при пониженном напряжении для рассчитанного выше двигателя.

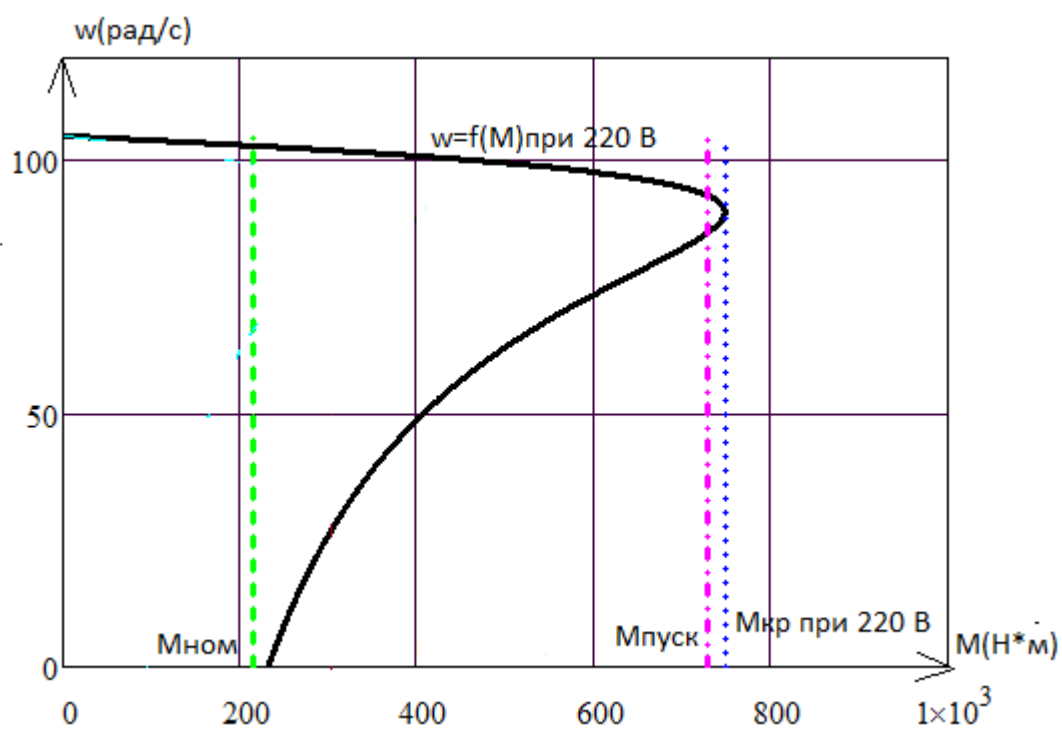


Рисунок 20. Естественная механическая характеристика и характеристика при пониженном напряжении

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Цель раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» – определение экономической целесообразности использования источника питания на литий-ионных аккумуляторах для аккумуляторных рудничных электровозов, оценка ресурсоэффективности и конкурентоспособности проекта.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- Произвести планирование научно-исследовательских работ;
- Определить ресурсную и финансовую эффективность исследования.

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Чтобы определить потенциальных потребителей данной разработки, необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Выпускная квалификационная работа посвящена созданию источника питания на литий-ионных аккумуляторах для аккумуляторных рудничных электровозов.

Разрабатываемый источник питания совместим с любым типом аккумуляторных электровозов, главной задачей работы является выбор наиболее выгодного варианта аккумуляторной батареи для разрабатываемого источника питания.

Потенциальными потребителями данной исследования являются заводы, производящие горно-шахтное оборудование, которые заинтересованы в увеличении энергоэффективности и производительности при работе на горных выработках и на рудниках.

Для коммерческих организаций критерии сегментации могут быть: место нахождения; промышленность; промышленные товары; размер и другие.

Сегментирование рынка горно-шахтного будем проводить по следующим критериям:

1) Размер производства электровозов. Например, следующие заводы: ООО «Ferrit» (Чехия); ООО «Тульский завод горно-шахтного оборудования» (ООО «ТЗГШО»); Кемеровский машиностроительный завод (г. Кемерово).

2) Тип аккумуляторных батарей. Например, никель-железные, никель-кадмиевые, литий-ионные.

Таблица 7 – Карта сегментирования рынка

		Тип электропривода (применяемый на электровозе двигатель)			
		Литий-ионный		Никель-железные	Никель-кадмиевые
Размеры производства электровозов	Крупные ООО «Ferrit»				
	Средние ООО «ТЗГШО»				
	Мелкие Кемеровский машиностроительный завод				

Фирма А		Фирма Б		Фирма В	
---------	--	---------	--	---------	--

Для составления карты, представленной в таблице 7, взята информация о трёх фирмах, которые занимаются электродвигателями (Фирма А- ООО «Курс», Фирма Б - ООО «НПО ССК», Фирма В – «Лиотех»). В этом примере сегментации карта показывает, какие ниши на рынке оборудования, не занятые конкурентами или где уровень конкуренции находится на минимальном уровне.

В результате сегментации можно сделать вывод, что литий-ионные аккумуляторы, на данный момент не пользуются большим спросом у производителей аккумуляторных рудничных электровозов, это связано, прежде всего, с тем, что активное развитие литий-ионных аккумуляторов происходит в последние 3-5 лет.

Цена на данные аккумуляторы намного выше, чем у никель-железных или никель-кадмиевых, что является главным их недостатком.

При этом преимуществ у литий-ионных аккумуляторов значительно больше:

- высокая плотность накапливаемой энергии и разрядных токов;
- выдача более высокого напряжения (по сравнению с аккумуляторами типов NiCd и NiMH);
- легкий вес;
- большой эксплуатационный ресурс порядка 10 лет;
- простота в уходе и использовании и др.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

С помощью данного анализа в научный проект вносятся коррективы, которые помогают успешно противостоять конкурентам. В ходе проведения анализа необходимо оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Для этой цели используется вся имеющаяся информация о конкурентных разработках.

Анализ проводится с помощью оценочной карты. Оценочная карта приведена в таблице 8.

Так как объектом исследования является источник питания для рудничных электровозов, то сравнение будем делать на основе данных о двух типах аккумуляторных батарей для источника питания: источник питания с никель-железным аккумулятором и источник питания с литий-ионным аккумулятором, который является объектом исследования. Данный анализ позволяет выбрать тот вариант, который будет наиболее конкурентоспособным, а также определить, в каком направлении необходимо действовать для его дальнейшего улучшения.

Таблица 8 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Пункты оценки	Значение критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{л-и} (Литий-ионный)	Б _{н-жс} (Никель-железный)	К _{л-и} (Литий-ионный)	К _{н-жс} (Никель-железный)
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Энергетические показатели	0,2	5	3	1	0,6
2. Массогабаритные показатели	0,15	5	3	0,75	0,45
3. Экологическая чистота	0,09	3	3	0,27	0,27
4. Срок службы	0,1	3	3	0,3	0,3
5. Надежность	0,1	4	4	0,4	0,4
6. Саморазряд	0,08	4	2	0,32	0,16
7. Пожаровзрывозащищенность	0,1	2	4	0,2	0,4
Экономические показатели оценки эффективности					
1. Цена	0,09	2	4	0,18	0,36
2. Сервис	0,05	5	3	0,25	0,15
3. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	3	0,16	0,12
Итого	1	37	32	3,83	3,21

Анализ конкурентных технических решений определяется следующим образом:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

Где: К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

Индексы у показателей л-и – литий-ионный аккумулятор; н-жс – никель-железный аккумулятор.

Пример расчета:

$$K_{л-и} = \sum B_i \cdot B_{л-и} = 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + \dots + 0,04 \cdot 3 = 3,83$$

Результаты показывают, что конкурентоспособность проекта составила 3,83, в то время как у никель-железных аккумуляторов 3,21 соответственно.

Таким образом, исследуемая научная разработка, в основе которой лежит источник питания на литий-ионных аккумуляторах для рудничных электровозов, является конкурентоспособной и имеет ряд преимуществ по техническим и экономическим показателям ресурсоэффективности, а значит заметно отличающимся высоким уровнем качества, в котором заинтересованы покупатели.

4.1.3. FAST-анализ

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

Проведение FAST-анализа предполагает шесть стадий:

1. Выбор объекта FAST-анализа;
2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом;
3. Определение значимости выполняемых функций объектом;
4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования;
5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
6. Оптимизация функций, выполняемых объектом.

Стадия 1. Выбор объекта FAST-анализа.

В рамках магистерской диссертации в качестве объекта FAST-анализа выступает источник питания на литий-ионных аккумуляторах для рудничного электровоза.

Стадия 2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом.

Таблица 9 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Аккумулятор	1	Обеспечивает электрической энергией электрическую машину	X		
Транзистор	1	Осуществляет подключение/отключение суперконденсаторного модуля от аккумулятора		X	
Суперконденсаторный модуль	1	Добавляет необходимую для работы электрической машины энергию при необходимости	X		
Датчик напряжения	1	Позволяет узнать необходимость добавления энергии из суперконденсаторного модуля			X

Стадия 3. Определение значимости выполняемых функций объектом.

Таблица 10 – Матрица смежности

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4
Функция 1	=	>	=	>
Функция 2	<	=	<	>
Функция 3	=	>	=	>
Функция 4	<	<	<	=

Таблица 11 – Матрица количественных соотношений функций

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	ИТОГО
Функция 1	1	1,5	1	1,5	5
Функция 2	0,5	1	0,5	1,5	3,5
Функция 3	1	1,5	1	1,5	5
Функция 4	0,5	0,5	0,5	1	2,5
					$\Sigma = 16$

Стадия 4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования.

Таблица 12 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоемкость детали, нормоч	Стоимость материала, руб.	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.
Аккумулятор	1	Обеспечивает электрической энергией электрическую машину	-	1,4	17000	5000	22000

Окончание таблицы 12.

Транзистор	1	Осуществляет подключение/отключение суперконденсаторного модуля от аккумулятора	-	0,9	600	320	920
Суперконденсаторный модуль	1	Добавляет необходимую для работы электрической машины энергию при необходимости	-	1,1	10000	4000	14000
Датчик напряжения	1	Позволяет узнать необходимость добавления энергии из суперконденсаторного модуля	-	0,5	280	140	420

Суммарная себестоимость : 37340 руб.

Стадия 5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ.

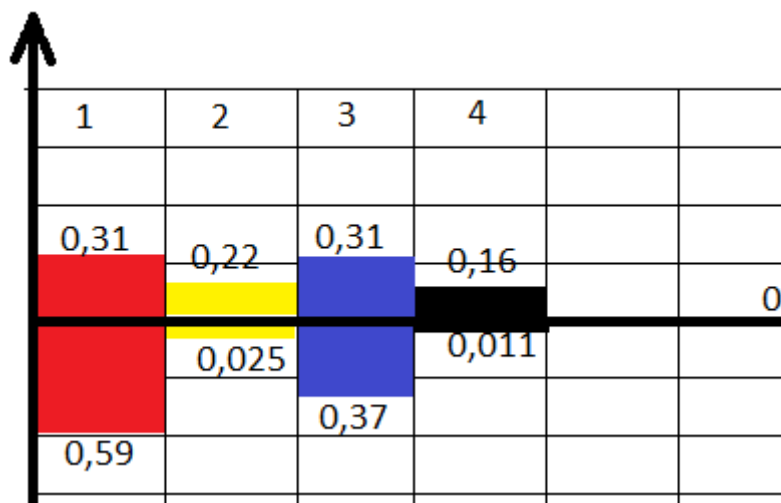


Рисунок 30 – Функционально-стоимостная диаграмма

Построенная функционально-стоимостная диаграмма позволяет выявить диспропорции между важностью (полезностью) функций и затратами на них. Анализ приведенной выше ФСД показывает явное наличие рассогласования по

функциям 1,2,4. Необходимо провести работы по ликвидации данных диспропорций.

Стадия 6. Оптимизация функций выполняемых объектом.

Список мероприятий для снижения затрат на единицу полезного эффекта:

- применение принципиально новых конструкторских решений;
- оптимизация технических параметров;
- оптимизация параметров надежности;
- повышение ремонтпригодности;
- применение новых техпроцессов, заготовок, материалов и т.д.

4.1.4. Диаграмма Исикава

Диаграмма причины-следствия Исикавы – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Причинно-следственная диаграмма представлена на рисунке 31.

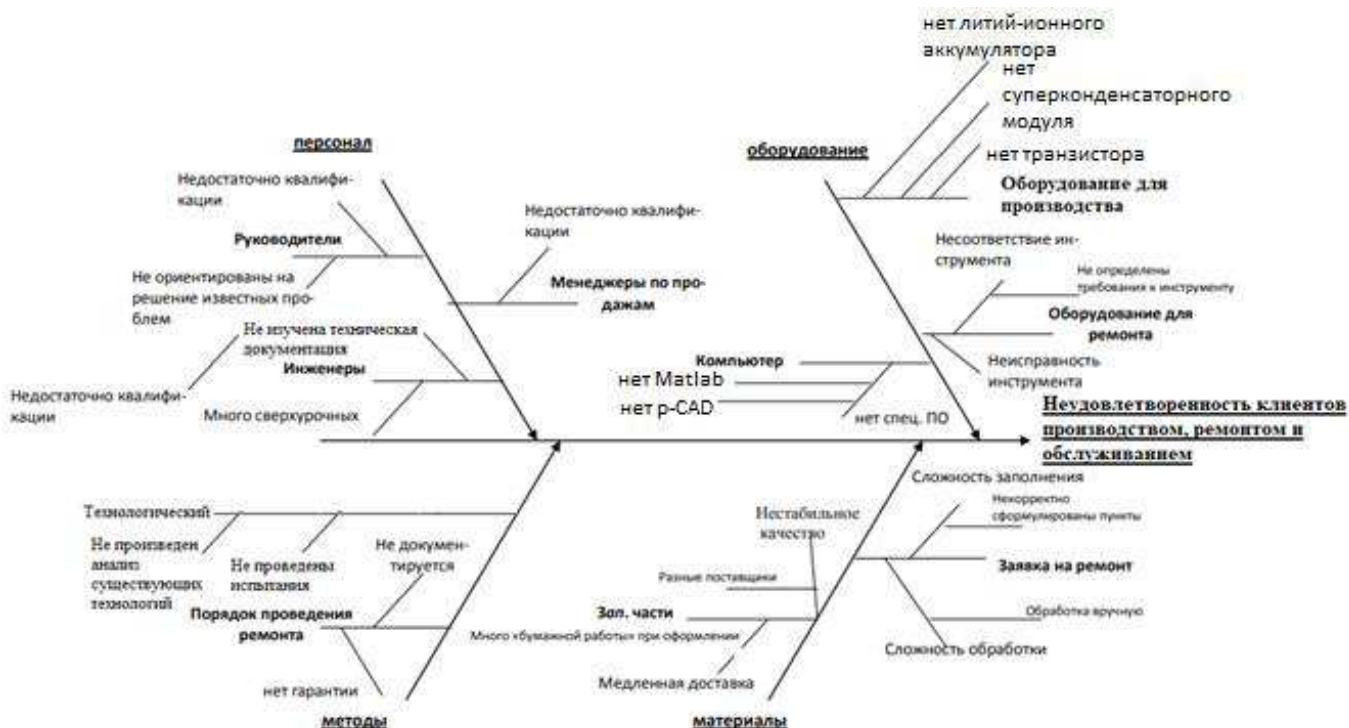


Рисунок 31 – Причинно-следственная диаграмма

4.1.5. SWOT- анализ

SWOT – анализ проводят для того, чтобы исследовать внешнюю и внутреннюю среды проекта.

Проведение анализа осуществляется в несколько этапов:

- Описание сильных (Strengths) и слабых (Weaknesses) сторон проекта, выявление возможностей (Opportunities) и угроз (Threats), которые могут появиться во внешней среде проекта;
- Выявление соответствия внешним условиям среды сильных и слабых сторон исследовательского проекта;
- Составление итоговой матрицы SWOT-анализа.

SWOT-анализ проводим для исследования источника питания на литий-ионных аккумуляторах для рудничных электровозов.

Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Матрица SWOT

	Сильные стороны (S) С1. Высокие энергетические показатели; С2. Простота и удобство в эксплуатации; С3. Безопасность; С4. Относительно небольшие массогабаритные показатели.	Слабые стороны (W) Сл1. Результаты требуют экспериментального; подтверждения; Сл2. Отсутствие прототипа разработки ; Сл3. Высокая цена компонентов.
Возможности (O) В1. Развитие технологий в данной области; В2.использование инновационной инфраструктуры НИ ТПУ; В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт	В1В3С1С2С3С4.Высокие энергетические показатели, простота и удобство в эксплуатации, безопасность и невысокие массогабаритные показатели будут сопутствовать дальнейшему развитию технологии и появлению на него дополнительного спроса.	В1В3Сл1 Сл2 Сл3.Так как результаты требуют экспериментального подтверждения и отсутствует прототип разработки, при высокой цене его компонентов, разработка может быть интересной в научной среде;

Окончание таблицы 13.

Угрозы (Т) У1. Отсутствие дополнительного спроса на новый продукт; У2. Возникновение конкурентов;	У1С1С2С4. Высокие энергетические показатели, простота и удобство в эксплуатации и невысокие массогабаритные показатели должны повысить дополнительный спрос. У2С1С4. Высокие энергетические показатели, при относительно малых массогабаритных показателях способствуют опережению конкурентов.	У2Сл1Сл2Сл3. вследствие всех сложностей, могут возникнуть сложности с реализацией проекта и возможным опережением конкурентов.
--	--	--

Таблица 14 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны – возможности»

	Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4
	В1	+	+	+	+
	В2	0	0	+	0
	В3	+	+	+	+

Таблица 15 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны – угрозы»

	Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4
	У1	+	+	0	+
	У2	+	-	-	+

Таблица 16 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны – возможности»

	Слабые стороны проекта			
		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	+	+	+
	В2	0	0	-
	В3	+	+	+

Таблица 17 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны – угрозы»

	Слабые стороны проекта			
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	0	0	-
	У2	+	+	+

Применение источника питания на литий-ионных аккумуляторах для рудничных электровозов целесообразно. Достоинства превосходят недостатки, к тому же имеются возможности по улучшению проекта.

4.2. Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

1. Цели и результат проекта. В данном разделе приведена информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Эта информация представлена в табличной форме (таблицы 18 и 19).

Таблица 18 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Горнодобывающие выработки и шахты	Получение эффективного транспорта для персонала и полезных ископаемых
Заводы производящие рудничные электровозы	Получение эффективного оборудования для измельчения угля

Таблица 19 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка источника питания для рудничного электровоза, который будет эффективнее, экономичнее и выгоднее конкурентов
Ожидаемые результаты проекта:	Получение источника питания для рудничного электровоза, который будет эффективнее, экономичнее и выгоднее конкурентов

Окончание таблицы 19

Критерии приёмки результата проекта:	Работоспособность разработки, ее эффективность, безопасность, экономичность
Требования к результату проекта:	Требование:
	Работоспособность
	Эффективность
	Безопасность
	Экономичность

2. Организационная структура проекта. На данном этапе работы решаются следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определяются роли каждого из участников и их трудозатраты в проекте. Эта информация представлена в табличной форме (таблица 20).

Таблица 20 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Клади́ев С.Н., ТПУ, доцент	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта	660
2	Спицына Л.Ю. ТПУ, доцент	Эксперт проекта	Отвечает за реализацию раздела «Финансовый менеджмент» в проекте	330
3	Фех А.И. ТПУ, старший преподаватель	Эксперт проекта	Отвечает за реализацию раздела «Социальная ответственность» в проекте	330
4	Копнов А.О. ТПУ, студент	Исполнитель по проекту	Специалист, выполняющий отдельные работы по проекту	3060
ИТОГО:				4380

3. Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта.

Таблица 21 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	Не менее 300 000 руб.
Источник финансирования	Тендер
Сроки проекта	1.09.2019-1.06.2020
Дата утверждения плана управления проектом	10.01.2019
Дата завершения проекта	25.05.2020
Прочие ограничения и допущения	-

4.3. Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1. Контрольные события проекта

При организации проекта необходимо оптимально планировать сроки проведения работ. В таблице 22 определены ключевые события проекта, их даты и результаты.

Таблица 22 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания	10.01.2020	Бланк задания
2	Выбор направления проектирования	15.01.2020	Отчет
3	Разработка календарного плана	31.01.2020	Календарный план-график
4	Теоретические исследования	03.02.2020	Отчет
5	Практические исследования и разработки	15.02.2020	Графики, расчеты
6	Обобщение и оценка результатов	30.04.2020	Отчёт о результатах исследований

Окончание таблицы 22

7	Оформление расчетно-пояснительной записки	20.05.2020	Расчётно-пояснительная записка
---	---	------------	--------------------------------

4.3.2. Планирование НИР

На данном этапе составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и оптимальная продолжительность.

Результатом планирования работ является календарный план, представленный в таблице 23, где исполнители: Р – руководитель, И – инженер (дипломник).

Таблица 23 – Календарный план проекта

№	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Исполнители
1	Составление и утверждение технического задания	5	10.01.2020	14.01.2020	Р
2	Подбор и изучение материалов по теме	10	15.01.2020	25.01.2020	И
3	Описание объекта проектирования	5	26.01.2020	30.01.2020	И
4	Разработка календарного плана	3	31.01.2020	02.02.2020	Р
5	Постановка задач проектирования	7	03.02.2020	09.02.2020	Р
6	Поиск схемных решений и разработка схемы источника питания на литий-ионных аккумуляторах	20	10.02.2020	29.02.2020	И, Р
7	Выбор электропривода, используемого на электровозе	15	01.03.2020	15.03.2020	И
8	Расчет и выбор элементов схемы источника питания	15	16.03.2020	30.03.2020	И
9	Создание математической модели двигателя электровоза	20	31.04.2020	19.04.2020	И, Р

Окончание таблицы 23

10	Оценка результатов	5	20.04.2020	24.04.2020	Р
11	Оценка экономической эффективности исследуемой технологии	10	25.04.2020	04.05.2020	И
12	Рассмотрение вопросов социальной ответственности	8	05.05.20	12.05.2020	И
13	Оформление пояснительной записки	12	13.05.2020	25.05.2020	И

Для иллюстрации календарного плана построим диаграмму Ганта, таблица 24 – календарный план-график проведения работ с разбивкой по месяцам и декадам, где ■ – руководитель, ▨ – инженер (дипломник). По диаграмме определено, что длительность работ в календарных днях руководителя проекта равняется 28 дней, а инженера 107 дней.

Таблица 24 – Диаграмма Ганта

№	Кол-во дней	Продолжительность выполнения работ														
		январь			февраль			март			апрель			май		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	5		■													
2	10			■												
3	5				■											
4	3				■											
5	7				■	■										
6	3					■										
	17						■	■	■	■						
7	15							■	■	■						
8	15								■	■	■					
9	5										■					
	15											■	■	■		
10	5												■			
11	10												■	■		
12	8													■	■	
13	12														■	■

4.4. Бюджет научного исследования

Научно-исследовательская работа была выполнена без специального оборудования и использования определенных материалов, поэтому в расчете бюджета НИР необходимо учитывать:

- затраты на амортизацию;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- страховые взносы;

- накладные расходы.

4.4.1. Основная заработная плата (компенсация трудовых затрат).

В этом разделе необходимо рассчитать основную заработную плату руководителя и проектировщика. Стоимость расходов на заработную плату определяется в зависимости от:

1. сложности работы;
2. существующей системы окладов и тарифных ставок.

Статья включает в себя: дополнительную заработную плату и основную заработную плату работников, включая премии, доплаты и т.д., непосредственно выполняющих НИР:

$$C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12÷20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя и исполнителя рассчитывается по следующей формуле (в качестве примера расчет зарплаты инженера):

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} = 969,8 \cdot 107 = 103768,6 \text{ руб}$$

где $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (из таблицы 9); $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле, руб.:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{E_\phi}$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{E_\phi} = \frac{22100 \cdot 10,4}{237} = 969,8$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot k_p$$

$$Z_m = Z_{mc} \cdot k_p = 17000 \cdot 1,3 = 22100$$

где Z_{mc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска); М – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней – М = 10,4 месяца, 6- дневная неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно- технического персонала, раб. дн. (табл. 25).

Таблица 25 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер (дипломник)
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: <ul style="list-style-type: none"> выходные дни и праздничные дни 	66	66
Потери рабочего времени: <ul style="list-style-type: none"> отпуск и невыходы по болезни 	62	62
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	237

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 26.

Таблица 26 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_{mc} , руб	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	35 000	1,3	45 500	1 996,6	28	55 904,8
Инженер (дипломник)	17 000	1,3	22 100	969,8	107	103768,6
Итого:						159673,4

4.4.2. Дополнительная заработная плата.

Данная статья включает сумму выплат, предусмотренных законодательством о труде, таких как: оплата отпусков, выплата вознаграждения за выслугу лет, отклонение от нормальных условий труда и т.п.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп}$$

Для руководителя: $Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп} = 55904,8 \cdot 0,15 = 8385,7$ руб

Для инженера (дипломника): $Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп} = 103673,4 \cdot 0,15 = 15551$ руб

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным $0,10 \div 0,15$).

В таблице 27 приведена форма расчета основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 27 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер (дипломник)
Основная зарплата, руб.	55 904,8	103768,6
Дополнительная зарплата, руб.	8385,7	15551
Зарплата, руб.	64290,5	119319,6
Итого по статье $C_{зп}$, руб	183 610,1	

4.4.3. Отчисления на социальные нужды.

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп})$$

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

-Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	55 904,8	8385,7
Инженер (дипломник)	103768,6	15551
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Отчисления во внебюджетные фонды		
Руководитель	17443	
Инженер (дипломник)	32336	
Итого по статье $C_{внеб}$	49779	

4.4.4. Прочие расходы.

Расчет стоимости материальных затрат на прочие расходы производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В эту же статью включаются затраты на оформление документации. Результаты по данной статье представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные материалы

Наименование	Затраты на материалы, руб.
Канцелярские товары	700

$$C_{np} = 700 \text{ руб}$$

4.4.5. Накладные расходы.

Затраты организации: печать и копии материалов исследований, оплата электроэнергии, оплата услуг связи и интернета и тд., - не попавшие в предыдущие статьи расходов, являются накладными расходами. Их размер

определяет с помощью следующей формулы ($k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, принят 15%):

$$C_{накл} = k_{накл} (З_{осн} + З_{доп})$$

Для руководителя: $C_{накл.руководителя} = k_{накл} (З_{осн} + З_{доп}) = 0,15(64290,5) = 9643,6$ руб

Для инженера (дипломника):

$$C_{накл.инж} = k_{накл} (З_{осн} + З_{доп}) = 0,15(119319,6) = 17897,9 \text{ руб}$$

Итого: $C_{накл} = C_{накл.руководителя} + C_{накл.инженера} = 9643,6 + 17897,9 = 27541,5$ руб

4.4.6. Амортизация

Расчет амортизационных отчислений для полного восстановления основных фондов производится по нормам амортизации, утвержденным в порядке, установленном действующим законодательством, и определяется в зависимости от стоимости оборудования. Проектирование требует наличие оборудования:

Компьютер - 40000 рублей.

$$И_{ам} = \frac{T_{ис.}}{T_{г}} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \cdot C_{обор}$$

где $T_{ис.}$ - время использования оборудования – 60 дней;

$T_{г}$ - количество использования в год – 365 дней;

$C_{обор.}$ - стоимость оборудования – 40000 рублей;

$T_{сл.}$ - срок службы оборудования – 3 года.

Пример расчета:

$$И_{ам} = \frac{87}{365} \cdot \frac{1}{3} \cdot 40000 = 3178 \text{ рублей.}$$

4.4.7. Полная смета затрат

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ. Полная смета

затрат приведена в таблице 30

Таблица 30 – Полная смета затрат

Наименование статьи	Затраты, руб.
1. Заработная плата	183 610,1
2. Отчисления во внебюджетные фонды	49 779
3. Прочие расходы	700
4. Накладные расходы	27 541,5
5. Амортизация	3178
Бюджет проекта	264 808,6

Таким образом, в этом разделе работы проведено технико-экономическое исследование:

- составлена структура работы и на ее основе проведены расчеты сложности НИР, а также ее бюджет;
- рассчитан бюджет затрат НИР, который составил 264808,6 руб.

4.5. Определение ресурсной и экономической эффективности исследования

Ресурсоэффективность – это интегральный критерий ресурсоэффективности и определяется по формуле:

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

где: I_{pi} - интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i - весовой коэффициент проекта;

b_i - балльная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 31 – Ресурсоэффективность

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Удобство в эксплуатации	0,2	5
2. Надежность	0,2	4
3. Безопасность	0,15	4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	4
5. Энергоэкономичность	0,25	5
Итого:	1	22

Таким образом, интегральный показатель ресурсоэффективности для проекта равен:

$$I_{pi} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 = 4,45$$

В данном пункте проведена оценка ресурсоэффективности исследуемого проекта, в результате получили оценку (4,45 из 5), что говорит об эффективности его реализации.

Оценить экономическую эффективность предлагаемого решения - крайне сложная задача, потому что, потребитель не имеет на данный момент аналогов применения источника питания подобного разрабатываемому.

Таким образом, цель раздела достигнута, поставленные задачи выполнены:

С помощью карты сегментирования была проанализирована перспективность применения источника питания на литий-ионных аккумуляторах для рудничных электровозов;

Анализа конкурентных технических решений показал правильность выбора типа аккумуляторных батарей для источника питания;

Оценив факторы, влияющие на проект, с помощью SWOT- анализа был сделан вывод о целесообразности осуществления проекта;

Разработана структура проектной работы, в результате были определены лица, осуществляющие проектирование: руководитель и инженер. Определена трудоемкость выполнения проектной работы, в результате длительность работ в календарных днях руководителя проекта равняется 28 дней, а инженера 107 дней. Составлена смета проекта, которая составила 264808 рублей, складывающаяся из расходов на заработную плату работников (183610 руб.), отчисления во внебюджетные фонды (49779 руб.), материальные расходы (700 руб.), амортизацию (3178 руб.) и накладные расходы (27541 руб.).

Интегральный показатель ресурсоэффективности, равен 4,45 по 5 – бальной шкале. Такой результат говорит о том, что данный проект будет эффективным.

Таким образом, установлено, что проект отвечает необходимым требованиям в области ресурсоэффективности. Является конкурентоспособным и привлекательным с экономической точки зрения.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Цель разработки раздела «Социальная ответственность» – принятие проектных решений, выполнение которых позволит исключить несчастные случаи и профессиональные заболевания на производстве, обеспечить максимальное снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, к тому же позволить экономно расходовать ресурсы.

Изучение этих вопросов отвечает требованиям, предъявляемым международным стандартом ICCSR-26000:2011 «Социальная ответственность организации» к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым принимаются указанные проектные решения технического, организационного и правового характера.

В данном разделе будет рассматриваться рабочее место инженера (дипломника). Рабочее место находится в лаборатории 139 8-го корпуса НИ ТПУ. Площадь помещения составляет 30 м², имеет 2 рабочих места, одно окно, одну дверь. Разработка источника питания осуществляется при помощи персонального компьютера.

В процессе разработки инженер (дипломник) подвергается целому ряду различных факторов, влияющих на его здоровье. Совокупность всех факторов, влияющих на здоровье человека, называется условиями труда.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовые нормы трудового законодательства изложены в документе «Трудовой кодекс Российской Федерации». Согласно данному документу, виды специальных норм трудового права представляют собой следующее:

- Нормы-льготы, предоставляют дополнительные гарантии трудовых прав;

- Нормы-приспособления, подстраивают общие нормы к данным условиям труда;
- Нормы-изъятия, ограничивают общие права.

Особенности трудового законодательства, применительные к условиям выполнения исследовательской деятельности, изложенного в данной работе, дифференцируются в соответствии с условиями труда: тяжесть и вредность труда, климатические условия, прочие особенности труда.

Согласно «ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [14], место для работы за ПК и взаиморасположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. При компоновки рабочей зоны инженера следует учитывать следующие организационные мероприятия:

- обеспечить высоту рабочей поверхности в пределах 680-760 мм, высоту поверхности с клавиатурой примерно 650 мм;
- рабочее место с ПК, при работе, вызывающей значительное умственное напряжение, рекомендуется изолировать перегородками от других работников в помещении;
- конструкция рабочего стола должна позволять осуществить оптимальное расположение необходимых предметов труда и оборудования, согласно требованиям, предъявляемым к рабочему процессу.

Таким образом, рабочее место инженера (дипломника) соответствует приведенным выше стандартам.

5.2. Производственная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов используется ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [15]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 32.

Таблица 32 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1. Микроклимат	-	+	+	Методы контроля запыленности рудничной атмосферы прописаны в ГОСТ Р 55175-2012
2. Производственная вибрация и шум	+	+	+	Производственная вибрация устанавливается СН 2.2.4/2.1.8.566-96 и ГОСТ 12.1.012-9.
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	Звуковое давление нормируется санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 и ГОСТ 12.1.003-83.
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	СП 52.13330.2016, ГОСТ Р 55733-2013 Естественное и искусственное освещение. ПУЭ, утвержденный министром энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7. Пожарная безопасность регламентируется ГОСТ 12.1.004-91, ГОСТ 12.1.010-76

Ниже, в соответствии с последовательностью факторов, рассмотрим их подробно.

5.2.1. Микроклимат

Важным условием здорового и высокопроизводительного труда является обеспечение чистоты воздуха и нормальных метеорологических условий в помещении, устранение таких вредных факторов как пыль, газы, пар, избыточное тепло и влага.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура воздуха в помещении, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников. Эти параметры в комплексе и по отдельности влияют на организм человека, регламентируются в ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда [16].

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата представлены в таблице 33.

Таблица 33 - Оптимальные и допустимые нормы микроклимата

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, t°С	Относительная влажность воздуха, φ%	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин t° _{опт}	Диапазон выше оптимальных величин t° _{опт}			Если t° < t° _{опт}	Если t° > t° _{опт}
Холодный	Іб	19,0 - 20,9	23,1 - 24,0	18,0 - 25,0	15 – 75	0,1	0,2
Теплый	Іб	20,0 - 21,9	24,1 - 28,0	19,0 - 29,0	15 - 75	0,1	0,3

Для поддержания параметров микроклимата используются: отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха производственных помещений. В

рассматриваемой в данном разделе лаборатории соблюдаются установленные нормы микроклимата.

5.2.2. Производственная вибрация и шум

Вибрации по воздействию на организм человека, принято разделять на локальную и общую. Локальная оказывает воздействие на конкретный орган работника, общая – на весь организм. Локальная вибрация, при длительном воздействии на работника, способствует развитию у работника заболеваний, например, болезней суставов рук. Общая вибрация, при длительном воздействии может привести к развитию сердечно-сосудистых заболеваний, заболеваний нервной системы.

Предельно допустимый уровень вибрации - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Для оценки вибрации пользуются относительными уровнями виброскорости и виброускорения, выражаемыми в децибелах (дБ):

$$L_v = 20 \log\left(\frac{V}{5 \cdot 10^{-8}}\right), \text{дБ} - \text{виброскорость},$$

$$L_a = 20 \log\left(\frac{a}{1 \cdot 10^{-6}}\right), \text{дБ} - \text{виброускорение [17]}.$$

Шум является одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов, который создается внутренним оборудованием, а также шумом, проникающим в помещение снаружи. Шум оказывает раздражающее действие, ускоряет процесс утомления, ослабляет внимание и замедляет психические реакции. По этим причинам сильный шум в условиях

производства может способствовать возникновению травматизма, так как на его фоне не слышно сигналов транспорта и технологического оборудования. Вредные последствия шума выражены тем больше, чем сильнее шум и продолжительнее его действие. Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий уровни звука и эквивалентные уровни звука, не должны превышать 80 дБ.

Для защиты от шума по СанПиН [2.2.4/2.1.8.562 – 96] и вибрации по СанПиН [2.2.4/2.1.8.566 – 96] предусматриваются [18]:

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

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удастся. СИЗ включают в себя противοшумные беруши, наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

В рассматриваемой лаборатории, источник шума и вибрации – персональный компьютер, однако его уровень шума и вибраций составляет 30-50 дБ, что не превышает установленных нормой 80 дБ.

5.2.3. Освещение

Освещение можно разделить на три вида – искусственное, естественное, совмещенное (искусственное и естественное вместе).

Основной нагрузкой, при работе с ПК является зрительная усталость. Утомляемость зрительного аппарата зависит не только от качества и

контрастности изображения на экране монитора, но и от общей освещенности рабочего помещения.

Естественное освещение помещений осуществляется посредством проникновения дневного света через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях. Главной особенностью естественного освещения является его изменчивость в широких диапазонах в зависимости от времени дня и года, ряда других факторов. Естественное освещение в лаборатории – боковое, от одного окна.

Искусственное освещение используется с целью проведения работ в темное время суток, а также в дневное время, при условии невозможности обеспечить нормированное значение коэффициента естественного освещения. В лаборатории применяют электрические люминесцентные светильники в количестве 6 штук, размер каждого составляет 60×60 см, которые располагаются над рабочими поверхностями равномерно [19].

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. [20]

При работе в помещении, где установлен компьютер, следующие требования: общая освещенность должна быть не ниже 300лк, а комбинированная – 750 лк; схожие требования распространяются на выполнение зрительных работ средней точности 200 и 300лк соответственно.

В рассматриваемой лаборатории полностью выполняются все требования по освещенности.

5.2.4. Поражение электрическим током

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и

индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) [21], рассмотреть следующие вопросы:

- 1) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- 2) требования к электрооборудованию;
- 3) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- 4) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- 5) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [22-25].

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

5.3. Экологическая безопасность

Вопрос экологии в современной промышленности очень важен.

Факторами загрязнения окружающей среды при работе в лаборатории являются:

- бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещения, при пользовании водопроводом, туалетом. Такие отходы сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях;

- бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки лабораторного оборудования). В лаборатории размещены мусорные контейнеры, которые затем вывозят специализированные службы.

- отработанные люминесцентные лампы, которые утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [26]

- офисная техника, утратившая потребительские свойства. ПК передают специальным службам для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах

5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможным чрезвычайным происшествием в случае некорректной работы или использования персонального компьютера является пожар.

Согласно [27], в зависимости от характеристики используемых в производстве помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможными причинами загорания являются:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике делятся на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

К организационным мероприятиям относятся: правильная эксплуатация оборудования; противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение персонала правилам противопожарной безопасности и другие.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям можно отнести: установление правил организации работ; соблюдение противопожарных норм. Для предотвращения возникновения пожара персонал должен знать и следовать правилам пожарной безопасности.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – телефон 112;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Вывод по разделу

В результате выполнения раздела ВКР «Социальная ответственность» были проанализированы вредные и опасные факторы, возникающие в процессе работы в лаборатории.

Были приведены необходимые нормированные документы обеспечивающие безопасную работу персонала. Описано действие факторов на организм человека, рассмотрены средства коллективной и индивидуальной защиты от данных факторов. Рассмотрены вопросы защиты окружающей среды.

Также были рассмотрены вопросы по наиболее вероятной ЧС – пожару и, а именно – требования по противопожарной безопасности, меры профилактики, а также действия персонала в случае ЧС.

Были предложены основные меры по профилактики и ликвидации воздействий пагубных факторов на организм человека. Отталкиваясь от всего вышесказанного в данном разделе, можно прийти к выводу, что, с точки зрения эффективности трудовой деятельности работника, правильная организация рабочего места играет важную роль. Безопасные условия труда способствуют повышению эффективности и производительности работ инженера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы являлась разработка источника питания для рудничных электровозов. Особенностью схемы является применение литий-ионных аккумуляторов, обладающих рядом преимуществ перед типами аккумуляторов, применяемых ранее. Так, например, использование литий-ионных аккумуляторов позволяет снизить вес применяемых аккумуляторов с 9 тонн до 1,5 тонн.

Также использование суперконденсаторного модуля, как накопителя энергии при рекуперативном торможении тяговых асинхронных двигателей.

Разработана схема источника питания, а также рассчитаны и выбраны по каталогу элементы устройства.

В программе Mathcad были рассчитаны параметры асинхронного тягового двигателя, используемого на электровозе и построены его механические характеристики.

В программе *MatLab Simulink* собрана схема источника питания с одним тяговым двигателем. По результатам моделирования видно, что ранее рассчитанные параметры двигателя, такие как ток, скорость вращения и крутящий момент совпадают, что доказывает работоспособность схемы.

В схеме не рассматривались режим рекуперативного торможения и заряда/разряда суперконденсаторного модуля и аккумуляторной батареи.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Копнов А.О., Никитин И.В.; науч. рук. С. Н. Кладиев // Энергетика и энергосбережение: теория и практика сборник материалов III всероссийской научно-практической конференции. — Кемерово : Изд-во КузГТУ , 2017 . — [4 с.] .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вильнин А.Д. Двухдвигательный частотно-управляемый тяговый электропривод подземного электровоза с эффективным управлением : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : спец. 05.09.03 / А. Д. Вильнин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; науч. рук. С. Н. Кладиев. — Защищена 19.12.2018 г.. — Томск: [Б. и.], 2018. — 178 л.: ил.. — Библиогр.: с. 153-163 (85 назв.)..

2. Локомотивный транспорт [электронный ресурс] Режим доступа: tst.nmu.org.ua/ua/Lokom_tran.doc (дата обращения: 20.05.2018).

3. Сидоров Н.И., Сидорова Н.Н..Как устроен и работает электровоз. — 5-е изд. перераб.и доп. — М.: Транспорт,1988 — 223с

4. Д.В. Волков, Ю.П. Сташинов. К вопросу о применении асинхронного частотно-регулируемого привода на рудничном электровозе,2005.

5. Электрические машины и преобразователи подвижного состава; Учебник для студ. учреждений сред.проф.образования / А.В.Грищенко, В.В.Стрекопытов. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 320с.

6. Д.В. Волков. Реализация рациональной тяговой характеристики рудничного электровоза средствами асинхронного частотно-регулируемого электропривода,2009.

7. Ferrit Global Mining Solutions [электронный ресурс] : - Czech Republic, — Режим доступа: <http://ferrit.cz/ru/produkty/narocvennyj-transport>, свободный. — Ferrit Rail (Дата обращения: 20.05.2018).

8. Великолукский завод щелочных аккумуляторов. Режим доступа: http://www.akbluki.ru/content/catalog/VZCSHA_2011_300311_small.pdf. (Дата обращения: 26.05.2018).
9. ООО «Лиотех» – производитель литий-ионных аккумуляторов. Режим доступа: <https://www.liotech.ru/products/akkumulyatory/>. (Дата обращения: 26.05.2018).
10. Суперконденсаторы ФЕНИКС каталог суперконденсаторов. Режим доступа: <https://www.ultracapacitor.ru/catalog/superkondensatory-feniks/> (Дата обращения: 26.05.2018).
11. Mouser Electronics, 1964-2018 Менсфилд. Электронный каталог электронных компонентов. Режим доступа: <http://eu.mouser.com> / . (Дата обращения: 20.05.2018).
12. «Пульсар Лимитед». Электронный каталог. Режим доступа: https://pulsar.kiev.ua/ustroystvo_zaryadno-pitayuschee_uzps_24-140. (Дата обращения: 20.05.2018).
13. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о асинхронных двигателях URL: <http://www.sibelektromotor.ru/news/pdf/SibMotor-instr-Pch.pdf>
14. ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования
15. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
16. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда.
17. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы
18. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки

19. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.:Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
20. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
21. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
22. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
23. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. «Обучение работающих безопасности труда».
24. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Защитное заземление, зануление»
25. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».
26. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681« Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств ».
27. СП 12.13130.2009. «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

Приложение А

Power source of electric mine locomotives

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Копнов Алексей Олегович		

Консультант кафедры ОЭЭ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев Сергей Николаевич	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ОИЯ ШБИП :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пташкин Александр Сергеевич	к.ф.н.		

INTRODUCTION

Rail underground electric transport has become widespread in the mining industry. Because it has high efficiency when delivering materials and people on long distances. The operation of electrical equipment and electrical machines at long distances from the power source is a feature of this industry.

Electric locomotives powered by batteries or underground contact system are equipped with an electric drive. Battery electric locomotives used by coal mines due to methane explosion threat. Electric locomotives with contact traction are used in ore mines.

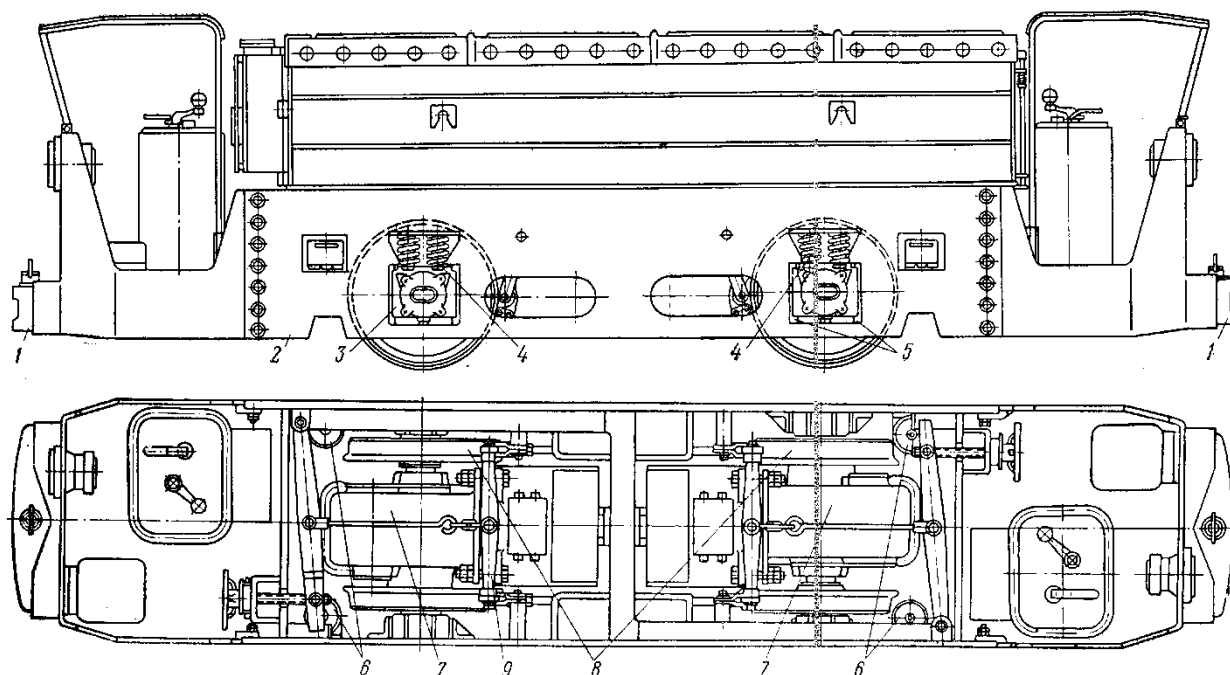
Weight-size parameters of batteries are very important for battery electric locomotives because it affect his control of torque during starting. Batteries have high weight. As a result, the weight of the electric locomotive becomes large and the process of touching the electric locomotive is deteriorated.[1]

General information on mine electric locomotives

A mine electric locomotive is a locomotive with electric traction motors. According to the method of power supply, electric locomotives are: battery, contact, combined. Electric locomotives can operate at both DC and AC. There are also electric locomotives of different design, for example, mine normal design or mine design of increased reliability, as well as explosion-proof design.

Traction batteries are installed on electric locomotives, through which electric locomotives are powered.

Schematic arrangement of this type of electric locomotives is shown in Figure 1.



Scheme 32. Schematic arrangement of battery electric locomotives: 1 – buffer and coupling device; 2 – frame with cabin; 3 – journal box; 4 – leaf spring; 5 – jaw; 6 – sand system; 7 – traction transfer; 8 – undercarriage; 9 – brake gear. [2]

Electric locomotives include the following equipment: traction motors with their control equipment, as well as equipment for protection of power circuits, starting resistances, lighting equipment, auxiliary equipment, electrical wiring.

All electric locomotive equipment can be divided into three parts: mechanical, electric and pneumatic.

The mechanical part of the electric locomotive includes bogies and body. Bogie consists of frame, wheelset with boxes, suspension of traction motors, traction gear, lever-brake gear, spring suspension. Body is fixed by special support or spring on trolleys. Wheelsets are connected with bogie frames by springs and boxes. The use of springs makes it possible to wear out less to the equipment of the electric locomotive due to the decrease in the force of shocks that the electric locomotive receives when it passes along an uneven path.

Wheelsets of electric locomotives are driven by motors called traction motors. Shafts of motors are connected with axles of wheelsets by reduction gears. Each wheelset is driven into rotation by its traction motor.

An individual traction drive was widely used in which each wheelset is driven by its traction motor.

Group drive is also selected – one traction motor with the help of reduction gear drives, for example, two wheel pairs. However, the characteristics of such a drive (technical and economic) are significantly lower than those of individual-drive electric locomotives and their production is not feasible.

Traction induction motors are the main electric part of the electric locomotive, however, also should not forget about other such parts. These devices perform important functions, such as starting motors, changing the speed and direction of the electric locomotive.

Artificial cooling system on electric locomotive is represented by fan. They serve to cool the power part of the electric locomotive.

Compressors installed on electric locomotive allow to control pneumatic brakes.

Electric equipment operating under high voltage consists of two electric high-voltage circuits – power circuit, which includes traction motors, starting and regulating equipment, and circuit of auxiliary machines together with its equipment. Low-voltage electric devices, thanks to which power and auxiliary circuit devices are controlled, are combined with a control circuit.

The main device of the control circuit is the driver controller, which is located in the driver's cabin together with some other low-voltage electric devices.

Pneumatic equipment of electric locomotive includes compressors, tanks for compressed air, pipelines and pneumatic drives of electric vehicles.

The electric locomotive must have automatic and manual brakes.

This work describes the power supply for electric locomotive of battery DLPA44F, Czech company Ferrit, which is an analogue of domestic electric locomotive ARP-14. Weight of electric locomotive 14 tons [3].

It is intended for transportation of material or people in a horizontal excavation on a railway line with a width of track of 550-900 mm with a max. tilt angle of a way of 35%.

Traction induction motor

For locomotive transport, as for any other type of transport, it is important to improve economic performance.

For a long time, the basis of contact and battery mine electric locomotives was DC collector motors. These motors, as a result of development, have reached a limit in the conversion of DC electric energy into mechanical energy.

The main reasons for the widespread use of DC drive in underground transport were:

- Theoretical prerequisites for the use of this type of traction electric drive and experience of its application in urban electric transport, railway intercity communication are based on the unified principle of its design, which contributed to its extremely wide distribution;

- DC power supply system based on traction rectifier substations was most suitable for rail drives;

- As a source of electric power for underground transport, either DC trolleys with a movable contact for energy removal were used when the requirements for natural safety in mines were low or, in the presence of explosive gases in underground workings, large-capacity batteries were used, which precluded the use of DC series-driven motors and limited the use of other types of electric motors.

The main disadvantages inherent in existing DC electric drive systems are:

- Low reliability and, as a result, rather high operating costs;

- Established practice of implementation of traction motor control systems, leads to increased energy losses in dynamic operating modes and requires application of algorithm for working out perturbing effects when changing movement modes;

- Technological lag of domestic underground rail transport from the level of foreign companies producing equipment for underground works.[4]

Improvement of economic performance of locomotive transport is possible due to reduction of specific consumption of electric power by means of electric drive. One of the promising directions of this task is to equip mine electric locomotives with an asynchronous frequency-controlled drive.

Unlike the DC collector motors, the induction motor design lacks a complex collector-brush assembly as well as a more convenient cooling system.

For a locomotive traction motor, there are certain requirements, for example, the possibility of controlling the speed in a wide range.

Also an important condition in the use of the drive is the control of torque in a wide range, namely the formation of a rational traction characteristic.

It is necessary that the engines installed on the electric locomotive create the necessary moment when the locomotive is touched and at other changes of the movement.

The use of induction traction motor makes it possible to successfully solve this problem.

Three-phase induction motors are the most common. Their advantages include: prostate of device and maintenance, high reliability at relatively low cost, simple start-up.

The main method of controlling the speed of a rolling stock having a traction asynchronous electric drive is to control the speed by changing the frequency of the supply voltage. The control in this case is based on the change in the frequency

of rotation of the magnetic field of the stator and is carried out smoothly and within wide limits.

In an induction drive, by appropriately programming the control system, it is possible to obtain a traction characteristic of almost any shape.

The induction motor has a rigid mechanical characteristic favorable for traction drive in terms of traction force realization. Thus, it is possible to obtain a traction characteristic using the natural mechanical characteristic of the engine, only to comply with an important condition, namely, to place it within the permissible region of existence of the traction characteristics.

Battery, filters, protective elements, converter, asynchronous motors together form power part. Converter allows to obtain alternating voltage at motor mode of asynchronous motors operation, and at recuperative braking constant voltage.

An important issue in the use of a converter unit is the use of individual converters for each of the two motors or the use of one common converter for both motors.

When comparing the two methods using a converter device, it is more promising to use individual inverters to power each motor, since the losses in the converter in this case are distributed to two devices, which simplifies their cooling (natural air cooling is desirable in mine conditions, while forced cooling is widely used in general industrial converters).

In the development of induction drive it is necessary to strive to use standard motors, or special ones developed on the basis of standard.

Batteries for power source

For electric locomotives, two types of batteries are mainly used: alkaline iron-nickel and acidic lead. However, iron-nickel locomotives have become the most widespread on battery locomotives, as they have higher strength, in case of short circuits they do not fail, they can be stored in a discharged state, they have a

longer service life. By battery capacity is meant the number of amp-hours given at discharge to a certain final voltage.

Nickel-iron batteries have an excellent cycle life and the system was preferentially used in mining locomotive-traction applications [5].

These batteries have a number of advantages:

- The design of the plugs provides a free release of gases, avoiding the possibility of explosion or deformation of the accumulator;
- Batteries remain operational after long recharging and deep discharges;
- Insulation for accumulators is a special rubber cover;
- Batteries have long service life and are reliable in operation.

The main element of the power supply source of the mine electric locomotive is the battery. The nickel-iron battery is discussed in detail above, but lithium-ion batteries are gaining popularity in the current decade.

Today, lithium-ion is the fastest growing and most promising battery chemistry [6].

Lithium-ion batteries are universal chemical sources of current, characterized by light weight, low self-discharge. They do not require maintenance and are completely safe to use if operating regulations are observed. The most common classes of Li-Ion batteries are lithium manganese LiMn_2O_4 , cobalt lithium LiCoO_2 , lithium ferro phosphate LiFePO_4 . The many advantages of lithium batteries provided them with good expert grades and high popularity in the equipment of portable and autonomous electrical engineering, where special requirements are placed on the compactness and ergonomicity of battery. Lithium-ion batteries also have disadvantages, but they are all compensated for by the high density of stored energy.

Advantages of Lithium-ion Batteries

Considering the advantages and disadvantages of lithium batteries, we will first highlight the positive qualities of such batteries:

- High density of accumulated energy and discharge currents;
- Output of higher voltage (compared to accumulators of NiCd and NiMH types);
- Continuous readiness for effective operation;
- Minimum self-discharge – 4-6% per month, 10-20% per year;
- Absence of "memory effect" – possibility of regular small recharging;
- Absence of necessity in "training" after purchase – fully charge, and then completely discharge lithium batteries after purchase is not necessary;
- Wide range of operating temperatures – from -20 to 50 ° C;
- Efficient storage of accumulated energy loss of not more than 5% of accumulated capacity per month; Possibility to create Li-Ion batteries of various shapes and sizes;
- Lightweight;
- Possibility of long-term storage under the conditions recommended by the manufacturer; Minor aging without regular operation – up to 20% per year;
- Long operating life about 10 years;
- Significant reserve of working cycles discharge-charge more than 1000;
- Ease of care and use.

Disadvantages of Li-Ion of accumulators

The downsides of lithium ion batteries are as follows:

- High cost;
- Low resistance to excess charge and full discharge, so smart Li-Ion batteries are equipped with built-in automatic shutdown systems;
- Non-limiting range of operating temperatures (-20 to 50 C) deterioration of operation at high temperatures, decrease of capacity when used in frost;
- Difficulty of charging at negative temperatures;
- Explosion hazard in case of puncture damage or other leak failure;

- Dependence of service life on time, rather than on the number of discharge and charging cycles, over time there is a gradual loss of capacity.

It is relevant to create a power supply for battery electric locomotives on lithium-ion batteries.

Regenerative braking

Regenerative braking is the type of electric braking in which electric power generated by traction motors operating in generator mode is returned to the electrical network.

The induction motor, like all electrical machines, is reversible. This means that it can operate both in engine mode, doing some useful work, and in generator mode – generating electric power.

Regenerative braking is also possible on mine electric locomotives. In the case of contact mine locomotives, everything is simple. Regenerative braking energy is given back to the network.

However, in the case of battery electric locomotives, this is much more complicated. Since it is impossible to directly drain energy into batteries.

There are several options where to direct regenerative braking energy, for example, to a braking resistor. In this case, the regenerative braking energy will be dissipated as heat. That is, energy in this case does no work.

Another option is to use an energy storage device, such as a supercapacitor. The regenerative braking energy can then be drained into the super capacitor.

Supercapacitors (ionizers) are ultra-high-capacity capacitors with a double electric layer. The ionizers has a unique feature. It combines the ability to have more power and energy.

The main advantage of the supercapacitor is the ability to acquire and give charge in fractions of seconds, withstanding a large number of charging and discharging without loss of operational properties.

So regenerative braking energy can then be reused. For example, to charge batteries through a charger.

Power source

During recuperative braking in contact electric locomotives, electric power is drained back into the contact network. However, for battery electric locomotives, it is not possible to drain energy into batteries as they will fail.

In order to reuse the recovery energy, it must be previously drained somewhere, for example, to a supercapacitor.

AC rectifier (AC-DC) and DC-AC converter (DC-AC) are used to provide operating mode of supercapacitor battery operation among units operating on AC current.

The charger is necessary to transfer regenerative current energy from the super capacitor to the battery.

The control system of diagnostics and monitoring ensures operation of the energy storage system in automatic mode on the basis of on-line analysis of information on current values of parameters of the devices of the energy storage system by forming control actions according to specified algorithms.

However, the existing solutions are aimed only at the use of a supercapacitor battery as a power source of on-board devices of cars and are not connected with the return of charge energy to the load.

The battery is not designed for the value of the current supplied to the source during braking, which in turn leads to a significant reduction in the service life of the latter. However, if the supercapacitor mentioned above is used, it is possible to control the energy supplied in the generator drive mode so that the charge current does not exceed the battery limit value.

CONCLUSION

The developed scheme allows to fully control the flows of energy, to coordinate the voltage of batteries and induction motors by its increase.

The use of lithium-ion accumulators allows to significantly reduce the weight of accumulators.

Regenerative braking energy enables effective use of electric energy

References

1. Kopnov A.O., Nikitin I.V. Booster for the underground electric transport [electronic resource]. Access mode: http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/46135/1/conference_tpu-2017-C45_p19-24.pdf (date of the access: 24.05.2020).
2. Locomotive transport [electronic resource]. Access mode: tst.nmu.org.ua/ua/Lokom_tran.doc (date of the access: 20.05.2020).
3. Ferrit Global Mining Solutions [electronic resource]. Access mode: <http://ferrit.cz/en/products/railbound-transport/accumulator-locomotives/dlpa44f> (date of the access: 31.05.2020).
4. Wilnin A. D. Two-engine frequency-controlled traction electric drive of underground electric locomotive with effective control: auto-reformat of thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences: special. 05.09.03/A. D. Wilnin; National Research Tomsk Polytechnic University; hands. S. N. Kladiev. – Tomsk, 2018. – 22 p.
5. Electrochemical energy storage [electronic resource]. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/nickel-iron-battery>. (date of the access: 31.05.2020).
6. Is Lithium-ion the Ideal Battery? [electronic resource]. Access mode: https://batteryuniversity.com/learn/archive/is_lithium_ion_the_ideal_battery (date of the access: 31.05.2020).