

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

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники
Профиль – «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПОДЗЕМНОГО КОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

УДК 622.683.002.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Никитин Илья Вячеславович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.	д.т.н., профессор		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Отделение электроэнергетики и электротехники	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭЭ ИШЭ	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., Доцент		

**Запланированные результаты обучения
профессиональные и общекультурные компетенции
по основной образовательной программе подготовки бакалавров
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,
«Электрооборудование и электрохозяйство предприятий,
организаций и учреждений»**

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественнонаучные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетических систем и сетей, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 3	Уметь проектировать электроэнергетические системы и электрические сети.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-3, ПК-4, ПК-9), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов электрических сетей энергосистем, а также энергосистемы в целом, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-12, ПК-14, ПК-15), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОПК-2, ПК-11, ПК-13, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в орга-	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ПК-17), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стан-

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	низациях – потенциальных работодателях.	дартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные</i>		
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетических систем.	Требования ФГОС (ПК-20, ПК-19, ПК-21), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в области электрических сетей энергосистем.	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-5, ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетических систем и сетей с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-8, ОК-9, ПК-3, ПК-4, ПК-10), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК-7, ОК-8), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Инженерная школа энергетики
Отделение Электроэнергетики и электротехники
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Профиль – «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ОЭЭ ИШЭ

_____ _____ Дементьев Ю.Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Никитину Илье Вячеславовичу

Тема работы:

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПОДЗЕМНОГО КОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02 2018г. № 645/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(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.).</i>	Спроектировать схему вольтодобавочного устройства для рудничного контактного электровоза на напряжение 75 В.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(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).</i>	Расчет и выбор элементов вольтодобавочного устройства.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ре- сурсосбережение	Калмыкова Екатерина Юрьевна	
Социальная ответственность	Панин Владимир Филиппович	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном язы- ках:		
Все разделы выпускной квалификационной работы написаны на русском языке.		

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
5Г4Б	Никитин И.В.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Никитину Илье Вячеславовичу

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение	ОЭиЭ
Уровень образования	Бакалавр	Направление	Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы (ПР): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Оклад руководителя - 37000 руб. Оклад инженера - 25000руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 30% районный коэффициент</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>30% отчисления на социальные нужды</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения ПР с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Планирование проектной работы</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение эффективности исследования</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>График Ганта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Екатерина Юрьевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Никитин Илья Вячеславович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Никитину Илье Вячеславовичу

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭиЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <p>1.1. <i>Вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения);</i></p> <p>1.2. <i>Опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы);</i></p> <p>1.3. <i>Негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу);</i></p> <p>а. <i>Чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера).</i></p>	<p>Горная выработка с главным объектом рассмотрения исследования –тяговым асинхронным электроприводом рудничного электровоза. Необходимо поддерживать:</p> <p>1.1. <i>Нормативных уровней вибрации и шума, запыленности воздуха;</i></p> <p>1.2. <i>Нормативных мер обеспечения электро-, пожаро- и взрывобезопасности;</i></p> <p>1.3. <i>Горная промышленность подразумевает собой добычу полезных ископаемых, вследствие чего происходит их истощение, а также загрязнение окружающей среды;</i></p> <p>1.4. <i>Наиболее вероятные ЧС: загорания (пожары) взрывы, электрический удар, например, при замыкании фазы питания на корпус асинхронной электрической машины при нарушенном его заземления.</i></p>
<p>2. <i>Ознакомление и отбор законодательных и нормативных документов по теме и отбор их.</i></p>	<p>ГОСТ Р 57717-2017. Горное дело. Безопасность в угольных шахтах. Термины и определения;</p> <p>ГОСТ Р 55175-2012. Атмосфера рудничная. Методы контроля запыленности;</p> <p>СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы;</p> <p>СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;</p> <p>ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204;</p> <p>ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность; Правила безопасности в угольных шахтах ПБ 05-618-03.</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <p>1.1. <i>Физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i></p> <p>1.2. <i>Действие фактора на организм человека;</i></p> <p>1.3. <i>Приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i></p> <p>1.4. <i>Предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</i></p>	<p>Вредные факторы:</p> <p>1. Шум;</p> <p>2. Вибрации;</p> <p>3. Недостаточная освещенность;</p> <p>4. Возможные ненормативные метеоусловия.</p>
---	--

<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <p>2.1. Механические опасности (источники, средства защиты);</p> <p>2.2. Термические опасности (источники, средства защиты);</p> <p>2.3. Электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</p> <p>2.4. Пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>	<p>Вся электрическая цепь помещения оснащена заземлительным контуром, выполненным в соответствии с ПУЭ от 08.07.2002, №204. Глава 1.7. – в соответствии с выполненным расчетом.</p> <p>Опасные факторы:</p> <p>2.1. Опасность электропоражения;</p> <p>2.2. Пожаровзрывоопасность.</p>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <p>3.1. Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</p> <p>3.2. Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</p> <p>3.3. Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).</p>	<p>По п.3.1.: оценить масштабы уменьшения выбросов ЗВ от возможной экономии электроэнергии на рабочем месте.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <p>4.1. Перечень возможных ЧС на объекте;</p> <p>4.2. Выбор наиболее типичных ЧС;</p> <p>4.3. Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.</p>	<p>Разработать мероприятия по предупреждению загораний и электропоражений и мер по ликвидации их последствий.</p>
<p>Перечень графического и инструктивного материалов:</p>	
<p>Обязательные графические материалы к расчётам по заданию (обязательно для специалистов и магистров).</p>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры ЭБЖ	Панин Владимир Филиппович	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Никитин Илья Вячеславович		

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

Инженерная школа энергетики
Отделение Электроэнергетики и электротехники
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Профиль «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»
Уровень образования Бакалавр
Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

В форме:

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ – ПЛАН
Выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом работы	15.06.2018г.
-----------------------------	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела модуля
11.04.2018 г	Выбор и расчет оборудования для силовой части вольтодобавочного устройства	
25.04.2018 г	Обоснование и выбор электропривода	
11.05.2018 г	Социальная ответственность	
14.05.2018 г	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
25.05.2018 г	Оформление пояснительной записки	

Составил преподаватель:

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

Согласовано:

Отделение электроэнергетики и электротехники	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭЭ ИШЭ	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., доцент		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 76 страниц, 18 рисунков, 14 таблиц, 15 источников.

Объектом выпускной квалификационной работы является изучение электрооборудования подземного контактного электровоза. Целью работы является обоснование использования, а также расчет и выбор элементов вольтодобавочного устройства.

В данной работе рассмотрены общие сведения об принципе работы и устройстве подземного контактного электровоза. Приведено теоретическое обоснование выбора тягового электродвигателя, а также выбор рода питающего тока. Обоснован выбор нестандартного двигателя. Проведен анализ условий и режимов работы подземного электротранспорта, в связи с чем сделан вывод о необходимости использования вольтодобавочного устройства (ВДУ) для тяжелых режимов работы электропривода. В результате был произведен выбор и расчёт элементов, входящих в состав устройства ВДУ.

В разделе "Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение" произведено планирование и формирование бюджета для проектирования вольтодобавочного устройства.

В разделе "Социальная ответственность" рассмотрены вопросы по обеспечению безопасности персонала и оборудования в горнодобывающей промышленности.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе *Microsoft Word 2007*, также в работе использовано ПО *MathCad 13*.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	12
1. ТЕХНОЛОГИЯ ОТКАТКИ ГРУЗОВ ПОСРЕДСТВОМ РЕЛЬСОВОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА	13
1.1. Локомотивная откатка грузов	13
1.2. Общие сведения об электровозах	14
1.3. Питание тяговых двигателей постоянным или переменным током.....	18
1.4. Асинхронный двигатель или двигатель постоянного тока.....	19
1.5. Требования, предъявляемые к тяговому электроприводу	21
1.6. Выбор нестандартного тягового асинхронного двигателя	24
2. ВОЛЬТОДОБАВОЧНОЕ УСТРОЙСТВО	28
2.1. Общие сведения о вольтодобавочном устройстве	28
2.2. Принцип действия вольтодобавочного устройства.....	30
2.3. Выбор и расчет элементов вольтодобавочного устройства	31
2.3.1. Расчет силового трансформатора	33
2.3.2. Инвертор высокочастотный	36
2.3.3. Выпрямитель высокочастотный	39
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	43
3.1. Планирование проектной работы.....	43
3.1.1. Структура работ в рамках научного исследования	43
3.1.2. Определение трудоёмкости работ	44
3.1.3. Разработка графика проведения проектирования	45
3.1.4. Бюджет проектирования.....	49
3.2. Формирование бюджета затрат проектной работы	53
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	54
4.1. Охрана труда.....	54
4.2. Вредные и опасные факторы	55
4.3. Защита окружающей среды	67
4.4. Профилактика чрезвычайных ситуаций	70
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	74
Список литературы	75

ВВЕДЕНИЕ

В горнодобывающей промышленности используется огромное количество машин и оборудования, которое предназначены для повышения безопасности и производительности труда, для обновления и удаления некоторых частей оборудования подземных тоннелей, регулирования и мониторинга частей технологических комплексов.

В частности, таким устройством является подземный контактный электровоз – это сложная техническая установка, состоящая из большого количества узлов и агрегатов. Сложность подразумевает не только высокую стоимость приобретения электровоза, также дорога и его эксплуатация.

Во многих отраслях современного производства, в частности в горнодобывающей промышленности, часто встает вопрос по улучшению технико-экономических показателей использования сложных и дорогих технических установок. Далее обосновывается использование нестандартного двигателя с напряжением питания, не входящим в список стандартных, а также применение статических преобразовательных устройств, предназначенных для преобразования энергии постоянного тока одного напряжения в энергию постоянного тока, но другого напряжения. Эти методы способствуют максимально рациональному использованию потенциала подземного контактного электровоза.

1. ТЕХНОЛОГИЯ ОТКАТКИ ГРУЗОВ ПОСРЕДСТВОМ РЕЛЬСОВОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

1.1. Локомотивная откатка грузов

Откатка грузов и перевозка людей поездами по рельсовым путям с использованием в качестве тягового средства локомотивов является основным видом подземного транспорта по горизонтальным и слабонаклонным выработкам угольных шахт.[1]

Осуществление оперативного руководства движением груженых, порожних и пассажирских составов осуществляется службой внутришахтного транспорта. Также в обязанности этой службы входит контроль за своевременной и бесперебойной подачей к рабочим участкам порожних вагонеток и вспомогательных грузов, своевременный осмотр и техническое обслуживание подвижного состава, троллейной линии, рельсовых путей, транспортного оборудования и откаточных выработок.

Главным документом, согласно которому организуется работа электровозной откатки, является технологический паспорт рудной шахты, в который входят:

- характеристика подвижного состава;
- расчет электровозного транспорта и масса состава для каждого горизонта;
- схемы рельсовых путей откаточных горизонтов, а также у мест погрузки и разгрузки;
- схема тяговой сети с указанием мест расположения питающих пунктов;
- инструкционно-технологические карты, регламентирующие порядок движения составов по откаточным выработкам, маневровые операции на пунктах погрузки и разгрузки;
- техническое обслуживание электровозов и вагонеток и др.

Если на рудной шахте присутствует большое количество пунктов погрузки, то движение в шахте организуют по принципу закрепления электровоза за определенным составом, при этом происходит протягивание состава электровозом в процессе погрузки и разгрузки. Плюсом использования такой организации движения является упрощение диспетчерского управления, минусом же является недостаточное использование электровозного парка. При условии малого числа относительно статичных пунктов погрузки тяговый электровоз не закрепляют за определенным составом. Происходит перемещение составов только на перегонах, вагонетки же при погрузке и разгрузке перемещаются посредством различных маневровых устройств. При таком виде организации повышается эффективность использования парка электровозов, но при этом же усложняется работа диспетчерской службы, а также требуется дополнительное маневровое оборудование (толкатели, лебедки, маневровые электровозы).

1.2. Общие сведения об электровозах

В горнодобывающей промышленности необходимым условием продуктивной работы с высоким показателем полезности является процесс своевременной транспортировки из рудника или шахты добытой породы, технологических установок и инструментов, а также персонала. Наиболее рациональным и эффективным способом обеспечить перемещение различных грузов – использование подземного контактного электровоза.

Подземный контактный электровоз – самоходное тяговое устройство, которое приводится в движение тяговыми электродвигателями и предназначено для перевозки материала или работников в горизонтальных горных выработках. Данный локомотив передвигается по рельсовому пути и получает энергию от внешнего источника питания через контактную сеть.

Классифицировать электровозы можно по многим параметрам, некоторые из них представлены ниже:

- сцепная масса – эта та масса груза, которая приходится на ведущие колеса электровоза;

- номинальное питающее напряжение сети;
- род тока и его номинальное значение;
- номинальная скорость передвижения;
- мощность используемых электродвигателей;
- максимальное тяговое усилие;
- ширина колеи;
- общая масса.

Электровозы имеют различное электрооборудование в зависимости от системы электрической тяги (от рода тока – постоянного или переменного), от системы регулирования тяговых электродвигателей, их числа и единичной мощности, от наличия и вида электрического торможения и т.д. Электровоз представляет собой очень сложную машину. Каждый из его узлов и аппаратов имеет определенное назначение. Согласованная работа этих узлов и аппаратов обеспечивается машинистом, который осуществляет управление локомотивом из кабины машиниста, которая оборудована элементами управления, контроля и безопасности и приборами, служащими для безопасного управления локомотивом.

Характеризуя конструкцию контактного электровоза, можно выделить следующие основные узлы и агрегаты (рисунок 1):

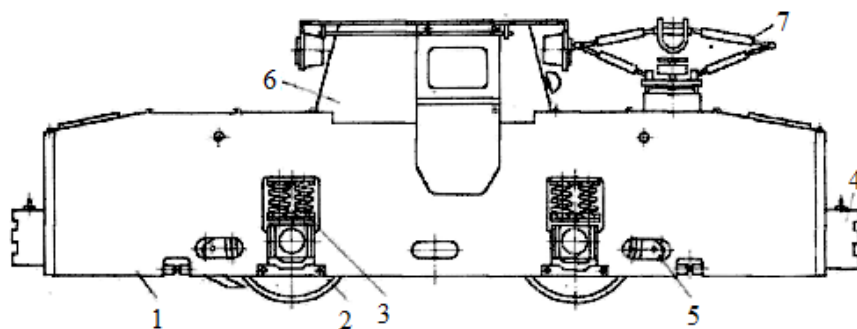


Рисунок 1. Схематическое устройство электровоза: 1) рама; 2) колесная пара; 3) рессорная подвеска; 4) сцепное устройство; 5) тормозная система; 6) кабина; 7) токоприемник

Рама электровоза – основная несущая часть. Локомотив можно разобрать на два монтажных узла (кабина машиниста и моторная часть) для облегчения его транспортировки в горную выработку.

Редуктор – устройство, предназначенное для передачи вращающего момента от шестерни, которая соединена с валом тягового электродвигателя, на колесную пару. Редуктор с одного конца зафиксирован на подшипнике качения, который установлен на втулке большого зубчатого колеса, с другой стороны закреплен с помощью кронштейна и подвески на раме тележки.

Колесная пара – основной элемент ходовой части электровоза. Колесная пара локомотива воспринимает нагрузку от электровоза и служит для направления движения состава по рельсам. Основными составляющими колесной пары являются ось, одно или два зубчатых колеса и колесные центры, которые напрессованы на ось с помощью гидравлического пресса. Колесные центры электровозов представляют собой диски с прорезями.

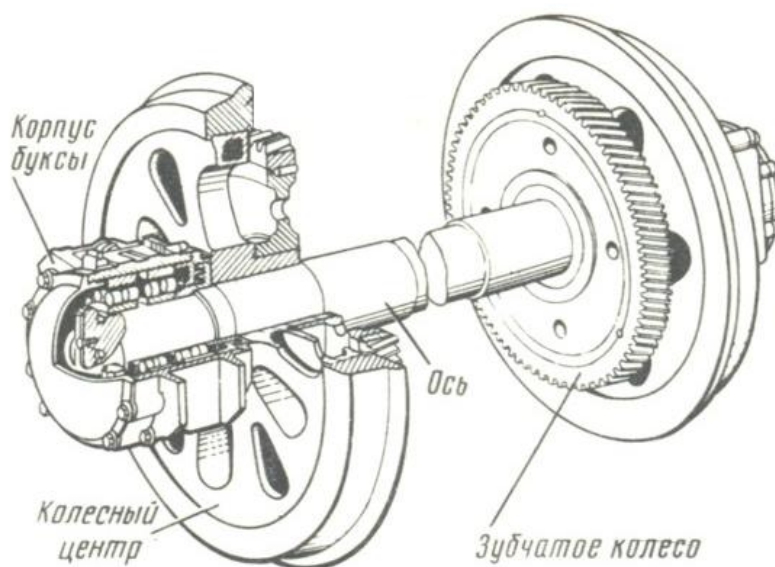


Рисунок 2. Колесная пара

Токоприемники – устройство, посредством которой силовая цепь электровоза с контактной сетью, в которую поступает электрическая энергия в которую поступает от внешнего источника питания (рисунок 3). В стационарных установках между токоприемником и контактным проводом элек-

трический контакт осуществляется в одной постоянной точке, здесь же точка контакта перемещается вдоль провода вместе с движением локомотива.

Условием, определяющим надежность работы токоприемника – обеспечение токосъема высокого качества, прежде всего является постоянное нажатие токоприемного устройства на контактный провод – скользящий контакт будет тем надежней, чем больше нажатие. Однако, обеспечение большого нажатия может привести к увеличению механического износа провода и контактного устройства токоприемника. С другой стороны недостаточное нажатие зачастую приводит к искрению или к образованию электрической дуги, эти факторы вызывают электрический износ поверхностей проводов и токоприемника в следствие чего происходит возникновение помех в различных линиях связи.

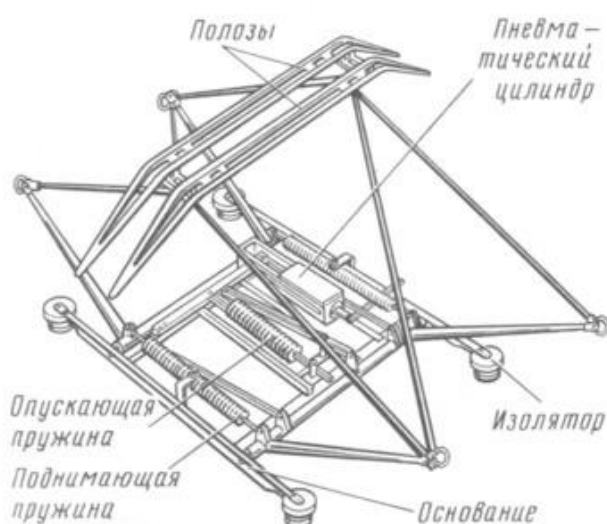


Рисунок 3. Токоприёмное устройство

Рессорная подвеска – устройство предназначенное для смягчения ударов, возникающих при движении колес электровоза по рельсовым стыкам и стрелочным переводам. Для реализации рессорной подвески применяются листовые рессоры, спиральные пружины и резинометаллические амортизаторы.

Для обеспечения безопасного передвижения электровоза, их оборудуют электрической и механической тормозными системами. Для работы в штатном режиме используется только электрическое реостатное торможение.

Для того, чтобы произвести экстренное торможение и полную остановку применяется механическая система. Тормозные колодки, снабженные ручным или пневматическим приводом получили наибольшее распространение в механических системах. Для исключения рисков при эксплуатации тяжелых электровозов механическую тормозную систему дополнительно оснащают рельсовым электромагнитным тормозом, которая представляет собой электромагнит постоянного тока с тормозными колодками, называемыми башмаками, которые прижимаются при торможении к головке рельсов.

1.3. Питание тяговых двигателей постоянным или переменным током

Трехфазный переменный ток, вырабатываемый электростанциями, передается на большие расстояния по трём проводам. Промышленная частота переменного тока в России, как и в большинстве стран, принята равной 50 Гц. Соответственно, для того чтобы запитать двигатели электровозов, в первую очередь, стремились применить переменный ток. Таким образом создавалось условие для применения простых и надежных трехфазных асинхронных двигателей. Но применение двигателей переменного тока на локомотивах электропоездов оказалось весьма проблематично. В такой ситуации, для питания асинхронных двигателей, необходимо подвешивать три, а не два, как для сети постоянного тока, контактных провода или же два, но при этом использовать ходовые рельсы в качестве третьего. Естественно, это приведет к усложнению конструкции контактной сети.

Сравнения род тока, используемого для приведения в движение двигателей электротранспорта, для сравнения рассматривается сеть постоянного тока. Тяговые двигатели постоянного тока вполне отвечают требованиям, связанным с условиями работы электровозов. Помимо этого, эти двигатели обладают следующими преимуществами: экономичность, надежность и их способность развивать необходимую мощность при сравнительно небольших габаритных размерах. Повышение мощности электровозов необратимо вле-

чет за собой рост потребления электродвигателями тока. Следствием этого является падение напряжения и потери электрической энергии в контактной сети, при условии неизменности площади сечения ее проводов и напряжения в контактном проводе. Для уменьшения потерь электроэнергии, прибегают к увеличению площади сечения проводов, но это вызывает большой расход дорогого цветного металла. Лучшим решением в данной ситуации, конечно, было бы повысить напряжение в контактной сети, но при той же мощности локомотива тяговые двигатели и тяговая аппаратура будут гораздо сложнее и дороже, а надежность их работы снизится.

Поэтому, для создания стабильной электрической тяги, вновь начали изучать возможности использования переменного тока. Одним из самых важных свойств переменного тока является то, что его можно трансформировать, то есть повышать или понижать напряжение в очень широком диапазоне. Так, при подведении высокого напряжения к контактному проводу, не составляет труда с помощью трансформатора, который установлен на электровозе, понизить его до определенного значения оптимального по условиям работы тяговых двигателей и аппаратов.

Ответ на вопрос о том какой всё таки род тока, а соответственно, и тип тягового электродвигателя использовать в электровозах будет дан ниже.

1.4. Асинхронный двигатель или двигатель постоянного тока

Самыми распространенными в промышленности электрическими двигателями являются двигатели двух видов:

- переменного тока – трехфазные асинхронные;
- постоянного тока – коллекторные с различными способами возбуждения.[2]

Какой же из них лучше использовать на электровозе?

Тяговые электродвигатели, которые могут быть использованы на электровозе, должны удовлетворять как минимум двум требованиям:

- во-первых, возможность регулирования частоты вращения в широком диапазоне. Это позволяет плавно и быстро изменять скорость движения поезда;

- во-вторых, регулирование в широком пределе силу тяги, т.е. вращающего момента, развиваемого двигателем. Так, во время трогания поезда, двигатели электровоза должны обеспечить значительную силу тяги, а также во время разгона и при преодолении крутых подъемов и т.п., а снижать ее при движении на спуске или при равномерном горизонтальном движении.

Наиболее распространены трехфазные асинхронные двигатели. Трудно переоценить их достоинства. Простота устройства и обслуживания, высокая надежность, низкая стоимость, несложный пуск делают использование двигателей переменного тока для промышленности более выгодным, чем двигателей постоянного тока. Однако, регулировать частоту вращения асинхронных двигателей плавно, быстро и в широком диапазоне посредством использования преобразователя частоты научились сравнительно недавно. До этого изменять скорость вращения было возможно лишь изменением числа пар полюсов, что полностью исключало большой спектр рабочих скоростей. Также, как уже отмечалось выше, для обеспечения питания асинхронных двигателей требуется использовать трехпроводную сложную контактную сеть. Поэтому применение асинхронных двигателей, до недавнего времени, на электровозах практически исключалось.

Решение проблем использования двигателей переменного тока было найдено благодаря развитию полупроводниковой техники. Преобразовать однофазный постоянный ток в переменный трехфазный, а также регулировать его частоту оказалось возможным. Данный факт позволил создать электровозы, которые в качестве тяговых используют трехфазные асинхронные двигатели.

Использование для питания тяговых электродвигателей переменного тока является наиболее предпочтительным по сравнению с использованием

двигателей постоянного тока, так как в асинхронных двигателях отсутствует щеточно-коллекторный узел, который снижает надежность всей машины. Данный факт делает предпочтительным применение двигателей переменного тока по экономическим параметрам и для наиболее рационального использования потенциала электрооборудования.

1.5. Требования, предъявляемые к тяговому электроприводу

Как уже было отмечено выше, тяговые электродвигатели должны удовлетворять двум основным условиям:

- регулирование частоты вращения в широком диапазоне;
- регулирование в большом пределе силу тяги.

Для существенного повышения силы тяги и скорости движения необходимо увеличить мощность тяговых двигателей электровоза. Но повышение мощности достичь весьма трудно, так двигатели большей мощности имеют большие линейные размеры: длина его ограничивается расстоянием между бандажами колесных пар, а диаметр – расстоянием между валом двигателя и осью колесной пары. Учитывая тот факт, что размеры двигателя имеют жесткие габаритные ограничения, то повышение их мощности достигалось применением более теплостойких изоляционных материалов, тем самым усиливая охлаждение, увеличиванием числа пар полюсов, применением компенсационной обмотки, выбором оптимального напряжения для тяговых двигателей электровозов переменного тока.

Асинхронный тяговый двигатель, как отмечалось ранее, имеет достаточно простое устройство. Два основных элемента конструкции машины переменного тока – это неподвижный статор (рисунок 4, а) и вращающийся ротор (рисунок 4, б). Асинхронные двигатели разделяются на два вида:

1. С короткозамкнутым ротором;
2. С фазовым ротором.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором используют в качестве тяговых. Магнитопровод такого ротора, также как и статора, соби-

рают из листов шихтованной электротехнической стали, это делается для уменьшения потерь на вихревые токи. Обмотка ротора представляет собой так называемую "беличью клетку". То есть, обмотка ротора состоит из медных стержней, которые расположены в пазах сердечника и замкнуты с торцов токопроводящими кольцами.

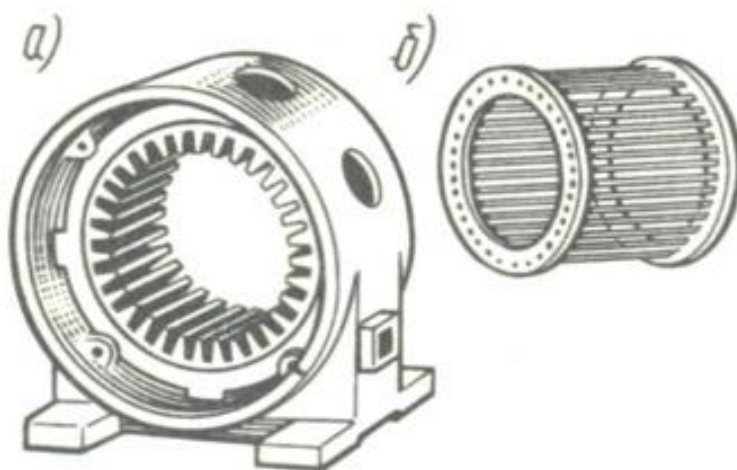


Рисунок 4. Статор (а) и ротор (б) асинхронного двигателя

Как уже было сказано в предыдущих разделах, запитать асинхронные двигатели в глубине шахты или забоя весьма проблематично из-за трехпроводной сети. Решением данного вопроса было использование сети постоянного тока, который преобразуется в переменный трехфазный на самом локомотиве электровоза. Таким устройством является преобразователь частоты. Двухпроводная сеть постоянного тока подключается напрямую к высокочастотному инвертору, минуя выпрямительное звено (рисунок 5).

Получают трехфазное напряжение, которое подводится к обмотке статора асинхронного двигателя, путем открывания и закрывания тиристоров инвертора в определенной последовательности. В обычных условиях к асинхронным двигателям подводится переменное трехфазное напряжение и, соответственно, ток, который изменяется синусоидально. При этом каждая из трех фаз напряжения питания сдвинута относительно другой на 120 электрических градусов (рисунок 6). Для наглядности процесс изменения напряжения каждой отдельной фазы показан на отдельных осях. В процессе форми-

рования трехфазного напряжения на локомотиве, который приводится в движение асинхронными двигателями, тиристоры высокочастотного инвертора создают напряжение ступенчатой формы в каждой фазе. Регулирование частоты питающего напряжения, которое подводится к асинхронному двигателю, осуществляется путем изменения частоты переключения этих тиристоров.

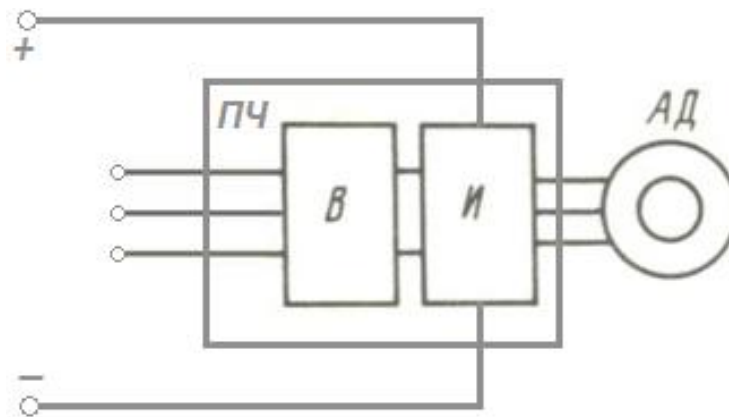


Рисунок 5. Схема питания трехфазного асинхронного двигателя от сети постоянного тока через высокочастотный инвертор

Тяговые двигатели реверсируются путем переключения управляющей цепи тиристоров инвертора, так как достаточно поменять местами любые две подводимые фазы питающего напряжения для изменения направления вращения асинхронного двигателя.

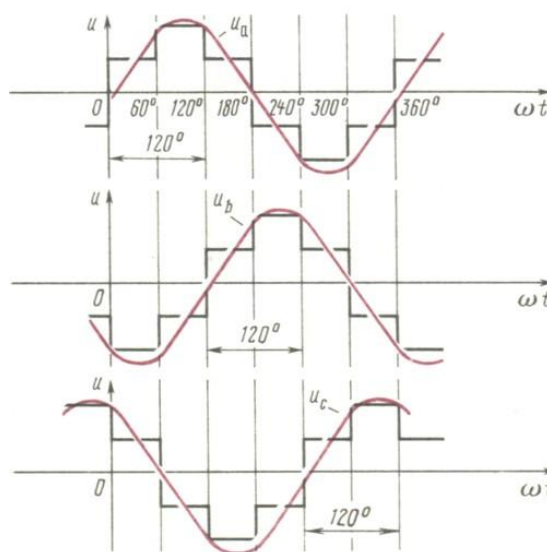


Рисунок 6. Диаграмма фазных напряжений асинхронного тягового двигателя

1.6. Выбор нестандартного тягового асинхронного двигателя

Основываясь на правилах обеспечения безопасности рабочих и оборудования в шахтах или рудниках, максимальное напряжение контактной сети для питания электротранспорта составляет 250 В постоянного тока. Такое ограничение напряжения предупреждает возникновение, в условиях запыленности, разрядов электрического тока и образования так называемых электрических мостиков. В результате этого встает вопрос об выборе асинхронного тягового электродвигателя: стандартного с напряжением питания 220 В~ или с перемотанной обмоткой статора на определенное значение напряжения переменного тока.

Номинальное напряжение постоянного тока источника питания составляет 250 В ($U_{\text{ИПном}} = 250 \text{ В}$), отсюда номинальное напряжение переменного тока, питающего асинхронный двигатель составляет:

$$U_{\text{АДном}} = \frac{U_{\text{ИПном}}}{\sqrt{2}} = \frac{250}{\sqrt{2}} = 177 \text{ (В)}.$$

При работе транспорта в глубине шахты или рудника, он удаляется от источника питания постоянного тока 250 В на несколько километров, что приводит к просадке напряжения. Рассматривается наихудший вариант, когда нехватка напряжения достигает 30% от номинального напряжения, тогда напряжение питания с учетом максимального отклонения составит:

$$U_{\text{ИП}} = U_{\text{ИПном}} - \Delta U_{\text{max}} = 250 - 75 = 175 \text{ (В)},$$

где $\Delta U_{\text{max}} = U_{\text{ИПном}} \cdot 30\% = 75 \text{ (В)}$.

Тогда напряжение переменного тока для питания асинхронного двигателя составит:

$$U_{\text{АД}} = \frac{U_{\text{ИП}}}{\sqrt{2}} = \frac{175}{\sqrt{2}} = 124 \text{ (В)}.$$

Такое значение напряжения делает невозможным нормальное функционирование электродвигателя. При таком развитии событий, нагруженный локомотив не сможет тронуться, так как момент частотно-управляемого асинхронного двигателя будет много меньше пускового – это подкрепляется

общеизвестным правилом, что электромагнитный момент тягового асинхронного двигателя прямо пропорционален квадрату напряжения питания:

$$M_{\text{АД}} \cong U_{\text{пит}}^2.$$

Для сохранения номинального момента при условии просадки номинального питающего напряжения с 220 В~ до 177 В~ тягового асинхронного двигателя необходимо произвести перемотку обмотки статора проводником большего сечения для выдерживания большего значения фазного тока и, как следствие, сохранения момента:

$$M_{\text{АД}(177)} = M_{\text{АД}(220)}.$$

При условии, что момент асинхронного электродвигателя прямо пропорционален квадрату напряжения питания, то отношение питающих напряжений будет показывать как соотносятся номинальные моменты при соответствующих напряжениях питания.

И так, предполагается, что в рудничном электровозе используются стандартные тяговые асинхронные электродвигатели с напряжением питания 220 В. При условии просадки напряжения при удалении от источника питания, используемая контактная сеть обеспечивает 175 В постоянного тока, в свою очередь питание асинхронного двигателя осуществляется 124 В переменного тока. Тогда:

$$\left(\frac{U_{\text{АД}}}{U_1}\right)^2 = \left(\frac{124}{220}\right)^2 = 0,316,$$

то есть при использовании стандартного двигателя на 220 В~ момент электродвигателя составляет всего 0,316 момента номинального. Эффективность использования такого двигателя составляет 31,6%. Как видно из рисунка 7, перегрузочная способность такого двигателя при работе на пониженном напряжении уменьшилась практически на 70%, что абсолютно точно говорит об экономической неэффективности использования такого двигателя при данных условиях.

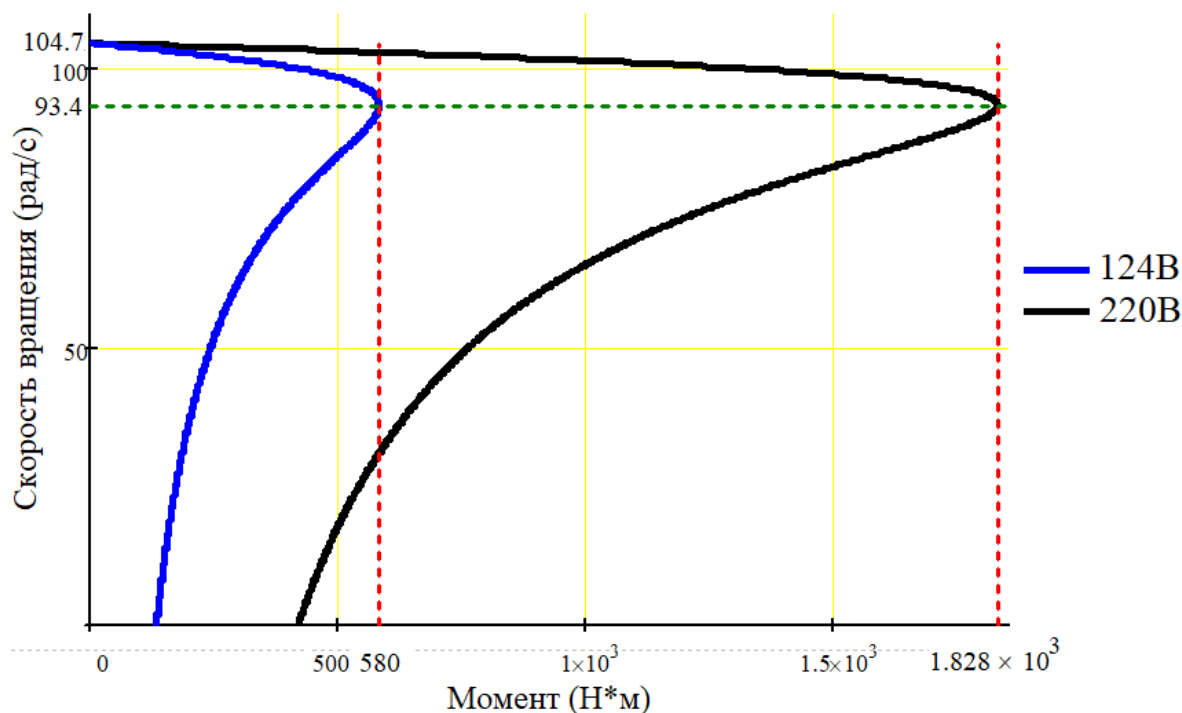


Рисунок 7. Естественные механические характеристики электродвигателя с напряжением питания 220 В и 124 В

Так как номинальное напряжение переменного тока, питающего асинхронный двигатель составляет 177 В, то рассмотрим возможность использования электродвигателя с перемотанной обмоткой статора на данное значение напряжения. Тогда:

$$\left(\frac{U_{\text{АД}}}{U_1}\right)^2 = \left(\frac{124}{177}\right)^2 = 0,489,$$

то есть при использовании перемотанного двигателя на 177 В переменного тока, момент электродвигателя составит уже 0,489 момента номинального. Эффективность использования такого двигателя составляет 48,9 %. На рисунке 8 приведены естественные механические характеристики асинхронного двигателя при напряжении питания 177 В~(номинальное напряжение) и при 124 В~. В данной ситуации, при пониженном напряжении, тяговый электродвигатель имеет перегрузочную способность в 1,6 раза больше, чем при использовании асинхронного двигателя со стандартной обмоткой статора на 220 В~.

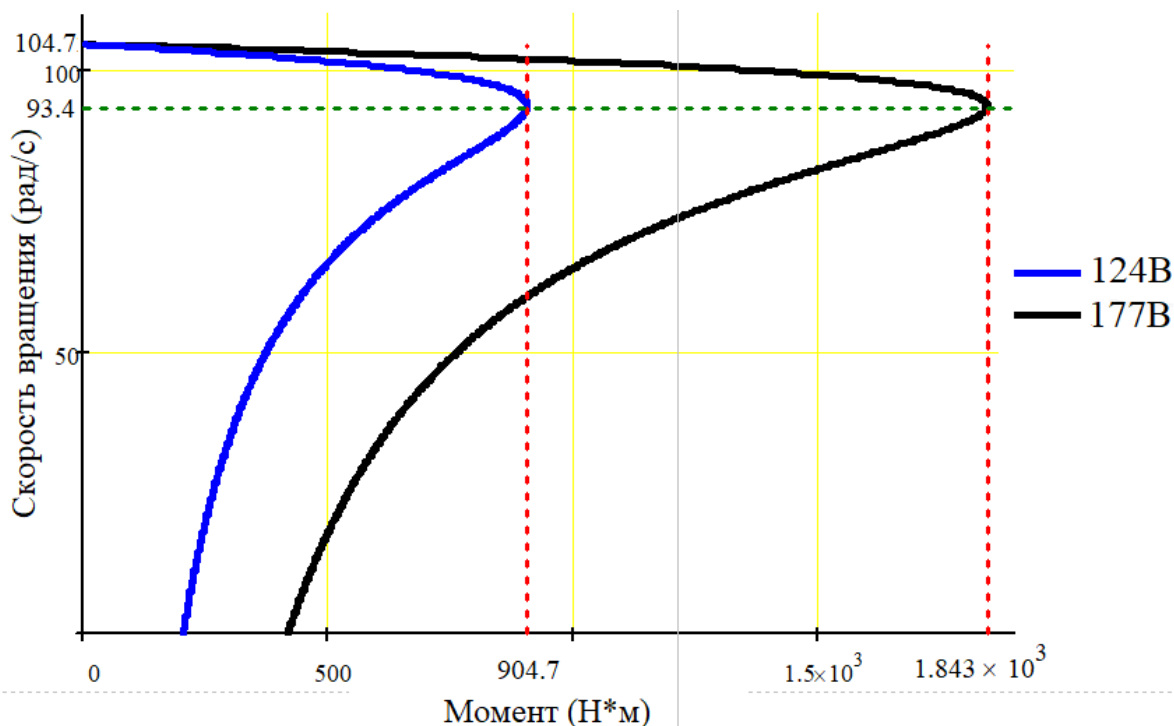


Рисунок 8. Естественные механические характеристики электродвигателя с напряжением питания 177 В и 124 В

Таким образом, для обеспечения рационального использования подземного контактного электровоза предполагается использовать такое техническое решение, как использование нестандартного асинхронного электродвигателя с перемотанной обмоткой статора на работу при пониженном напряжении. Как видно из вышеприведенных графиков, перегрузочная способность электродвигателя при работе на номинальном напряжении, со стандартной или нестандартной обмоткой статора, сохраняется примерно на одном уровне. Этот факт объясняется тем, что при перемотке статорной обмотки на пониженное напряжение используют проводник с большим сечением, тем самым обуславливая протекание большего значения тока, что приводит к сохранению критического момента на одном уровне.

Однако, эффективность работы подземного электротранспорта определяется не только приемлемыми показаниями при использовании нестандартного двигателя. Для нормального функционирования локомотива также необходимо обеспечить напряжение питания на должном уровне, что не так просто реализовать в глубине шахты или рудника.

2. ВОЛЬТОДОБАВОЧНОЕ УСТРОЙСТВО

2.1. Общие сведения о вольтодобавочном устройстве

Рассмотрим контактный напочвенный локомотив, являющийся аналогом российского К14, TLP90F (рисунок 9) предназначенный для перевозки материала или работников в горизонтальных горных выработках. Данный локомотив передвигается по рельсовому пути и приводится в движение двумя асинхронными электродвигателями суммарной мощностью 110 кВт (2×55 кВт). Основные технические характеристики данного локомотива представлены в таблице 1. [3]

Таблица 1. Технические характеристики локомотива TLP90F

Мощность	110 кВт (2×55 кВт)
Максимальное тяговое усилие	40 кН
Скорость	0-20 км/ч
Ширина колеи	750-900 мм
Общая масса	14,5 т
Максимальный угол наклона пути	50 ‰



Рисунок 9. Подземный локомотив TLP90F с троллейным токосъемом

Как уже отмечалось ранее, при работе транспорта в глубине шахты или рудника, он удаляется от источника питания постоянного тока 250В на не-

сколько километров, что приводит к просадке напряжения. Рассматривается наихудший вариант, когда нехватка напряжения достигает 30% от номинального напряжения, т.е. 175В. При таком развитии событий, нагруженный локомотив не сможет тронуться, так как момент частотно-управляемого асинхронного двигателя будет много меньше пускового – это подкрепляется общеизвестным правилом, что электромагнитный момент тягового асинхронного двигателя прямо пропорционален квадрату напряжения питания. В данном случае возникает необходимость увеличить пониженное напряжение питания с целью частотного пуска тягового асинхронного электродвигателя при максимальной нагрузке. Для решения этой проблемы первым делом можно увеличить напряжения питающей сети до необходимого значения, однако, это приводит к большим затратам: увеличение сечения проводов контактной сети, следовательно, большой расход дорогостоящего проводящего металла; усложнение конструкций крепежа и удерживания проводов контактной сети. Другим решением этой задачи, с сохранением прежнего напряжения питания и, следовательно, сечения проводов контактной сети является применение вольтодобавочного устройства.

В общем случае вольтодобавочное устройство – это силовое преобразовательное устройство, включаемая последовательно с нагрузкой и создающая добавочное напряжение, которое складывается с напряжением основного источника питания, когда оно падает, или вычитается из него, когда оно возрастает в процессе рекуперации энергии торможения. Наиболее просто, экономично и доступно это осуществляется с помощью двухобмоточного трансформатора, первичная обмотка которого питается от высокочастотного инвертора. Вторичная обмотка трансформатора подключается последовательно с нагрузкой через выпрямитель. С помощью этого трансформатора можно повысить или понизить напряжение на нагрузке на величину $\pm \Delta U_{\text{доб}}$. Другими словами, необходимая величина вольтодобавочного устройства определяется величиной напряжения вторичной обмотки обычного понижающего трансформатора. [4]

2.2. Принцип действия вольтодобавочного устройства

Преобразователи постоянного тока преобразуют энергию постоянного тока одного напряжения в энергию постоянного тока другого напряжения. Они могут применяться тогда, когда первичный источник электрической энергии является источником постоянного тока, например, солнечная батарея, термоэлектрогенератор, аккумуляторная батарея и т.д. Они могут выполнять функции регуляторов напряжения на нагрузке в заданном диапазоне, либо, наоборот, стабилизацию этого напряжения при изменяющемся напряжении на входе. При малых мощностях нагрузки это чаще всего устройства непрерывного действия, принцип действия которых заключается в гашении лишнего напряжения на каком-либо регулируемом сопротивлении, например, транзисторе. Но такие схемы неэкономичны, и, кроме того, не могут обеспечивать напряжение на выходе больше, чем на входе. Поэтому на практике наибольшее распространение получили преобразователи импульсного типа. Как известно, такие преобразователи могут выполняться либо с промежуточным звеном переменного тока, либо однокаскадными (без звена переменного тока) [5].

Пример преобразователя со звеном переменного тока изображен на рисунке 10. Здесь автономный инвертор (АИ) вместе с выпрямителем (В) выполняют роль вольтодобавочного устройства, которое регулирует напряжение на нагрузке. Достоинством этой схемы является то, что АИ и В рассчитываются не на полную мощность нагрузки, а только на ее часть.

$$P_{\text{доб}} = I_{\text{н}} \cdot U_{\text{выпр}}$$

где $U_{\text{выпр}}$ – напряжение на выходе выпрямителя (В).

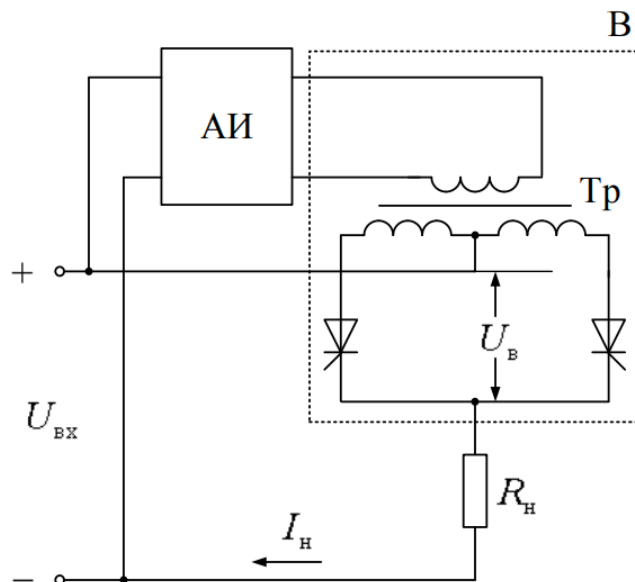


Рисунок 10. Преобразователь со звеном переменного тока

Если управляемый выпрямитель сделать реверсивным, то расчетная мощность инвертора и выпрямителя может быть снижена вдвое, так как в этом случае можно осуществлять как вольтдобавку, так и вольтотбавку напряжения инвертора относительно напряжения источника $U_{вх}$. Совершенно очевидно, что АИ здесь целесообразно выполнять на повышенную частоту, которая ограничивается только коммутационными возможностями силовых ключей инвертора и выпрямителя. Это приведет к существенному улучшению массогабаритных показателей трансформатора.

2.3. Выбор и расчет элементов вольтдобавочного устройства

Обобщенная схема повышающего преобразователя для компенсации отклонения напряжения контактной сети для облегчения пуска локомотива ТЛР90F с полностью загруженным составом представлена на рисунке 11.

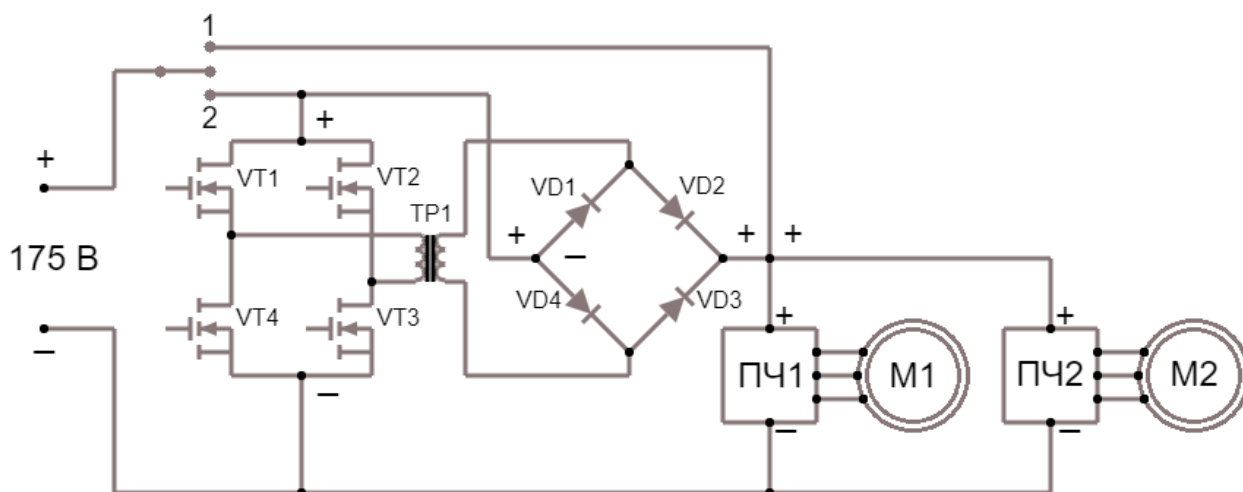


Рисунок 11. Обобщенная схема повышающего преобразователя для компенсации отклонения напряжения контактной сети

Так как выходная мощность последовательно включенного с нагрузкой преобразователя составляет порядка 33кВт, и его ток, имеет, значение 440А, следовательно, сечение обмоток согласующего высокочастотного трансформатора получается достаточно большим, и физически выполнить обмотку трансформатора с необходимым количеством витков при доступном размере магнитопровода не представляется возможным. Кроме того необходимо решить вопрос охлаждения полупроводниковых приборов при прохождении через них номинального тока в прямом направлении (от сети к исполнительным тяговым двигателям). При этом размеры охладителей будут достаточно большими.

Поэтому принято решение разбить силовую часть нашего преобразователя на параллельно включенные модули, каждый из которых имеет общий охладитель с размещенными на нем ключами высокочастотного инвертора, выпрямителя и согласующий трансформатор. Предварительный расчет показывает, что количество модулей преобразователя должно быть не менее двенадцати, тогда мощность каждого параллельно включенного модуля составит 2750Вт.

Схема блочного устройства вольтодобавки представлена на рисунке 12.

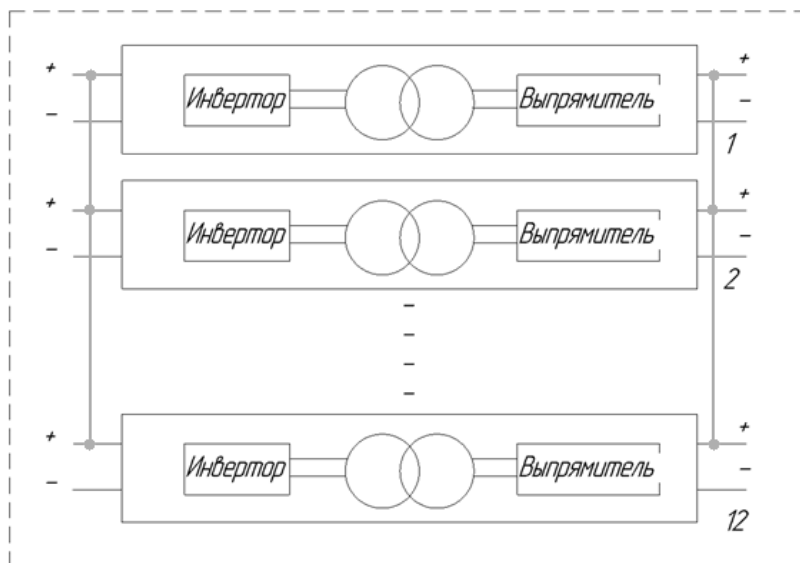


Рисунок 12. Схема устройства вольтодобавки с 12 параллельными модулями

Также необходимо сказать, что решение разбить устройство на 12 модулей, позволяет снизить пульсации напряжения и получить равномерное распределение напряжения постоянного тока.

2.3.1. Расчет силового трансформатора

Расчетная мощность трансформатора:

$$P_{\text{расч}} = 1,23 \times P_{\text{вых}} = 1,23 \times 2750 = 3383 \text{ (Вт)},$$

где 1,23 – коэффициент схемы.

По таблицам соответствия сердечников трансформаторов и расчетной мощности подбираем магнитопровод. Параметры магнитопровода представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры магнитопровода

Условное обозначение	Материал	Форма магнитопровода	D, мм	d, мм	h, мм
ГМ 412В ОЛ 45/70–25	Аморфное железо	Кольцевой	70	45	25

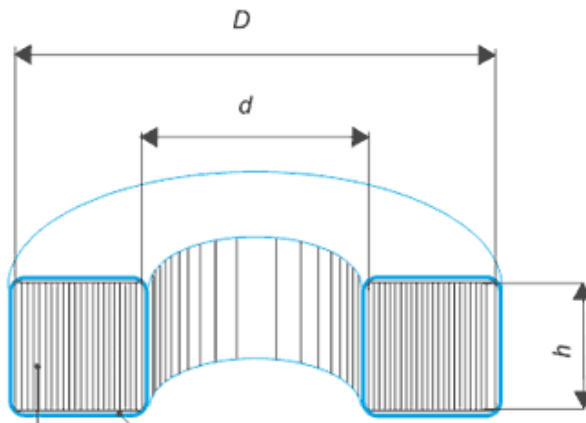


Рисунок 13. Сечение выбранного магнитопровода

Площадь сечения:

$$S_{\text{сеч}} = \frac{(D-d) \times h}{2} = \frac{(7-4,5) \times 2,5}{2} = 3,125 \text{ (см}^2\text{)}$$

Площадь окна:

$$S_o = \frac{d^2 \times \pi}{4} = \frac{4,5^2 \times 3,14}{4} = 15,9 \text{ (см}^2\text{)}$$

Габаритная мощность трансформатора:

$$P_{\text{габ}} = 2 \times S_{\text{сеч}} \times S_o \times f \times B_m \times \eta \times j \times k_c \times k_m \times k_\phi \times 10^{-2} =$$

$$= 2 \times 3,125 \times 15,9 \times 50000 \times 1,17 \times 0,97 \times 3 \times 0,7 \times 0,15 \times 1 \times 10^{-2} = 4657 \text{ (Вт)},$$

где $B_m = 1,17$ – максимальная магнитная индукция, Тл;

$\eta = 0,97$ – КПД трансформатора;

$k_c = 0,7$ – коэффициент заполнения сердечника;

$k_m = 0,15$ – коэффициент заполнения окна;

$k_\phi = 1$ – коэффициент формы.

$$P_{\text{расч}} < P_{\text{габ}} \text{ (Требуемое условие выполнено.)}$$

Мощность, используемая трансформатором:

$$P_{\text{исп}} = 1,23 \times \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{\eta} = 1,23 \times \frac{2750}{0,97} = 3487 \text{ (Вт)}$$

Рассчитываем коэффициент трансформации:

$$k_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{сети}}}{U_{\text{вых}}} = \frac{175}{75} = 2,3$$

Рассчитываем число витков первичной обмотки:

$$w_1 = \frac{U_1 \times 0,95}{4 \times B_{\text{раб}} \times S_{\text{сеч}} \times f \times k_{\phi} \times k_c} = \frac{175 \times 0,95}{4 \times 0,3 \times 3,125 \times 50000 \times 1 \times 0,7} = 12,667 \approx 13$$

Число витков вторичных обмоток:

$$w_2 = \frac{w_1}{k_{\text{тр}}} = \frac{13}{2,3} = 5,65 \approx 6$$

Определяем диаметры проводов обмоток:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \times I_1}{\pi \times j}} = \sqrt{\frac{4 \times 15,7}{3,14 \times 3}} = 2,58 \text{ (мм)}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \times I_2}{\pi \times j}} = \sqrt{\frac{4 \times 36,7}{3,14 \times 3}} = 3,94 \text{ (мм)}$$

Диаметр провода не берут более 1 мм, возьмем эмалированный провод ПЭВТЛ диаметром $d_{\text{пр1}} = 0,8$ (мм) и скручиваем в литцендрат из 4 проводников.

Второй провод диаметром $d_{\text{пр2}} = 0,8$ (мм) и скручиваем в литцендрат из 5 проводников.

Определяем площадь сечения провода первичной обмотки:

$$S_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{15,7}{3} = 5,23 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Площадь сечения первичной обмотки:

$$S_{\text{м1}} = S_1 \times w_1 \times 10^{-2} = 5,23 \times 13 \times 10^{-2} = 0,68 \text{ (см}^2\text{)}$$

Определяем площадь сечения провода вторичной обмотки:

$$S_2 = \frac{I_2}{j} = \frac{36,7}{3} = 12,23 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Площадь сечения вторичной обмотки:

$$S_{\text{м2}} = S_2 \times w_2 \times 10^{-2} = 12,23 \times 6 \times 10^{-2} = 0,73 \text{ (см}^2\text{)}$$

Площадь сечения:

$$S_M = S_{M1} + S_{M2} = 0,68 + 0,73 = 1,41 \text{ (см}^2\text{)}$$

Коэффициент заполнения магнитопровода, условие:

$$k_3 = \frac{S_M + 0,1 \times S_o}{S_o} = \frac{1,41 + 0,1 \times 15,9}{15,9} = 0,189$$

Рассчитываем удельные магнитные потери трансформатора:

$$P = 3,3 \times 10^{-6} \times f^{1,7} \times B_m^{2,05} = 3,3 \times 10^{-6} \times 50000^{1,7} \times 0,3^{2,05} = 27,218 \text{ (Вт/кг)}$$

Объем сердечника:

$$\begin{aligned} V &= \frac{\pi \times h(D^2 - d^2)}{4} = \\ &= \frac{3,14 \times 25 \times 10^{-3} \times [(70 \times 10^{-3})^2 - (45 \times 10^{-3})^2]}{4} = 5,645 \times 10^{-5} \text{ (м}^3\text{)} \end{aligned}$$

Масса сердечника:

$$m = \rho \times V \times k_c = 7400 \times 5,645 \times 10^{-5} \times 0,7 = 0,292 \text{ (кг)}$$

Умножив удельные потери на массу магнитопровода, получаем потери мощности в сердечнике:

$$P_M = P_{уд} \times m = 27,218 \times 0,292 = 7,959 \text{ (Вт)}.$$

2.3.2. Инвертор высокочастотный

$$U_{ном} = 175 \text{ (В)}$$

$$I = 15,7 \text{ (А)}$$

Выбираем MOSFET-транзистор FDH44N50-НД (рисунок 14), фирмы STMicroelectronics, характеристики которого:

$$I_d = 38 \text{ (А)}, U_{ds} = 400 \text{ (В)}, R_{ds} = 72 \text{ (мОм)}$$

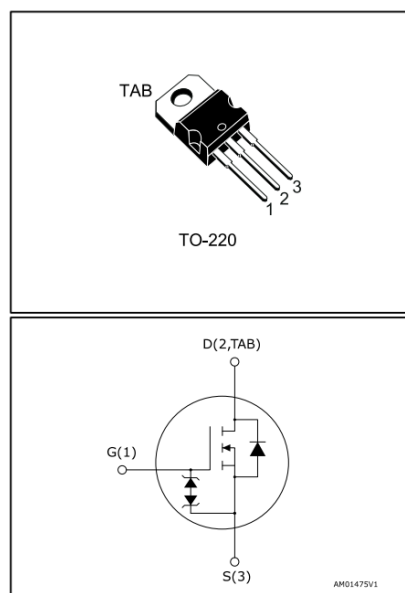


Рисунок 14. Эскиз транзистора

Рассчитаем потери на проводимость на выбранном транзисторе:

$$P_{\text{пр}} = I_{\text{ср}}^2 \times R_{\text{ds}} = 7,35^2 \times 0,072 = 3,9 \text{ (Вт)}$$

Рассчитаем потери на переключение на выбранном транзисторе:

$$P_{\text{sw}} = \frac{U_{\text{H}} I_{\text{H}}}{6T} (t_r + t_f) = \frac{175 \times 15,7}{6 \times (1/50000)} (6,7 \times 10^{-9} + 9,8 \times 10^{-9}) = 0,378 \text{ (Вт)}$$

Определим суммарные потери на транзисторе:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{пр}} + P_{\text{sw}} = 3,9 + 0,378 = 4,278 \text{ (Вт)}$$

Определим площадь радиатора, установленного под обдувом воздуха, температура окружающей среды $T_a = 35^\circ\text{C}$:

$$T_j = T_a + R_{ja} \times P_{\Sigma} = 35 + 40 \times 4,278 = 206,12 \text{ }^\circ\text{C}$$

Расчетная температура значительно превышает допустимую температуру кристалла, представленную в документации на транзистор ($T_j = 150^\circ\text{C}$), радиатор необходим.

Тепловое сопротивление для данного транзистора $R_{jc} = 0,5 \text{ (}^\circ\text{C/Вт)}$

Тепловое сопротивление корпус - радиатор $R_{cs} = 0,13 \text{ (}^\circ\text{C/Вт)}$

Выбираем рабочую температуру кристалла $T_{j\text{max}} = 75 \text{ (}^\circ\text{C)}$

Определяем рабочую температуру радиатора

$$T_s = T_{j\text{max}} - P_{\Sigma} (R_{jc} + R_{cs}) = 75 - 4,278 \times (0,5 + 0,13) = 72,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Определяем необходимое тепловое сопротивление радиатор-
окружающая среда

$$R_{sa} = \frac{T_s - T_a}{P_\Sigma} = \frac{72,3 - 35}{4,278} = 8,7$$

Определим необходимую площадь радиатора

$$S_p = \frac{1}{R_{sa}} = \frac{1}{8,7} = 0,115 \text{ (м}^2\text{)}$$

Так как у нас транзисторный мост состоит из 4-х транзисторов, то об-
щая площадь радиатора равна:

$$S_{p.\text{общ}} = 4 \times S_p = 4 \times 0,115 = 0,46 \text{ (м}^2\text{)}$$

По определенной площади подбираем радиатор

Выбираем радиатор серии АВМ-076-200:



Рисунок 15. Корпус и эскиз радиатора

Длина ребра: $L = 0,2$ (м)

Высота ребра: $H = 0,0342$ (м)

Ширина ребра: $W = 0,0032$ (м)

Межреберное расстояние: $X = 0,01$ (м)

Отсюда, полная площадь ребра:

$$S_{\text{ребра}} = 2 \times L \times H + L \times W = 2 \times 0,2 \times 0,0342 + 0,2 \times 0,0032 = 0,0143 \text{ (м}^2\text{)}$$

Площадь между ребер:

$$S_{\text{межреб}} = L \times X = 0,2 \times 0,01 = 0,002 \text{ (м}^2\text{)}$$

С учетом количества ребер и расстояния между ними площадь радиатора:

$$S = S_{\text{ребра}} \times 38 + S_{\text{межреб}} \times 37 = 0,0143 \times 38 + 0,002 \times 37 = 0,62 \text{ (м}^2\text{)},$$

где 38 - количество ребер в выбранном радиаторе, а 37 - количество межреберных промежутков.

2.3.3. Выпрямитель высокочастотный

В качестве выпрямителя используется схема выпрямления со средней точкой. Выбор диодов необходимо осуществлять по среднему току и обратному напряжению.

Определяем обратное напряжение:

$$U_{\text{обр}} = 2 \times U_{\text{н}} = 2 \times 75 = 150 \text{ (В)}$$

Определяем средний ток, протекающий через диод:

$$I_{\text{дср}} = \frac{I_d}{2} = \frac{36,6}{2} = 18,3 \text{ (А)}$$

Выбираем диод типа STTH16003TV1 с $U_{\text{обр}} = 300 \text{ (В)}$, $I_D = 60 \text{ (А)}$, параметры которых превышают рассчитанные значения, фирмы STMicroelectronics (рисунок 16).

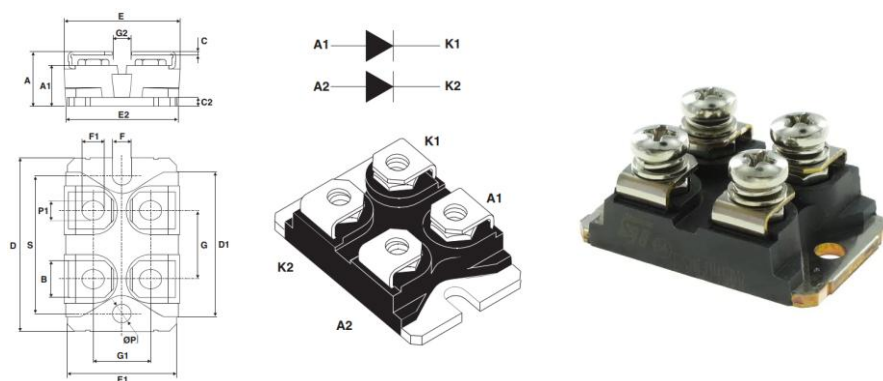


Рисунок 16. Габаритный чертеж и фото диода

В паспортных данных на диод находим график зависимости прямого падения напряжения U_f на диоде в функции от прямого тока $I_{пр}$, протекающего через него (рисунок 17).

На данном графике представлены зависимости для двух температурных режимов: 25°C , 150°C . Выбор проводим для температуры 75°C . По току $I_{пр} = 36,6 \text{ A}$ определяем, что падение напряжения на диоде будет составлять приблизительно $0,86 \text{ В}$.

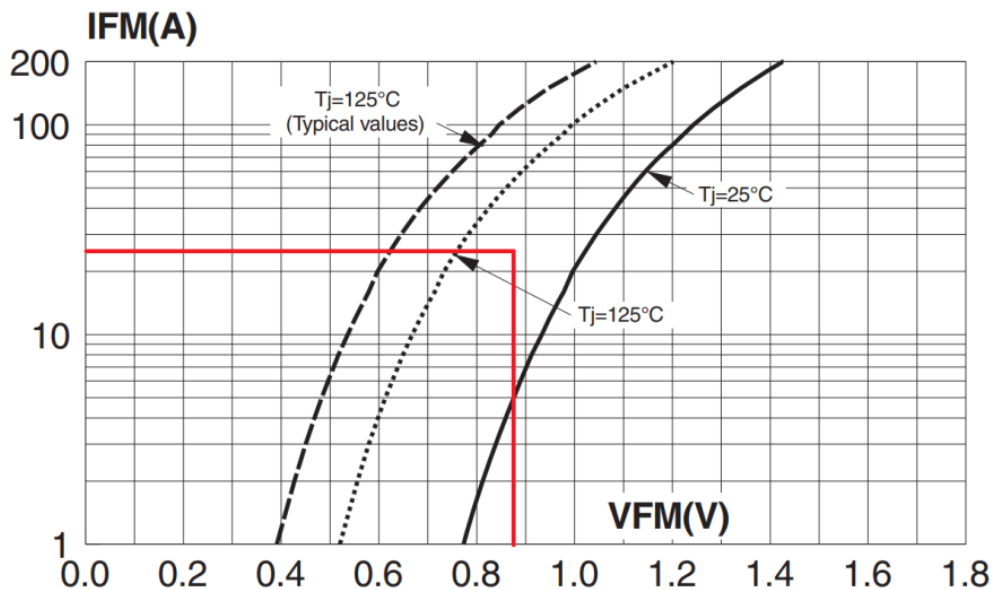


Рисунок 17. Определение мощности активных потерь в диоде, показатель определяющий нагрев полупроводникового кристалла диода, и как следствие, его корпуса

Активные потери определяются по следующей формуле:

$$P_{VD} = I_{пр} \times U_f = 36,6 \times 0,86 = 31,47 \text{ (Вт)}$$

Определим необходимость радиатора, для этого запишем уравнение теплового баланса:

$$T_j - T_a = R_{ja} \cdot P_{VD},$$

тогда температура кристалла:

$$T_j = T_a + R_{ja} \times P_{VD} = 35 + 40 \times 31,47 = 1293,8 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

Расчетная температура значительно превышает допустимую температуру кристалла, представленную в документации на диод ($T_j = 150^{\circ}\text{C}$), радиатор необходим.

Из документации на диод находим:

Тепловое сопротивление для данного транзистора $R_{jc} = 0,7$ (°C/Вт)

Тепловое сопротивление корпус - радиатор $R_{cs} = 0,4$ (°C/Вт)

Выбираем рабочую температуру кристалла $T_{jmax} = 75$ (°C)

Определяем рабочую температуру радиатора:

$$T_s = T_{jmax} - P_{\Sigma} (R_{jc} + R_{cs}) = 75 - 31,47 \times (0,7 + 0,4) = 40,38 \text{ (°C)}$$

Определяем необходимое тепловое сопротивление радиатор-окружающая среда:

$$R_{sa} = \frac{T_s - T_a}{P_{VD}} = \frac{40,38 - 35}{31,47} = 0,17$$

Определим необходимую площадь радиатора:

$$S_p = \frac{1}{\alpha \times R_{sa}} = \frac{1}{14 \times 0,17} = 0,012 \text{ (м}^2\text{)}$$

где $\alpha = 14$ – коэффициент теплоотдачи для черненого радиатора, Вт/м²·°C.

Так как у нас транзисторный мост состоит из 4х транзисторов, то общая площадь радиатора равна:

$$S_{p.общ} = 4 \times S_p = 4 \times 0,012 = 0,048 \text{ (м}^2\text{)}$$

По определенной площади подбираем радиатор

Выбираем радиатор HS 183-150:



Рисунок 18. Корпус и эскиз радиатора

Длина ребра: $L = 0,15$ (м)

Высота ребра: $H = 0,013$ (м)

Ширина ребра: $W = 0,0014$ (м)

Межреберное расстояние: $X = 0,0046$ (м)

Отсюда, полная площадь ребра:

$$S_{\text{ребра}} = 2 \times L \times H + L \times W = 2 \times 0,15 \times 0,013 + 0,15 \times 0,0046 = 0,0046 \text{ (м}^2\text{)}$$

Площадь между ребер:

$$S_{\text{межреб}} = L \times X = 0,15 \times 0,0046 = 0,0007 \text{ (м}^2\text{)}$$

С учетом количества ребер и расстояния между ними площадь радиатора:

$$S = S_{\text{ребра}} \times 12 + S_{\text{межреб}} \times 11 = 0,0046 \times 12 + 0,0007 \times 11 = 0,063 \text{ (м}^2\text{)},$$

где 12 – количество ребер в выбранном радиаторе, а 11 – количество межреберных промежутков.

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является экономическое обоснование проектирования вольтодобавочного устройства для подземного контактного электровоза.

Для достижения поставленных задач необходимо провести анализ трудоемкости проводимых работ, спланировать проектную работу, а также определить расходы на проектирование.

3.1. Планирование проектной работы

Планирование работ играет важную роль в процессе проектирования. В данном разделе необходимо определить основные виды работ, назначить участников для каждой работы, рассчитать время, требуемое для выполнения каждой работы и в конце построить график проведения проектирования.

3.1.1. Структура работ в рамках научного исследования

В таблице 3 представлены основные виды работ с указанием содержания, а также распределены исполнители. В качестве исполнителей выступают инженер и руководитель темы.

Таблица 3. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Описание объекта проектирования	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель проекта

Теоретические исследования	5	Расчет и выбор силового оборудования	Инженер
	6	Разработка силовой схемы вольтодобавочного устройства	Инженер
	7	Расчет параметров элементов вольтодобавочного устройства	Инженер
	8	Выбор элементов вольтодобавочного устройства	Инженер
Разработка технической документации и проектированию	10	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

3.1.2. Определение трудоёмкости работ

Определение трудоёмкости выполняемых работ зависит от множества факторов. Учет всех факторов практически невозможен, поэтому используется ожидаемая трудоёмкость, рассчитываемая по формуле (1).

$$t_{ожи} = \frac{3 \cdot t_{мини} + 2 \cdot t_{макси}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения какой-либо работы; $t_{мини}$ – минимальная трудоёмкость при выполнении какой-либо работы; $t_{макси}$ – максимальная трудоёмкость при выполнении какой-либо работы.

После этого определяем продолжительность какой-либо работы в рабочих днях T_p .

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где T_{pi} – продолжительность работы в рабочих днях; $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения какой-либо работы; $Ч_i$ – количество исполнителей, которые выполняют одну и ту же работу на данном этапе.

Рассчитанная ожидаемая трудоёмкость каждой из работ по проектированию приведена в таблице 4.

3.1.3. Разработка графика проведения проектирования

Для построения графика Ганта будем использовать не рабочие дни, а календарные. Перевод из рабочих дней в календарные осуществляем по формуле (3).

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности учитывает количество выходных и праздничных дней и рассчитывается по формуле (4):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году ($T_{\text{кал}} = 365$); $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году ($T_{\text{вых}} = 52$); $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году ($T_{\text{пр}} = 14$).

Значения для каждой работы представлены в таблице 4.

Пример расчета для руководителя (составление и утверждение технического задания):

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ (чел-дней);}$$

$$T_{\text{р}} = \frac{2}{1} = 2 \text{ (дней);}$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22;$$

$$T_{\text{к}} = 2 \cdot 1,22 = 2,44 \approx 3 \text{ (дней).}$$

Таблица 4. Временные показатели проведения проектной работы

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работ в календарных днях, T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1	–	2	–	2	–	2	–	3	–
Подбор и изучение материалов по теме	–	2	–	4	–	3	–	3	–	4
Описание объекта проектирования	–	3	–	5	–	4	–	4	–	5
Календарное планирование работ по теме	1	–	3	–	2	–	2	–	3	–
Расчет и выбор силового оборудования	–	2	–	4	–	3	–	3	–	4
Разработка силовой схемы вольтодобавочного устройства	–	2	–	4	–	3	–	3	–	4
Расчет параметров элементов вольтодобавочного устройства	–	3	–	6	–	5	–	5	–	6
Выбор элементов вольтодобавочного устройства	–	5	–	7	–	6	–	6	–	8
Составление пояснительной записки	3	–	4	–	4	–	4	–	5	–

Итого, для выполнения проектирования вольтодобавочного устройства затрачивается:

- для руководителя проекта – 11 календарных дней;
- для инженера – 31 календарный день.

На основании данных таблицы 4 строится календарный план-график (диаграмма Ганта), представленный в таблице 5, проведения проектной работы.

Таблица 5. Диаграмма Ганта

Название работы	Исполнитель	01.03–03.03			04.03–07.03				08.03–12.03					13.03–15.03			16.03–19.03				20.03–23.03			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Составление и утверждение технического задания	Руководитель	■	■	■																				
Подбор и изучение материалов по теме	Инженер				■	■	■	■																
Описание объекта проектирования	Инженер								■	■	■	■	■											
Календарное планирование работ по теме	Руководитель													■	■	■								
Расчет и выбор силового оборудования	Инженер																■	■	■	■				
Разработка силовой схемы вольтодобавочного устройства	Инженер																				■	■	■	■
Расчет параметров элементов вольтодобавочного устройства	Инженер																							
Выбор элементов вольтодобавочного устройства	Инженер																							
Составление пояснительной записки	Руководитель																							

Окончание таблицы 5

Название работы	Исполнитель	24.03–29.03						30.03–06.04							07.04–11.04				
		24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Составление и утверждение технического задания	Руководитель																		
Подбор и изучение материалов по теме	Инженер																		
Описание объекта проектирования	Инженер																		
Календарное планирование работ по теме	Руководитель																		
Расчет и выбор силового оборудования	Инженер																		
Разработка силовой схемы вольтодобавочного устройства	Инженер																		
Расчет параметров элементов вольтодобавочного устройства	Инженер																		
Выбор элементов вольтодобавочного устройства	Инженер																		
Составление пояснительной записки	Руководитель																		

3.1.4. Бюджет проектирования

Бюджет проектирования складывается из следующих статей расходов:

- материальные расходы;
- амортизация;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Материальные расходы

Стоимость материалов, используемых при разработке данного проекта, приведена в таблице 6.

Таблица 6. Материальные затраты на выполнение проектной работы

Наименование	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Канцелярские товары	250
Компьютер	25000
Итого	25250

Таким образом материальные затраты на выполнение проектирования составляют 25250 рублей.

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. Так как приобретенное оборудование – ноутбук имеет стоимость менее 40 тыс. рублей, то он не относится к основным средствам и, соответственно, расчет амортизации не проводится.

Основная заработная плата

Расчет месячного должностного оклада работника производится по формуле (5):

$$Z_M = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p \quad (5)$$

где Z_{mc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3 (30% от Z_{mc}); k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в научном исследовательском институте за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{mc}); k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (6):

$$Z_{дн} = \frac{Z_M}{26} \quad (6)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле (7):

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (7)$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, рабочих дней;

В состав заработной платы входит основная заработная плата всех участников научного исследования, а также дополнительная заработная плата, которая составляет 12 – 20 % от основной заработной платы (8):

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (8)$$

Пример расчета для руководителя:

$$Z_M = 37000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 72150 \text{ руб.},$$

$$Z_{дн} = \frac{72150}{26} = 2775 \text{ руб.},$$

$$Z_{осн} = 2775 \cdot 11 = 30525 \text{ руб.},$$

$$Z_{зн} = 10200 + 1530 = 11730$$

Таблица 7. Расчёт заработной платы

Исполнители	$Z_{мс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	37000	0,3	0,2	1,3	72150	2775	15	4579	30525
Инженер	25000	0,3	0,2	1,3	48750	1875	31	8719	58125
Итого									88650

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата – заработная плата, начисленная рабочим и служащим не за фактически выполненные работы или проработанное время, а в соответствии с действующим законодательством, в том числе оплата очередных отпусков рабочих и служащих, льготных часов подростков, времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей.

Дополнительная заработная плата рассчитывается с помощью коэффициента $k_{доп}$ по формуле (9):

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (9)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15),

Расчет:

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 30525 = 4579 \text{ (руб)} \quad \text{(для руководителя),}$$

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 58125 = 8719 \text{ (руб)} \quad \text{(для инженера).}$$

Отчисления во внебюджетные фонды

Данная статья расходов включает в себя обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам во внебюджетные фонды. К внебюджетным фондам относятся: фонд социального страхования (ФСС), пенсионный фонд (ПФ), федеральный фонд обязательного медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы (10):

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (10)$$

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

Расчет:

$$Z_{внеб} = 0,3 \cdot (30525 + 4579) = 10531 \text{ (руб)} \quad (\text{руковод.})$$

$$Z_{внеб} = 0,3 \cdot (58125 + 8719) = 20053 \text{ (руб)} \quad (\text{инж.})$$

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

На 2017 г. установлен размер страховых взносов равный 30%.

Таблица 8. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	30525	4579
Инженер	58125	8719
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого		
Руководитель	10531	
Инженер	20053	

Накладные расходы

Накладные расходы – это затраты, которые не попали в предыдущие статьи расходов. К ним относят: оплата электроэнергии, услуги связи, печать и ксерокопирование материалов и т.д. Величина накладных расходов определяется с учетом коэффициента $k_{нр}$ по формуле (11):

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} = (Z_M + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб} + A) \cdot k_{нр} \quad (11)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (16%).

Расчет:

$$Z_{накл} = (25250 + 88650 + 13298 + 30584) \cdot 0,16 = 25245 \text{ (руб.)}$$

3.2. Формирование бюджета затрат проектной работы

После того как рассчитаны все статьи затрат проектирования, можно сформировать окончательный бюджет затрат.

Структура бюджета затрат проекта представлена в таблице 9.

Таблица 9. Бюджет затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Материальные расходы	25250	13,8
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	88650	48,5
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	13298	7,3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	30584	16,7
5. Накладные расходы	25245	13,8
6. Бюджет затрат НТИ	183027	100

В ходе исследования было проведено составление плана работ, проходящих в рамках данного проектирования, определены временные рамки и трудоемкость работ каждого из участников и составлен ленточный график проведения их работ в форме диаграммы Ганта. По результатам расчетов было установлено, что длительность работ для руководителя составляет 11 рабочих дней, а для инженера 31 рабочий день. Общий бюджет проекта НТИ составил 183027 рублей, который складывается из расходов на заработную плату работников (101248 руб.), отчисления во внебюджетные фонды (30584 руб.), материальные расходы (25250 руб.), амортизацию (0 руб.) и накладные расходы (25245 руб.).

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данном разделе описаны решения для улучшения безопасности, условий труда и качества работ в горнодобывающей промышленности. Под понятием безопасность жизнедеятельности понимается комплексная система мер по обеспечению защиты человека и среды его обитания от потенциальных опасностей, которые могут возникнуть при осуществлении конкретной деятельностью. Более сложный вид деятельности, характеризуется более сложным комплексом защитных мер (безопасность этой деятельности). Следующие меры защиты в условиях производства составляют комплексную систему: правовые, организационные, экономические, технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические.

Предприятия (организации) по добыче полезных ископаемых независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности должны осуществлять свою деятельность в соответствии с требованиями Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21 июля 1997 г. № 116–ФЗ и других нормативных правовых актов Российской Федерации, Правил безопасности при ведении горных работ и других нормативно-технических документов, действующих в области промышленной безопасности.

4.1. Охрана труда

Главными задачами промышленных предприятий, учитывая специфику и область деятельности, в которой они работают, являются:

- обеспечение грамотной организации и координации работ по охране труда для максимального сокращения вредных и опасных факторов производства, профилактика несчастных случаев;
- обеспечение контроля за состоянием охраны труда, проведения регламентированных инструктажей, обеспечение персонала необходимой информацией по охране труда;

- обеспечение безопасности зданий и сооружений, производственного оборудования, технологических процессов. Производственные помещения не должны быть в аварийном состоянии, а оборудование должно быть исправно;
- обеспечение работников сертифицированными средствами индивидуальной защиты;
- обеспечение лечебно-профилактических мероприятий для работников и их санитарно-бытовое обслуживание;
- обеспечение мотивационных мероприятий по обеспечению и поддержанию на должном уровне работ по охране труда.

4.2. Вредные и опасные факторы

Горнодобывающая промышленность является одной из самых опасных отраслей народного хозяйства в плане воздействия на здоровье персонала. Работа в шахтах или рудниках сопряжена с воздействием вредных или опасных производственных факторов, таких как:

1. Вредные факторы – это факторы, которые, действуя на работника в течение длительного времени, снижают его работоспособность или приводят к различным заболеваниям, часто называемых профессиональными. К таким факторам относятся:

- вибрация;
- производственный шум;
- запыленность и загазованность;
- недостаток освещения;
- воздействие низких или высоких температур;
- высокие физические нагрузки.

Ниже представлены и описаны методы борьбы с наиболее распространенными вредными факторами горнодобывающего производства.

Вибрация – по своей природе воздействие вибрации делится на общее и местное. Источники общей вибрации на горном предприятии: различные двигатели, компрессоры, дробилки, рельсовый транспорт и т.д. Общая виб-

рация осуществляет воздействие на весь организм человека через опорные поверхности [6].

Нормируемыми параметрами общей вибрации являются среднеквадратичные значения колебательной скорости в октавных полосах частот или амплитуды перемещений, возбуждаемые работой оборудования (машин, станков, электродвигателей, вентиляторов и т. п.) и передаваемые на рабочие места в производственных помещениях (пол, рабочие площадки, сиденье). Регламентируемые параметры введены санитарными нормами СН 245-71. Они не распространяются на средства транспорта и самоходные машины, находящиеся в движении.

Приведенные в нормах допустимые значения параметров вибраций (таблица 10) предназначены для постоянных рабочих мест в производственных помещениях при непрерывном воздействии в течение рабочего дня (8 ч).

Таблица 10. Допустимые значения параметров вибраций

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Допустимая колебательная скорость	
	действующие значения, мм/с	уровни действующих значений, дБ
2	11,2	107
4	5	100
8	2	92
16	2	92
31,5	2	92
63	2	92

Длительное воздействие на организм работника может привести к возникновению вибрационной болезни. Автоматизация технологических процессов является главной мерой по борьбе с общей вибрацией – выведения человека из зоны воздействия вибрации. Если полностью невозможно осуществлять производственный процесс без участия человека, то для защиты работников от воздействия вибрации используются следующие меры: применение виброзащитных кресел на горнодобывающем оборудовании для машинистов различного производственного оборудования; применение устройств вибропоглощения; применение виброизоляционных материалов и т.д. [7]

Воздействие на руки работника применение пневмо- или электроинструмента является примером проявления местной или локальной вибрации. Воздействие данного вида вибрации может привести к возникновению заболевания суставов рук. Правильная организация труда и наличие дополнительных перерывов в работе, а также применение средств индивидуальной защиты являются наиболее действенными мерами профилактики. Средства индивидуальной защиты подразделяются на средства :

- для рук оператора (рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки);
- для ног оператора (специальную обувь, подметки, наколенники).

Для ручных машин предельно допустимые уровни вибрации введены ГОСТ 17770-72. Их параметры определяют: действующие значения колебательной скорости или их уровни в октавных полосах частот в местах контакта машин с руками работающего; силу нажатия (подачи), прикладываемую в процессе работы к ручной машине руками работающего; массу ручной машины или ее частей, воспринимаемую в процессе работы руками работающего.[8]

Допустимые значения колебательной скорости и их уровни в октавных полосах частот приведены в таблице 11.

Таблица 11. Допустимые значения колебательной скорости и их уровни

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Граничные частоты октавных полос, Гц		Допустимая колебательная скорость	
	нижние	верхние	действующие значения, м/с	уровни действующих значений, дБ
8	5,6	11,2	$5,00 \cdot 10^{-2}$	120
16	11,2	22,4	$5,00 \cdot 10^{-2}$	120
31,5	22,4	45	$3,50 \cdot 10^{-2}$	117
63	45	90	$2,50 \cdot 10^{-2}$	114
125	90	180	$1,80 \cdot 10^{-2}$	111
250	180	355	$1,20 \cdot 10^{-2}$	108
500	355	710	$0,90 \cdot 10^{-2}$	105
1000	710	1400	$0,63 \cdot 10^{-2}$	102
2000	1400	2800	$0,45 \cdot 10^{-2}$	99

По временным характеристикам вибрации выделяют:

- постоянные вибрации, для которых величина нормируемых параметров изменяется не более чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения;

- непостоянные вибрации, для которых величина нормируемых параметров изменяется не менее чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения не менее 10 мин при измерении с постоянной времени 1 с, в том числе:

а) колеблющиеся во времени вибрации, для которых величина нормируемых параметров непрерывно изменяется во времени;

б) прерывистые вибрации, когда контакт человека с вибрацией прерывается, причем длительность интервалов, в течение которых имеет место контакт, составляет более 1 с;

в) импульсные вибрации, состоящие из одного или нескольких вибрационных воздействий (например, ударов), каждый длительностью менее 1 с.[9]

Продолжительность работ в области повышенной вибрации нормируется санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.566-96 и ГОСТ 12.1.012-90.

Производственный шум – различные производственные агрегаты являются источниками шума на горнодобывающих предприятиях. Агрессивное и длительное шумовое воздействие на слуховой аппарат может приводить к разрыву барабанной перепонки. Следствием этого является понижение слуха и, как крайний случай, полная глухота.

Предельно допустимые уровни звукового давления, а также максимальное разрешенное время пребывания в зоне шума уровни звука и эквивалентные уровни звука приведены в таблице 12 и 13.

Таблица 12. Предельно допустимые уровни звукового давления

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, дБ
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	80
107	95	87	82	78	75	73	71	69	

Таблица 13. Максимальное разрешенное время пребывания в зоне шума

Уровень шума, дБ	Максимальное разрешенное время пребывания в зоне шума, мин
85	480
88	240
91	120
94	60
97	30
100	15

Таким образом, в зоне с уровнем шума 85 дБ разрешено находиться на протяжении до 8 часов и, наоборот, – уровень соприкосновения с шумом на протяжении 8-часового рабочего дня не должен превышать 85 дБ.

При каждом изменении на +3 дБ мощность соприкосновения с шумом (т.е. уровень энергии в единицу времени) возрастает в 2 раза и, соответственно, разрешенный период пребывания в условиях шума сокращается в 2 раза. Чтобы предусмотренная предельными нормами суммарная энергия не превышала предельных норм, в случае 85 дБ + 3 дБ = 88 дБ рабочее время должно быть сокращено в 2 раза, т.е. с 8 часов до 4 часов.

Для обеспечения борьбы с шумом необходимо начать еще на стадии проектирования машин и оборудования. На производстве борьба с шумом в осуществляется в основном путем укрепления конструкций сооружений, протяжки болтовых соединений кожухов, ограждений и т.д. Шумоизоляция и шумопоглощение – это неотъемлемые мероприятия по борьбе с вредным воздействием шума на здоровье человека, осуществляемые путем установки различных экранов, ограждений, глушителей и т.д. В качестве СИЗ используются противозумные наушники, беруши, реже антифоны. Продолжительность работ в области повышенного звукового давления нормируется санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 и ГОСТ 12.1.003-83.

Запыленность и загазованность – каждая стадия производства горных работ сопровождается загрязнением воздушной среды пылью, выхлопными газами, выделение вредных газов при проведении взрывных работ, при проведении сварочных работ во время ремонта оборудования и т.д. Попадание пыли в верхние дыхательные пути с вдыхаемым воздухом, может привести к

различным заболеваниям дыхательной системы человека, которые можно объединить в группу пневмокониозов. К острому отравлению, накоплению в организме работника вредных веществ или даже тяжелых металлов может привести вдыхание выхлопных газов и газов, образующихся при производстве различных технологических процессов, что в конечном итоге приведет к возникновению хронических заболеваний. Предельно допустимые концентрации пыли в воздухе рабочей зоны на горнодобывающих предприятиях приведены в таблице 14.[10]

Таблица 14. Предельно допустимые концентрации пыли в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³
Кремния диоксид кристаллический при содержании в пыли более 70%	3/1
Кремния диоксид кристаллический при содержании в пыли от 10 до 70%	6/2
Кремния диоксид кристаллический при содержании в пыли от 2 до 10%	-/4
Углерода пыли:	
антрацит с содержанием свободного диоксида кремния до 5%;	-/6
другие ископаемые угли и углеродные пыли с содержанием свободного диоксида кремния до 5%.	-/10
<i>Примечание. В графе ПДК: числитель – максимально разовая ПДК; знаменатель – среднесменная ПДК. Прочерк означает, что норматив установлен в виде среднесменной ПДК.</i>	

Использование респираторов является самым простым и действенным способом оградить персонал от вредного воздействия вдыхаемой пыли, тем самым предотвращая профессиональные заболевания дыхательной системы. Для защиты от вредных газов применяются коллективные средства защиты в виде систем централизованной и местной вентиляции. Продолжительность работ в области повышенной запыленности и загазованности нормируется ГОСТ Р 55175-2012.

2. Опасные факторы – это те факторы, которые в результате своего длительного или кратковременного воздействия на человека приводят к травме или к летальному исходу. Не смотря на все вводимые защитные меры, ужесточение ответственности за несоблюдение правил безопасности при выполнении работ травматизм на производстве всё равно присутствует. Опасные факторы в горнодобывающей промышленности:

- загорание (пожар);
- поражение электрическим током;
- движущиеся элементы производственного оборудования;
- риск обрушения породы или взрыва газа.

Далее приведен анализ наиболее вероятных опасных факторов, сопровождающих работу в горнодобывающей промышленности.

Поражение электрическим током. Современные шахты представляют собой высокомеханизированные предприятия с развитой электрической сетью и большим количеством электрооборудования. Эксплуатация электрооборудования и электросетей в шахтах имеет специфические особенности, повышающие опасность их использования, а именно: непрерывное подвигание фронта работ требует перемещения электрооборудования и наращивания электрических сетей, причем эти работы приходится выполнять в стесненном пространстве с возможными обрушениями, обвалами, выделениями взрывоопасных газов. Повреждение электромашин и электросетей, нарушение изоляции могут служить причиной поражения человека электрическим током, взрывов газа и пыли и возникновения пожаров. Поражение людей электрическим током (электротравмы) происходит: из-за случайного соприкосновения с оголенными проводами или предметами, находящимися под напряжением, или недопустимого приближения к ним, от прикосновения к конструктивным элементам или корпусам электрооборудования, которое оказалось под напряжением в результате пробоя изоляции, при нахождении вблизи места замыкания на землю токоведущих частей.[11]

Электротравмой называется травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги. Основными причинами несчастных случаев, происходящих с людьми, являются: эксплуатация неисправного оборудования без защитного заземления и с отключенной защитой от опасных токов утечки на землю, нарушение изоляции кабелей и проводов, ведение работ вблизи неотключенного и неизолированного контактного провода,

использование опасной конструкции обогревательной аппаратуры и пр. С электротехническим персоналом и лицами надзора несчастные случаи происходят по следующим основным причинам: проведение работ по ремонту и осмотру электрооборудования (главным образом, высоковольтного) в непосредственной близости от токоведущих частей без снятия напряжения, без применения защитных средств и выполнения других мероприятий, обеспечивающих безопасность, проведение работ под напряжением одним лицом, ремонт осветительной сети и замена электроламп под напряжением, другие ошибочные действия электротехнического персонала, выполнение работ необученными лицами, а также имеющими малый стаж работы по электромеханической специальности и пр. Практика показывает, что ремонт и обслуживание электроустановок являются причинами 50 % несчастных случаев, вызванных поражением электрическим током. Погрузочно-разгрузочные и ремонтные работы в выработках с контактной сетью занимают второе место по опасности и числу поражений током.

Наиболее распространенными причинами электротравм в подземных выработках являются преднамеренные отключения, вывод из строя, шунтировка и т. п. средств защиты, а также отсутствие защиты от утечек в контактных сетях. В подземных условиях около 80 % травм происходит при напряжении до 1000 В, так как это напряжение является наиболее распространенным. Наибольшее число электротравм (более 30 %) получают люди в откаточных и вентиляционных штреках, уклонах и ортах, т. е. там, где размещены контактные провода, кабельное хозяйство, сети подземного освещения, соединительные муфты и другое электрооборудование и электромашины.

Особенность поражения человека электрическим током заключается в том, что электротравма, как правило, носит тяжелый или смертельный характер, а взрывы и пожары, вызванные неисправностью электрооборудования, приводят к авариям крупных размеров.

Основными мерами защиты персонала шахт и рудников от поражения электрическим током являются следующие.

1. Обеспечение недоступности прикосновения к токоведущим частям. Эта мера защиты осуществляется монтажом открытых токоведущих частей электроустановок (например, контактный провод электровозной откатки) на недоступной для случайного прикосновения высоте, а также ограждением электрооборудования сетками и т. п.

2. Защита от случайного прикосновения к токоведущим частям. Этот вид защиты обеспечивается закрытым исполнением рудничного электрооборудования, а также применением блокировок, препятствующих доступу к токоведущим частям до снятия с них напряжения и предотвращающих ошибочные действия обслуживающего персонала.

3. Применение пониженного напряжения. Эта мера защиты используется для электроустановок, наиболее опасных в отношении поражения электрическим током (переносные электроустановки — ручные электросвёрла, осветительные и сигнальные установки и т. п., а также источники питания цепей защиты и дистанционного управления).

4. Изоляция нетоковедущих частей, применяющихся для различных видов электрооборудования для предотвращения появления напряжения на нетоковедущих частях при повреждении изоляции токоведущих частей (рукоятки рубильников, ручных электросвёрл и т. д.).

5. Защитное заземление и зануление.

6. Контроль и профилактика повреждений изоляции электроустановок. Как показано выше (см. 3.3.4), состояние изоляции электроустановок в значительной степени определяет уровень электробезопасности. Поэтому контроль и профилактика повреждений изоляции позволяют выявить снижение уровня сопротивления изоляции и появление опасных утечек тока на землю, что, в свою очередь, позволяет своевременно отключить электроустановку и устранить соответствующие повреждения и неисправности.

7. Компенсация емкостных токов утечки на землю. Емкость фаз сети относительно земли определяется общей протяженностью сети, высотой подвеса проводов, толщиной фазной изоляции жил кабелей, т. е. геометриче-

скими размерами. Уменьшить емкость сети практически невозможно, но вполне возможно компенсировать емкостный ток утечки на землю, что достигается подключением между нейтралью и землей компенсирующей катушки (дресселя), индуктивность которой может регулироваться вручную или автоматически.

8. Электрическое разделение сетей. Разветвленная сеть большой протяженности имеет значительную емкость, невысокий уровень активного сопротивления изоляции и, как следствие, большие токи утечки на землю. Если такую сеть разделить на ряд сетей меньшей протяженности и разветвленности, то последние будут обладать значительно меньшей емкостью и более высоким уровнем активного сопротивления изоляции и опасность электропоражения резко снизится.

9. Защитное отключение. Под этим термином понимают быстродействующую защиту, обеспечивающую автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности электропоражений. В электроустановках шахт и рудников защитное отключение осуществляется с помощью реле утечки.

10. Общие меры безопасности. К ним относятся применение изолирующих подставок и ковриков, резиновых бот и перчаток, средств сигнализации; профессиональная подготовка персонала в части техники электробезопасности при эксплуатации электроустановок, широкая разъяснительная работа об опасностях электрического тока и др.

Пожароопасность. Подземный пожар – неуправляемое горение, проходящее под землёй. Сопровождается существенными экономическими, социальными и экологическими последствиями.[12]

Подземные пожары возникают в шахтах, на рудниках, массивах полезных ископаемых. Причиной их являются как внешние тепловые импульсы (неосторожное обращение с огнем, неисправность электрооборудования, трение движущихся деталей машин и механизмов) - экзогенные пожары, так и самовозгорание угля, углистых пород, сульфидных руд - эндогенные пожа-

ры. Особую опасность представляют собой подземные пожары в местах скопления взрывоопасных веществ, в том числе метана, угольной и сульфидной пыли. Подземные пожары могут продолжаться длительные периоды времени (месяцы или годы, в отдельных случаях - до нескольких тысяч лет), пока не истощится тлеющий пласт. Они могут распространяться на значительные площади по шахтным выработкам и трещинам в массиве горных пород. Поскольку они подземные, их чрезвычайно трудно погасить, что не в последнюю очередь связано с трудностью либо невозможностью доступа к очагу горения. Некоторые возгорания угольных пластов - естественные явления. Некоторые угли могут самовозгораться при температурах ниже 100°C) при определённой влажности и размерах кусков. Лесные пожары (вызванные молнией или другие) могут поджигать уголь, залегающий близко от поверхности, и тление может распространяться через пласты, создавая условия для воспламенения более глубоких пластов.

Подземные пожары могут начинаться в результате аварии, обычно вызывая взрыв газа. Так же существует явление эндогенного горения горючих сланцев. Так как сланцы находятся под землей фактически без доступа воздуха, при проходке выработки к залежи сланцев появляется доступ кислорода. Через некоторое время тепла, выделяемого при окислении сланцев хватает на то, чтобы возникло возгорание.

Ликвидацию подземных пожаров в шахтах, а также спасение людей в России осуществляет ВГЧС. Профилактика подземных пожаров и предупреждение их последствий заключаются в том, что наряду с общими пожарно-профилактическими мероприятиями (использование негорючих материалов для крепления горных выработок, трудновоспламеняемых конвейерных лент и электрических кабелей в негорючих оболочках, устройство разветвленной сети пожарного водопровода и др.).

Основные мероприятия противопожарной профилактики в горных выработках следующие:

- запрещение применения открытого огня; при необходимости проведения газо- и электросварочных и паяльных работ их производство допускают при неукоснительном выполнении специальных правил;

- наличие надежной и непрерывной защиты кабелей электрооборудования от утечек и замыканий, искрообразования и перегревов;

- строгое выполнение требований пылегазового режима, ограничение объема взрывных работ в шахтах, опасных по газу и (или) пыли;

- содержание оборудования строго в соответствии с паспортом, особенно в отношении смазки трущихся поверхностей;

- исключение горючих материалов из горных выработок, замена их на негорючие;

- жесткое соблюдение противопожарного режима, трудовой и технологической дисциплины.

Надежное ограничение пожарного очага и последующее его тушение обеспечивают путем заблаговременного выполнения следующих мероприятий:

- подачи воды в любую точку горных выработок путем монтажа водопровода или (и) переключающих устройств на воздухопроводах и оросительной сети;

- обеспечения горных выработок, особенно электромашинных камер, дворов и транспортных узлов огнетушителями и другими первичными средствами пожаротушения, а также средствами автоматического пожаротушения;

- оборудования пожарной сигнализации и связи;

- проведения контроля температуры, скорости, газосодержания вентиляционной струи, особенно при разработке самовозгорающихся пластов (руд);

- возведения крепи из негорючих материалов в устьях стволов и шурфов, на сопряжениях выработок, в электромашинных камерах, капитальных выработках и других пожароопасных местах;

- создания противопожарных складов и поездов с необходимым запасом материалов и оборудования;

- разделения на секции околоствольных дворов и выработок главных направлений с помощью противопожарных дверей и перемычек с запасом материалов.

4.3. Защита окружающей среды

Сегодня вопросы экологии и устойчивого развития являются ключевыми для любой отрасли. Поэтому важно занимать активную позицию в вопросах экологического менеджмента, соответствовать требованиям природоохранного законодательства и улучшать показатели эффективности деятельности, связанной с управлением экологическими аспектами.

Истощение природных ресурсов, загрязнение природной среды, нарушение естественных процессов – всё это результат интенсивного развития горнодобывающей промышленности, что неизбежно влечет за собой негативные последствия для экологического состояния.[13]

Проявление этих изменений приводит к различным сочетаниям негативных явлений, таких как:

- отчуждение территорий нужных для сельского хозяйства для производства горных работ;
- загрязнение и истощение поверхностных и грунтовых вод;
- засоление почв;
- гидрогеологические и гидрохимические изменения;
- загрязнение вредными веществами почвы и атмосферного воздуха, что может привести к изменению микроклимата.

Воздействие горнодобывающих предприятий на окружающую среду осуществляется по следующим основным направлениям:

- изъятие ресурсов: минерально-сырьевых и экологических;
- загрязнение биосферы;
- акустические, электромагнитные и радиационные воздействия.

Для улучшения экологической обстановки – уменьшения вредных выбросов в биосферу используют следующие методы:

➤ управление водными ресурсами:

- совершенствование управления водными ресурсами путем разработки программы устойчивого управления водоснабжением;

- контроль уровня грунтовых вод посредством устройства зумпфов и скважин водозабора;

- минимизация объема сточных вод за счет очистки и использования оборотного водоснабжения там, где это возможно;

- контроль подъема грунтовых вод и его возможных последствий, например, загрязнения грунтовых вод и миграции метана, за счет непрерывного откачивания или очистки выходящих на поверхность рудничных вод;

- обеспечение разделения чистой и загрязненной воды. Необходима очистка загрязненной воды до сброса с учетом характера загрязняющих веществ;

- уменьшение образования осадка в дренажных канавах, а именно:

- использование прудов – отстойников, иловых заграждений и т.д. для предотвращения транспорта наносов;

- высадка растительности по периметру карьера;

- при проектировании и строительстве горнодобывающих предприятий следует предусмотреть технологии минимизации стока, например, ограничители, террасирование, уменьшение крутизны склона, канализационные сооружения.

➤ охрана земель – так как на карьерах добыча сочетается с внутренним образованием отвалов, то для таких случаев существуют схемы разделения карьерного поля, когда в первую очередь часть карьера отрабатывают с временным складированием пород вскрыши на борту, а оставшуюся часть отрабатывают с внутренним отвалообразованием и направляют заскладированные породы в выработанное пространство. Для упразднения опасности осе-

дания почвы над разработкой используют способ заполнения полости пустой. Для того, чтобы сократить потери продуктивных земель происходит размещение отвалов и хвостохранилищ на пустошах; чтобы улучшить бесплодные земли используют породы отвалов и снятую в процессе промышленного строительства почву, уменьшая землеёмкость, можно усовершенствовать отвалообразования с возможностью быстрого и простого процесса рекультивации:[14]

➤ охрана геологической среды. Для охраны геологической среды необходимо осуществлять следующие действия:

- осуществлять охрану минеральных и энергетических ресурсов недр;
- производить профилактические действия для охраны подземных вод;
- крайне важно осуществлять мероприятия по защите источника ресурсов естественного подземного пространства и создания искусственных подземных резервуаров и помещений – массивов горных пород;

- необходимо производить действия, направленные на охрану и улучшение природных и антропогенных грунтов, являющихся основанием для размещения наземных сооружений и составляющих природно-технических систем;

- пытаться прогнозировать и бороться со стихийными бедствиями.

Геологическая среда как источник невозобновляемых природных ресурсов нуждается в охране, целями которой являются:

- обеспечить научно-обоснованное, рациональное использование природного минерального и энергетического ресурсопотенциала, максимально возможной техничеки и экономически выгодной полноты их извлечения из недр, комплекс мер для рационального использования месторождений и добытого минерального сырья на всех стадиях переработки;

- экономически и техничеки грамотное использование минерального сырья и утилизация отходов после завершения производства, исключив тем самым неоправданные потери минерального сырья и топлива.

Применение альтернативных методов получения минерального сырья, а также замена природных материалов синтетическими и др., способствует тому, что повышается эффективность осуществления охраны геологической среды.

4.4. Профилактика чрезвычайных ситуаций

Отсутствие или сбой в работе систем, которые ограничивают или предотвращают возникновение аварийных ситуаций, могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций (ЧС), также к ЧС может привести неэффективность методов, которые предназначены для устранения аварийных ситуаций. Дадим определение понятию чрезвычайная ситуация – непредсказуемое событие, которое угрожает жизни и здоровью работников или рабочему процессу шахты или забоя, требующее эффективного и своевременного комплекса ответных мер для того, чтобы полностью предотвратить или смягчить его последствия.[15]

Все производимые виды работ в горнодобывающей промышленности сопряжены с особым риском и есть вероятность, что они могут привести к возникновениям чрезвычайных ситуаций. Подземные горные выработки всегда связаны с факторами риска, которые могут произойти в любой момент, такие как выделение взрывоопасного газа метана, образование угольной пыли, использование энергоемких систем добычи и вероятность самопроизвольного воспламенения угля. Производя подземную добычу руды ЧС могут возникнуть, например, при обвале пластов породы или неожиданном воспламенении, а в последствии и взрыве определенных веществ и сульфидной пыли. При работе в открытых карьерах риск возникновения ЧС сохраняется и он связан с тем, что в процессе добычи используется мощное высокоскоростное машинное оборудование, также есть возможность внезапного взрыва и нарушения стабильности склонов. В процессе добычи руды есть вероятность опасных взрывов химических соединений, протечки и возникновения в результате прорыва дамбы потока могут случиться при добыче руды.

Меры, которые сопровождают современные методы проведения горнодобывающих процессов, а также эксплуатацию шахт, направлены на полное исключение или сведение к минимуму указанных выше факторов риска. Несмотря на все профилактические меры, аварии регулярно происходят в шахтах Российской Федерации. В России сейчас осуществляет добычу более 50 шахт. Большая часть из них опасны по внезапным выбросам угля, породы и газа, самовозгоранию угля и другим факторам. Всего за период с 1992 года по июнь 2017 года на шахтах России произошла 21 крупная авария, погибли 613 человек. Большинство аварий на угольных шахтах происходит из-за взрыва метана и угольной пыли, но главной причиной является нарушение правил безопасности. То, что допущена взрывоопасная концентрация метана, – это человеческий фактор, который исключить практически невозможно. В настоящее время травматизм на шахтах в России выше, чем в развитых угледобывающих странах. Это связано с тем, на территории РФ сложные горно-геологические условия. США, например, отказались от отработки месторождений в сложных, а значит, и в опасных горно-геологических условиях, так как в связи с увеличением глубины шахт растет и метановыделение, опасность внезапного выброса угля и газа.

Проведение периодических проверок и принятие во внимание расследования произошедших ранее аварий продолжают процесс выявления недостатков в использовании уроков прошлого и применении неэффективных мер, направленных для предотвращения и снижения общеизвестных факторов риска. Зачастую совершение таких ошибок сопровождается отсутствием или недостаточностью адекватных мер, которые могли бы помочь в предотвращении, взятии под контроль или устранении чрезвычайной ситуации.

В данном разделе в общих чертах описано о мерах подготовки к возможным чрезвычайным ситуациям. Использование данного подхода может быть использовано в качестве основы для предотвращения или снижения риска в горнодобывающей промышленности.

Система подготовки к действиям в экстренной ситуации.

Предлагаемая система, позволяющая Добиться состояния готовности к чрезвычайным ситуациям возможно, если следовать системе, основанной на комплексном подходе к предупреждению и предотвращению таких ситуаций, а также умению справиться с ними, если они все же возникли. В системе предусмотрено следующее:

- постановка организационных задач и их реализация;
- осуществление контроля факторов риска;
- определение мер, которые позволяют справиться с непредвиденной ситуацией или аварией;
- разработка и внедрение принципов организации аварийной бригады;
- обеспечение необходимыми площадями, оборудованием и материалами;
- проведение обучения персонала способам выявления, ограничения и оповещения об аварии, а также действиям при мобилизации, при развертывании специальных систем и после аварии;
- проведение регулярных проверок и испытаний для дальнейшей оценки и усовершенствования работы всей системы;
- проверка эффективности системы и повторная оценка факторов риска;
- после устранения возникшей аварии производится критическая оценка работы всей системы и определение мер, необходимых для ее улучшения.

Для обеспечения своевременного, эффективного и безопасного сдерживания и контроля над любой ситуацией необходимо включить системы готовности к действиям в результате ЧС в общую систему управления.

Оценка факторов риска

Чтобы выявить факторы риска, которые характерны для данного производства, а затем определить вероятность и дать оценку последствиям возможных аварий необходимо произвести анализ факторов риска. Используя известные критерии производят оценку факторов риска, затем определяют является ли степень риска допустимой, если окажется, что риск высок, то ус-

танавливают необходимость введения мер для его снижения. Затем производят разработку и реализацию целевых планов по снижению выявленных факторов риска.

В случае возникновения ЧС принятие наиболее эффективных мер реализуется по плану действий, который разрабатывается образом, подобным представленному выше. Предсказать сценарий развития той или иной ситуации позволяет выявление и анализ факторов риска. Также становится возможным определить мероприятия, которые необходимы в каждом конкретном случае. Эти данные ложатся в основу общей стратегии подготовки к экстренным ситуациям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы произведено изучение устройства и принципа работы подземного контактного электровоза. Приведено обоснование технических решений по улучшению технико-экономических показателей подземного электротранспорта: применение нестандартного двигателя и использование устройства последовательной вольтодобавки.

В результате исследования, рекомендовано использовать для конкретно рассмотренного случая нестандартный двигатель с номинальным напряжением питания 177 В переменного тока. Такое решение позволяет повысить эффективность работы электропривода при пониженном напряжении в контактной сети.

Также в данной работе представлен пример технического решения для компенсации просадки напряжения в длинной линии – применение вольтодобавочного устройства на 75 В, необходимого для создания достаточного пускового момента тяговыми асинхронными электродвигателями для приведения в движение полностью загруженного состава, либо в иных тяжелых условиях работы рудничного локомотива.

Вольтодобавочное устройство реализовано на базе автономного инвертора, высокочастотного трансформатора и выпрямителя и позволяет существенно улучшить технико-экономические показатели тягового электропривода по сравнению с аналогичными устройствами предыдущего поколения.

В разделе "Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение" произведено планирование и формирование бюджета для проектирования вольтодобавочного устройства.

В разделе "Социальная ответственность" рассмотрены вопросы по обеспечению безопасности персонала и оборудования в горнодобывающей промышленности. Приведены методы профилактики и борьбы с чрезвычайными ситуациями. Рассмотрен вопрос о защите окружающей среды от вредного воздействия в результате проведения горнодобывающих работ.

Список литературы

1. Организация движения электровозного транспорта [электронный ресурс]: - Режим доступа: http://transport-rudn.ucoz.ru/load/rudnichnye_lokomotivy/organizacija_dvizhenija_ehlektrovozno-go_transporta/11-1-0-51, свободный. – Рудничные локомотивы (дата обращения 23.05.18)
2. ElTechBook.ru [электронный ресурс] : - Виды электродвигателей, – Режим доступа: https://eltechbook.ru/jelektrodvigateli_vidy.html, свободный. (дата обращения 22.05.18)
3. Ferrit Global Mining Solutions [электронный ресурс] : - Czech Republic, – Режим доступа: <http://ferrit.cz/ru/produkty/narocvennyj-transport>, свободный. – Ferrit Rail (дата обращения: 15.11.2017).
4. Копнов А.О. Вольтодобавочное устройство для подземного электро-транспорта / А.О. Копнов, И.В. Никитин // III Всероссийская научно-практическая конференция «ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА», – КузГТУ, 2017.
5. Петрович В.П. Преобразователи постоянного тока / В.П. Петрович, А.В. Глазачев // Силовая электроника, – ТПУ, 2014. – с. 143-167.
6. Промышленная безопасность [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://q02.ru/trub/n/343/index.html>, свободный. (дата обращения: 03.05.18).
7. Бизенкова М.Н. МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТУДЕНЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК [Электронный ресурс] // сетевой журн. - 2017. - Режим доступа: https://www.eduherald.ru/pdf/2017/2017_5_1.pdf. (дата обращения: 03.05.18).
8. Электронная библиотека охраны труда в машиностроении [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.bezo.oglib.ru/bgl/3428/205.html>, свободный. (дата обращения: 03.05.18).
9. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ВИБРАЦИЯ, ВИБРАЦИЯ В ПОМЕЩЕНИЯХ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ [Элек-

тронный ресурс]. - введ. 31.10.96; Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901703281> (дата обращения: 03.05.18).

10. ГОСТ Р 55175-2012 Атмосфера рудничная. Методы контроля запыленности [Электронный ресурс]. - введ. 01.12.2013; Режим доступа: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/53914/>. (дата обращения: 03.05.18).

11. Горная энциклопедия [Электронный ресурс]. - Электроснабжение горных предприятий - Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/e1/elektrosnabzheie-gornyx-predpriyatij/> (дата обращения: 03.05.18).

12. Вопросы общей безопасности [Электронный ресурс]. - Пожары подземные и методы борьбы с ними - Режим доступа: https://xstud.ru/3589/lesovodstvo/podzemnyu_pozhar(дата обращения: 03.05.18).

13. Руководство по экологическим и социальным вопросам по отраслям [Электронный ресурс]. - ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ – ОТКРЫТЫЕ ГОРНЫЕ РАЗРАБОТКИ, - Режим доступа: <http://bus.znate.ru/docs/index-12793.html?page=5>, (дата обращения: 03.05.18).

14. Горная энциклопедия [Электронный ресурс]. - Охрана окружающей среды - Режим доступа: <http://mining-enc.ru/o/oxrana-okruzhayuschej-sredy/>, (дата обращения: 03.05.18).

15. Готовность к экстренным ситуациям [Электронный ресурс]. Режим доступа:<http://www.masters.donntu.edu.ua/2012/iii/gaevskaya/library/article7.htm> (дата обращения: 03.05.18).