

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН**

**Некоммерческое акционерное общество**

**АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ  
имени Г. ДАУКЕЕВА**

**кафедра Электрических машин и электропривода**

**«Допущен к защите»  
Заведующий кафедрой  
к.т.н., профессор Оржанова Ж.К.  
(Ф.И.О., ученая степень, звание)  
\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **2020 г.**  
(подпись)**

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

**На тему: Диагностика неисправностей тягового двигателя электрического транспорта  
Специальность 5В071800 - Электроэнергетика**

**Выполнил (а) Баикатова Лолита Викторовна, ЭЭ(ЭАТ)-16-7  
(Фамилия и инициалы) группа**

**Научный руководитель Алдибеков Исабай Танирбергенович, д.т.н., профессор  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)**

**Консультанты:**

**по технической части:**

\_\_\_\_\_  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **20** г.  
(подпись)

**по экономической части:**

**Тузелбаев Бақберген Ибадиллаевич, доктор PhD  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **20** г.  
(подпись)**

**по безопасности жизнедеятельности:**

**Мананбаева Светлана Евгеньевна, доцент  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **20** г.  
(подпись)**

**Рецензент:**

**Шыныбай Жандос Сапарғалиұлы, доктор PhD  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **20** г.  
(подпись)**

**Алматы 2020**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН**

**Некоммерческое акционерное общество**

**АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ  
имени Г. ДАУКЕЕВА**

Институт: Электроэнергетики и электротехники

Специальность: 5В071800 - Электроэнергетика

Кафедра: Электрических машин и электропривода

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение дипломной работы

Студент: Башкатова Лолита Викторовна

(фамилия, имя, отчество)

Тема работы: Диагностика неисправностей тягового двигателя электрического транспорта

Утверждена приказом ректора № 147 от « 11 » ноября 2019 г.

Срок сдачи законченной работы « 28 » мая 2020 г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта:  
Двигатель ТЛ2К1: номинальная мощность  $P_n=575$  кВт, номинальное напряжение  $U_n=1500$  В, номинальная частота вращения  $n=1500$  об/мин.  
Двигатель ДК-261А: диаметр якоря  $D_a=24,5$  см, номинальная мощность  $P_n=60$  кВт, тип возбуждения - последовательный, число коллекторных пластин - 139, число витков - 28.

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломной работе или краткое содержание:

- 1) Общие сведения о двигателях постоянного тока
- 2) Виды и причины неисправностей тягового электродвигателя
- 3) Технические данные и конструкция тяговых электродвигателей
- 4) Электромагнитный расчет двигателя типа ДК258
- 5) Методы диагностики неисправностей двигателя постоянного тока
- 6) Построение механических характеристик двигателя типа ТЛ2К1
- 7) Ремонт тягового электродвигателя
- 8) Безопасность жизнедеятельности
- 9) Экономическая часть

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- 1) Конструкция двигателя постоянного тока
- 2) Схемы соединения обмоток возбуждения ДПТ
- 3) Конструкция тягового электродвигателя и механические характеристики электродвигателя
- 4) Якорь тягового электродвигателя
- 5) Магнитная цепь
- 6) Схема расстановки освещения

Рекомендуемая основная литература:

1. Системы автоматизированного управления электроприводом: учеб. пособие / Г.И. Гульков, Ю.Н. Петренко, Е.П. Раткевич, О.Л. Симоненкова; Под общ. Ред. Ю.Н. Петренко. – Мн.: Новое знание, 2004. -384 с.: ил.
2. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебн. пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
3. Шеховцев П.В. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов / М.:ФОРУМ, 2010.-352с.
4. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – М: Издательский центр “Академия”, 2004. – 576 с.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Основной	Алдибеков И.Т.		
Безопасность жизнедеятельности	Мананбаева С.Е.		
Экономический	Тузелбаев Б.И.		

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
	Общие сведения о двигателях постоянного тока	18.05.19	
	Виды неисправностей тяговых электродвигателей	20.01.20	
	Причины возникновения неисправностей тяговых электродвигателей.	25.01.20	
	Построение механических характеристик двигателя	10.02.20	
	Электромагнитный расчет активного слоя якоря	28.02.20	
	Расчет магнитной цепи	15.03.20	
	Расчет коммутаций и методы диагностики	30.03.20	
	Обоснование ремонтных работ	15.04.20	
	Экономическое обоснование	20.04.20	
	Безопасность жизнедеятельности	05.05.20	
	Оформление дипломной работы	28.05.2020	

Дата выдачи задания « 19 » ноябрь 2019 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Оржанова Ж.К., к.т.н., профессор  
(подпись) (Фамилия и инициалы, ученая степень)

Руководитель \_\_\_\_\_ Алдибеков И.Т., д.т.н., профессор  
(подпись) (Фамилия и инициалы, ученая степень)

Задание принял к исполнению студент \_\_\_\_\_ Башкатова Лолита Викторовна.  
(подпись) (Фамилия и инициалы, ученая степень)

## Аннотация

Данная дипломная работа выполнена на тему "Диагностика неисправностей тягового двигателя электрического транспорта". В основной части описываются: конструкция, условия эксплуатации тяговых электродвигателей, приводятся основные причины возникновения неисправностей, описаны средства для контрольных проверок, различные схемы и методы диагностики неисправностей до и после капитального ремонта.

Описаны технические данные и конструкция тяговых электродвигателей

Проведен электромагнитный расчет двигателя ДК-261А, с целью определения класса коммутации для номинального режима, а также расчет механических характеристик для двигателя ТЛ2К1.

Были рассмотрены методы диагностирования тяговых электродвигателей, а также способы их устранения. Рассмотрен алгоритм ремонта тягового электродвигателя.

В разделе безопасность жизнедеятельности приводится расчет искусственного и естественного освещения электростанции.

В экономической части проведен расчет экономической эффективности от внедрения линии диагностики, а также расчет затрат на диагностику тяговых электродвигателей.

## Аңдатпа

Бұл дипломдық жұмыс «Электр көлігінің тартқыш қозғалтқыштарының ақаулықтарын диагностикалау» тақырыбына орындалған. Негізгі бөлімде тартқыш электр қозғалтқыштарының конструкциясы, жұмыс шарттары, ақаулардың негізгі себептері, бақылау жүргізу құралдары, күрделі жөндеуден бұрын және кейін диагностиканың түрлі схемалары мен әдістері сипатталған.

Тартқыш қозғалтқыштардың техникалық сипаттамалары мен конструкциялары сипатталған.

ДК-261А қозғалтқышының номиналды режим кезіндегі коммутация класын және ТЛ2К1 қозғалтқышының механикалық сипаттамаларын анықтау үшін электромагниттік есептеу жүргізілді.

Тартқыш электр қозғалтқыштарын диагностикалау әдістері және ақауларды жою әдістері қарастырылды. Қозғалтқышты жөндеу алгоритмі келтірілді.

Тіршілік қауіпсіздігі бөлімінде электр станциясын жасанды және табиғи жарықтандыру есептелді.

Экономикалық бөлімде диагностикалық желіні енгізудің экономикалық тиімділігі, сонымен қатар тартқыш электрқозғалтқыштарды диагностикалау шығындары есептелді.

## **Annotation**

This thesis is done on the topic "Diagnostics of malfunctions of the traction engine of electric vehicles." The main part describes: design, operating conditions of traction electric motors, provides the main causes of malfunctions, describes means for control checks, various schemes and methods for diagnosing malfunctions before and after major repairs.

Technical data and design of traction motors are described.

An electromagnetic calculation of the DK-261A engine was carried out in order to determine the switching class for the nominal mode, as well as the calculation of the mechanical characteristics for the TL2K1 engine.

Diagnostic methods for traction electric motors were examined, as well as methods for their elimination. An algorithm for repairing a traction motor is considered.

The section on life safety provides calculation of artificial and natural lighting of a power plant.

In the economic part, the cost-effectiveness of the introduction of the diagnostic line was calculated, as well as the calculation of the costs of diagnostics of traction motors.

## Содержание

	Введение	9
1	Сведения о двигателях постоянного тока и причины возникновения неисправностей тяговых электродвигателей	10
1.1	Назначение и область применения двигателей постоянного тока	10
1.2	Технические данные и конструкция тяговых электродвигателей	14
1.3	Условия работы тяговых электродвигателей при эксплуатации	16
1.4	Причины возникновения неисправностей тяговых электродвигателей. Виды и частота отказов	16
1.5	Технические средства для проведения контрольных проверок	18
2	Электромагнитный расчет тягового двигателя и построение естественной и искусственной механических характеристик	19
2.1	Электромагнитный расчет тягового двигателя	19
2.2	Построение характеристик механических характеристик	29
3	Диагностика тяговых электродвигателей	37
3.1	Общие положения о диагностике	37
3.2	Методы диагностирования	38
4	Ремонт и испытание тяговых электродвигателей	41
4.1	Ремонт тяговых электродвигателей	41
4.2	Техническое обслуживание тэд	45
4.3	Комплексное испытание тэд после ремонта	46
5	Безопасность жизнедеятельности	47
5.1	Анализ условий труда в электрооборудовании	47
5.2	Разработка мероприятий по улучшению условий труда	48
6	Экономическая часть	56
6.1	Характеристика внедрения системы электродвигателя	56
6.2	Расходы на внедрение системы	57
6.3	Расходы на производство проекта	58
6.4	Эксплуатационные расходы	59
6.5	Расходы на текущие ремонтные работы	59
6.6	Расчет прибыли и рентабельности системы	60
	Заключение	62
	Список литературы	63



## Введение

Одна из наиболее важных задач в структуре городского, а также международного, сельскохозяйственного транспорта - сделать перевозки как можно быстрее и менее затратными. Для решения которой следует внедрять новые технологии и методы эксплуатации подвижного состава.

При постоянном росте городов, а следовательно и населения увеличивается количество перевозок и их дистанция, что усложняет организацию транспортного обслуживания.

Соответствующая, бесперебойная работа троллейбуса или трамвая требует периодической диагностики, наличия специально подготовленного ремонтного персонала. Для чего необходимо развитие различных теорий обслуживания электротранспорта, использование автоматических систем управления и тд.

На исправность подвижного состава прямо влияет, в основном, своевременно выявленные неисправности, т.е. выполнение контрольных проверок при приёмосдаточных испытаниях. Поэтому данная дипломная работа направлена на освещение проблем и методов диагностики тягового электродвигателя – основного элемента электротранспорта и электрооборудования, в целом.

Определению неисправностей в электрических машинах посвящено значительное количество публикаций в периодической печати, имеются научные монографии и патенты.

В последние годы активно внедряется методология диагностирования зарождающихся дефектов роторных узлов, в т.ч. и подшипников. Использование системы диагностирования, ориентированной на обнаружение зарождающихся дефектов и прогнозирование оптимальных сроков проведения технических обслуживаний, позволяет обеспечить максимально возможный экономический эффект за счет снижения трудозатрат, расхода запасных частей и простоев подвижного состава.

Данная дипломная работа направлена на освещение проблем, связанных с диагностикой двигателей электротранспорта. Был проведен обзор конструкций тяговых электродвигателей, каждого элемента в отдельности, с полным описанием их применения. Также был проведен электромагнитный расчет для двигателя ДК261А и построены механические характеристики для двигателя большей мощности ТЛ2к1, при изменении добавочного сопротивления, уменьшении потока и изменении напряжения.

В экономической части рассчитаны затраты на диагностику и содержание тягового электродвигателя, обоснована экономическая выгода и окупаемость затрат на ремонт объекта.

В части безопасности и жизнедеятельности окружающей среды изучены проблемы освещения, проведен расчет естественного и искусственного освещения для нормальных условий работы

# **1 Сведения о двигателях постоянного тока и причины возникновения неисправностей тяговых электродвигателей**

## **1.1 Назначение и область применения двигателей постоянного тока**

Электродвигатели постоянного тока по конструкции подобны синхронным двигателям переменного тока, с разницей в типе тока. В простых демонстрационных моделях двигателя применяли один магнит и рамку с проходящим по ней током. Такое устройство рассматривалось в качестве простого примера. Современные двигатели являются совершенными сложными устройствами, способными развивать большую мощность.

Главной обмоткой двигателя служит якорь, на который подается питание через коллектор и щеточный механизм. Он совершает вращательное движение в магнитном поле, образованном полюсами статора (корпуса двигателя). Якорь изготавливается из нескольких обмоток, уложенных в его пазах, и закрепленных там специальным эпоксидным составом.

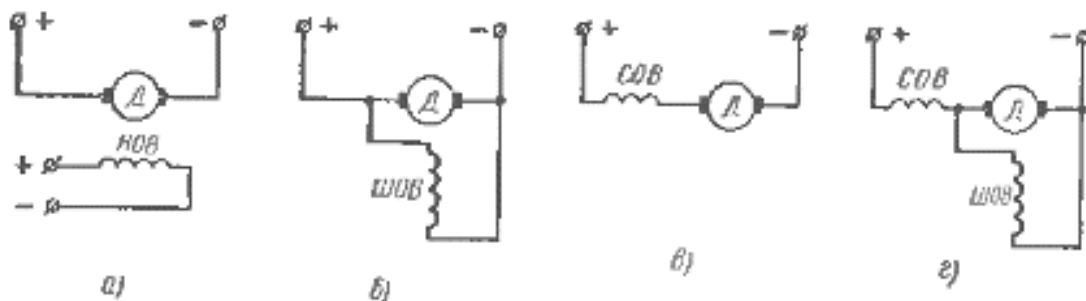
На подвижном составе городского электрического транспорта применяют преимущественно электрические машины постоянного тока. В зависимости от системы возбуждения они классифицируются на машины с последовательным, параллельным и смешанным возбуждением. Все электрические машины, устанавливаемые на трамвайных вагонах и троллейбусах, делятся на две основные группы. К первой группе относятся тяговые двигатели, предназначенные для преобразования электрической энергии постоянного тока в механическую, необходимую для приведения в движение трамвайных вагонов или троллейбусов. Ко второй группе относятся вспомогательные электрические машины - двигатели и генераторы. Вспомогательные двигатели служат для привода компрессоров, вентиляторов, генераторов низкого напряжения и других механизмов. Это двигатели в основном с последовательным возбуждением.

По характеру работы подвижного состава городского электрического транспорта пуск тяговых двигателей происходит под нагрузкой. Кроме того, тяговый двигатель должен иметь широкий диапазон регулирования частоты вращения. Сравнительно небольшая частота вращения якоря двигателя необходима при больших нагрузках (трогание с места и разгон), и по мере уменьшения нагрузки на валу частота вращения должна достичь номинальную и затем превысить ее в 2-2,5 раза. С увеличением сопротивления движению, например, при движении подвижного состава на подъеме, увеличивается сила тяги и, следовательно, потребляемый ток и автоматически должна снизиться скорость движения. Более всего этим требованиям удовлетворяют двигатели с последовательным и смешанным возбуждением, у которых с увеличением тока в якоре возрастает магнитный поток, благодаря чему необходимые пусковые моменты реализуются при сравнительно небольших токах и скоростях, а при уменьшении нагрузки магнитный поток уменьшается, и частота вращения якоря двигателя

увеличивается.

Способы возбуждения электродвигателей постоянного тока.

Под возбуждением электрических машин понимают создание в них магнитного поля, необходимого для работы электродвигателя. Схемы возбуждения электродвигателей постоянного тока показаны на рисунке 1.1.



а - независимое, б - параллельное, в - последовательное, г – смешанное  
Рисунок 1.1 - Схемы возбуждения электродвигателей постоянного тока

По способу возбуждения электрические двигатели постоянного тока делят на четыре группы:

1. С независимым возбуждением, у которых обмотка возбуждения НОВ питается от постороннего источника постоянного тока.
2. С параллельным возбуждением (шунтовые), у которых обмотка возбуждения ШОВ включается параллельно источнику питания обмотки якоря.
3. С последовательным возбуждением (серийные), у которых обмотка возбуждения СОВ включена последовательно с якорной обмоткой.
4. Двигатели со смешанным возбуждением (компаундные), у которых имеется последовательная СОВ и параллельная ШОВ обмотки возбуждения.

Типы двигателей постоянного тока:

Двигатели постоянного тока прежде всего различаются по характеру возбуждения. Двигатели могут быть независимого, последовательного и смешанного возбуждения. Параллельное возбуждение можно не рассматривать. Даже если обмотка возбуждения подключается к той же сети, от которой питается цепь якоря, то и в этом случае ток возбуждения не зависит от тока якоря, так как питающую сеть можно рассматривать как сеть бесконечной мощности, а ее напряжение постоянным.

Обмотку возбуждения всегда подключают непосредственно к сети, и поэтому введение добавочного сопротивления в цепь якоря не оказывает влияния на режим возбуждения. Той специфики, которая существует при параллельном возбуждении в генераторах, здесь быть не может.

В двигателях постоянного тока малой мощности часто используют магнитоэлектрическое возбуждение от постоянных магнитов. При этом существенно упрощается схема включения двигателя, уменьшается расход меди. Следует однако иметь в виду, что, хотя обмотка возбуждения

исключается, габариты и масса магнитной системы не ниже, чем при электромагнитном возбуждении машины.

Свойства двигателей в значительной мере определяются их системой возбуждения.

Чем больше габариты двигателя, тем, естественно, больше развиваемый им момент и соответственно мощность. Поэтому при большей скорости вращения и тех же габаритах можно получить большую мощность двигателя. В связи с этим, как правило, двигатели постоянного тока, особенно малой мощности, проектируются на большую частоту вращения - 1000-6000 об/мин.

Следует, однако, иметь в виду, что скорость вращения рабочих органов производственных машин существенно ниже. Поэтому между двигателем и рабочей машиной приходится устанавливать редуктор. Чем больше скорость двигателя, тем более сложным и дорогим получается редуктор. В установках большой мощности, где редуктор представляет собой дорогостоящий узел, двигатели проектируются на существенно меньшие скорости.

Следует еще иметь в виду, что механический редуктор всегда вносит значительную погрешность. Поэтому в прецизионных установках желательно использовать тихоходные двигатели, которые можно было бы сочленить с рабочими органами либо напрямую, либо посредством простейшей передачи. В связи с этим появились так называемые высокомоментные двигатели на низкие скорости вращения. Эти двигатели нашли широкое применение в металлорежущих станках, где сочленяются с органами перемещения без каких-либо промежуточных звеньев посредством шарико-винтовых передач.

Электрические двигатели отличаются также по конструктивным признакам, связанным с условиями их работы. Для нормальных условий используются так называемые открытые и защищенные двигатели, охлаждаемые воздухом помещения, в котором они устанавливаются.

Воздух продувается через каналы машины посредством вентилятора, размещенного на валу двигателя. В агрессивных средах используются закрытые двигатели, охлаждение которых осуществляется за счет внешней ребристой поверхности или наружного обдува. Наконец, выпускаются специальные двигатели для взрывоопасной среды.

Специфические требования к конструктивным формам двигателя предъявляются при необходимости обеспечения высокого быстродействия — быстрого протекания процессов разгона, торможения. В этом случае двигатель должен иметь специальную геометрию - малый диаметр якоря при большой его длине.

Для уменьшения индуктивности обмотки ее укладывают не в пазы, а на поверхность гладкого якоря. Крепится обмотка клеющими составами типа эпоксидной смолы. При малой индуктивности обмотки существенно улучшаются условия коммутации на коллекторе, отпадает необходимость в дополнительных полюсах, может быть использован коллектор меньших размеров. Последнее дополнительно уменьшает момент инерции якоря двигателя.

Еще большие возможности для снижения механической инерции дает использование полого якоря, представляющего собой цилиндр из изоляционного материала. На поверхности этого цилиндра располагается обмотка, изготавливаемая печатным способом, штамповкой или из про волоки по шаблону на специальном станке. Крепление обмотки осуществляется клеющими материалами.

Внутри вращающегося цилиндра располагается стальной сердечник, необходимый для создания путей прохождения магнитного потока. В двигателях с гладким и полым якорями вследствие увеличения зазоров в магнитной цепи, обусловленного внесением в них обмотки и изоляционных материалов, требуемая намагничивающая сила для проведения необходимого магнитного потока существенно возрастает. Соответственно магнитная система получается более развитой.

К числу малоинерционных двигателей относятся также двигатели с дисковыми якорями. Диски, на которые наносятся или наклеиваются обмотки, изготавливаются из тонкого изоляционного материала, не подверженного короблению, например из стекла. Магнитная система при двухполюсном исполнении представляет собой две скобы, на одной из которых размещены обмотки возбуждения. В связи с малой индуктивностью обмотки якоря машина, как правило, не имеет коллектора и съём тока осуществляется щетками непосредственно с обмотки.

Следует еще упомянуть о линейном двигателе, обеспечивающем не вращательное движение, а поступательное. Он представляет собой двигатель, магнитная система которого как бы развернута и полюсы устанавливаются на линии движения якоря и соответствующего рабочего органа машины. Якорь обычно выполняется как малоинерционный. Габариты и стоимость двигателя велики, так как необходимо значительное число полюсов для обеспечения перемещения на заданном отрезке пути. В отличие от электродвигателей общего назначения тяговые способны вести свою работу во множестве режимов. Данные режимы сопровождаются изменением в частоте вращения ротора.

Зачастую эксплуатация такого устройства, как тяговый электродвигатель, может быть связана с механическими и тепловыми перегрузками, толчками и тряской. Именно поэтому его конструкция отличается повышенной прочностью узлов и деталей — как в механической, так и электрической части. Также токовые части обладают специальной влагостойкой и теплостойкой изоляцией. Использование тяговых двигателей в электротранспорте В связи с активным внедрением в жизнь человека экологичных машин возникла потребность в использовании такого устройства, как тяговый электродвигатель для автомобиля. Именно он является главной движущей силой в такого рода транспортных средствах. В основе его работы лежит электромагнитная индукция. Движущая сила возникает в замкнутом контуре в результате изменения магнитного потока.

Чаще всего сам двигатель размещается между продольными балками

спереди от батареи. В качестве конструкции передачи к ведущим колесам используется задний мост с карданной передачей. Допустимо использование цепной передачи в случае трехколесных моделей электромобилей. В такой ситуации монтаж осуществляет на подрамнике на задней оси.

Тяговый электродвигатель для автомобиля может быть как переменного, так и постоянного тока. Главная его задача состоит в передаче крутящего момента. Такой двигатель несколько отличается от классической электромеханической машины за счет своих компактных размеров и большой мощности. Тяговый электродвигатель для электромобиля допустимо использовать в системе «мотор–колесо», которая еще не нашла активного применения и чаще всего ее можно заметить только в концепт-карах. В качестве исключения можно назвать электромобиль Volage, который поступит в продажу в скором времени. Тяговый электродвигатель постоянного тока обладает рядом преимуществ, а именно: компактные размеры и малый вес, простота эксплуатации, длительный срок службы, отсутствие вредного воздействия на окружающую среду, отличный КПД, возможность рекуперации. Стоит заметить, что существенные недостатки попросту отсутствуют, но один из них состоит в несовершенстве источников тока, которые и не позволяют внедрить эту технологию в массовое производство.

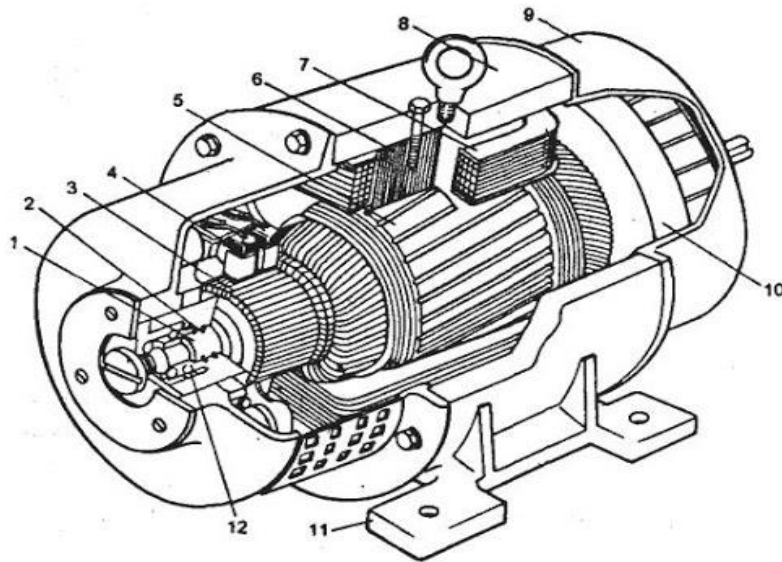
## 1.2. Технические данные и конструкция тяговых электродвигателей

Тяговый двигатель электровоза, как и все двигатели постоянного тока, имеет следующие основные части: остов с полюсами, якорь, щеткодержатели и щетки, подшипниковые щиты. Конструктивные отличия тяговых двигателей от других электрических машин постоянного тока предопределены условиями их работы.

Якорь тягового двигателя преобразует энергию одного вида в энергию другого вида. Основными частями его являются вал, сердечник, нажимные шайбы, обмотка, коллектор и втулка (коробка). У некоторых тяговых двигателей сердечник якоря насажен непосредственно на вал.

Коллектор ТЭД — одна из его наиболее нагруженных частей. В ТЭД с карданными валами диаметры коллекторов достигают 800—900 мм при числе коллекторных пластин  $K=550\dots600$ , окружных скоростях 60-65 м/с.

Для достижения высокого качества токосъема необходимы большая точность изготовления коллекторов, обеспечение стабильности технических свойств в эксплуатации, высокая надежность и износостойкость. Также требуется тщательный уход за ними и своевременное их техническое обслуживание. Как механическая система, коллекторы тяговых двигателей относятся к конструкциям с арочным креплением пластин. Коллекторные пластины совместно с изоляционными прокладками стянуты через изоляционные манжеты конусами коробки и нажимной шайбы по поверхностям.



1 - вал; 2 - передний подшипниковый щит; 3 - коллектор; 4 - щеткодержатель; 5 - сердечник якоря с обмоткой; 6 - сердечник главного полюса; 7 - полюсная катушка; 8 - станина; 9 - задний подшипниковый щит; 10 - вентилятор; 11 - лапы; 12 - подшипник

Рисунок 1.2 - Машина постоянного тока

Силы арочного распора должны исключить или ограничить деформации отдельных коллекторных пластин под действием центробежных сил и сил, вызванных неравномерностями тепловых процессов.

Коллектор — нормально изнашивающаяся часть машины, и поэтому высоту пластин устанавливают с учетом возможности износа по радиусу на 12-15 мм. Высоту консольной части обычно устанавливают с учетом износа на 12-15 мм.

Предельное исполнение ТЭД вынуждает предъявлять к материалам в коллекторах повышенные требования:

1. Холоднокатаная электротехническая медь — твёрдость 75-85 НВ, предел прочности 280 МПа, предел текучести 250 МПа на растяжение и 320 МПа на изгиб. 2. Медь с присадками кадмия и серебра — твёрдость до 95-100 НВ, предел прочности более 350 МПа.

Изоляцию между пластинами изготавливают из коллекторного миканита КФ1 с малым содержанием клеящих веществ с усадкой при давлении более 60 МПа до 7%. Отклонения по толщине прокладок между пластинами не должны превышать 0,05 мм, иначе нарушатся основные размеры двигателя. Миканитовые конусы (манжеты) и цилиндры коллекторов изготавливают из формовочного миканита ФФ24 или ФМ2А, слюдинита или слюдопласта электрической прочностью до 30 кВ/мм.

Деформация подшипниковых щитов ТЭД не должна вызывать недопускаемого уменьшения зазоров в якорных и моторно-осевых подшипниках и нарушений их нормальной работы.

### **1.3 Условия работы тяговых электродвигателей при эксплуатации**

При эксплуатации тягового двигателя электрического транспорта необходимо соблюдать определенные требования и условия работы.

Двигатель электрического транспорта (тяговой электродвигатель – тэг) служит для вращения пар колес электротранспорта. Условия работы таких двигателей заметно отличаются от машин, находящихся в крытых помещениях в неподвижном состоянии, т.к. они не подвергаются периодическим воздействиям извне: окружающая среда, динамические удары со стороны рельсовых путей, непредвиденные изменения значений тока или напряжения.

Несмотря на корпус, на открытом воздухе в тэг попадает пыль и влага. Влага проникает в поры изоляции обмоток двигателя, чем провоцирует ухудшение электрической прочности, способствует возникновению электрического или теплового пробоя, а также приводит к быстрому старению. Если влага еще и сопровождается низкой температурой – образуется иней, коллектор и щеточный аппарат подвергаются обледенению, это приводит к чрезмерному искрению под щетками, так же эта проблема может возникнуть из-за пыли.

При трогании или движении по затяжному подъему тяжеловесных составов или при движении с неполным числом работающих на локомотиве тяговых двигателей токи в них могут превысить их допускаемые значения. Такие даже кратковременные перегрузки могут вызвать повышенное искрение под щетками, нарушить коммутацию, а при определенных условиях привести к образованию кругового огня на коллекторе.

Круговой огонь может возникнуть также и в результате быстрого нарастания тока при переходных процессах, протекающих в тяговых двигателях. Наиболее опасны переходные режимы, возникающие в результате образования кругового огня на соседнем параллельно включенном двигателе или при пробое плеча выпрямительной установки.

Поэтому такие машины должны иметь коммутационную прочность, это устойчивость к искрению. Степень искрения зависит от количества искр, наблюдаемых под щетками.

Также проблему представляет температура воздуха, которая варьируется до 40 °С зимой и до + 50 °С летом. Жара препятствует охлаждению, и машина сильно нагревается, холод приводит к застыванию смазки в подшипниках и т.д.

### **1.4 Причины возникновения неисправностей тяговых электродвигателей. Виды и частота отказов**



По данным эксплуатации наибольшее количество отказов ТЭД (до 40%) бывает из-за таких неисправностей, как, подгар коллектора, выработка коллектора. Данные неисправности связаны с неправильной эксплуатацией подвижного состава т.е. ведение подвижного состава не по правилам, при несвоевременном контроле за нажатием щеток, некачественных щетках.

Так же встречаются такие неисправности, как пробой изоляции обмоток якоря, коллектора, или обмоток главных полюсов ТЭД. Данные отказы возможны при недостаточной электрической прочности, тяжелых условия работы (сырость, грязь). По данным таблицы 2.1 можно судить о количестве отказов по интервалам пробега.

Все виды неисправностей можно избежать при своевременном и качественном техническом контроле, а также повышении профессионального уровня работы водителей трамваев и троллейбусов.

При эксплуатации электроподвижного состава часто встречаются следующие неисправности ТЭД:

- выход из строя ТЭД (подгар коллектора);
- обрыв электрической цепи ТЭД;
- короткое замыкание электрической цепи ТЭД;
- нарушение изоляции в электрической цепи ТЭД.

Причину утечки тока - нарушение изоляции высоковольтной цепи - в простейших случаях можно определить, выявляя неисправную цепь последовательным отключением отдельных участков схемы выключателями. При этом токоприемники установлены на контактные провода, все цепи включены, миллиамперметр показывает утечку тока которая превышает норму (3 мА), даже когда оба токоприемника не установлены на провод положительной полярности.

Предположим нарушение изоляции в цепи тягового электродвигателя. В сложных условиях место нарушения изоляции высоковольтной цепи определяется с помощью мегомметра с соблюдением всех требований техники безопасности. В таблице 1.1 показано количество отказов в зависимости от пробега.

Таблица 1.1 – Количество отказов в зависимости от пробега

Виды Отказов	количество отказов по пробегу (т. км)						
	0 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 50	50 – 60	60 – 70
Подгар кол-ра	4	4	1	6	2	3	3
Износ Щеток	3	1	4	3	2	-	1

С учетом частоты возникновения утечки тока в различных агрегатах целесообразно:

- разбить схему на крупные участки и замерить сопротивление каждого;

- выделить и замерить сопротивление изоляции агрегатов и приборов, в которых наиболее вероятно возникновение неисправностей.

Отыскание места нарушения изоляции ведут в следующем порядке:

- опускают токоприемники и отключают аккумуляторные батареи; выключают автоматический выключатель, выключатели ВВЦ1, ВВЦ2, ВВЦ3, выключают предохранители ПП6, ПП1, ПП5;

- замеряют мегаомметром сопротивление изоляции цепи тягового двигателя;

- отсоединяют обмотку тягового электродвигателя и замеряют сопротивление изоляции: якорной обмотки; тормозного и шунтового реостата, вместе с шунтовой обмоткой тягового двигателя, пускового реостата и индуктивного шунта (или резистора КФ-62А) вместе с серийной обмоткой ТЭД.

Далее в зависимости от нахождения участка с плохой изоляцией отсоединяют:

- отсоединяют шунтовую обмотку ТЭД и измеряют сопротивление изоляции этой обмотки;

- серийную обмотку ТЭД и замеряют сопротивление изоляции этой обмотки;

- выводные провода ТЭД и замеряют их сопротивление изоляции.

Прямое замыкание высоковольтной цепи на корпус, можно определить визуально.

## **1.5 Технические средства для проведения контрольных проверок**

Полную проверку ТЭД на специальных испытательных стендах. Ряд проверок проводят и при отсутствии стендов, если имеются необходимые электроизмерительные приборы и реостаты. Так, например, неисправности электрических цепей тяговых двигателей связанные с обрывом цепи или короткого замыкания, можно определить при помощи омметра. Имеются также конструкции для проведения контрольных проверок ТЭД. Устройство позволяет определить напряжение на тех или иных контактах, проводниках; определить оборван ли проводник, а также обнаружение в цепи короткого замыкания. Устройство включает миллиампер- метр со шкалой на 10-15 мА, резисторы  $R_1$  и  $R_2$ , три контактных гнезда и гальванический элемент напряжением 1.5В.  $R_1$  подбирают так, чтобы при подаче напряжения на гнезда 1 и 3 стрелка миллиамперметра отклонилась на всю шкалу, а  $R_2$  - так чтобы полное отклонение стрелки наблюдалось при замыкании между собой гнезд 2 и 3.

Работа схемы заключается в том, что для проверки напряжения в цепи, устройство подключают гнездами 1 и 3, а для обнаружения обрыва проводника подключают устройство гнездами 2 и 3, аналогично

обнаруживают в цепи короткое замыкание.

Преимущество данной схемы в том, она несложна в изготовлении и очень удобна в работе.

## 2 Электромагнитный расчет тягового двигателя и построение естественной и искусственной механических характеристик

### 2.1 Электромагнитный расчет тягового двигателя

Выполнен расчет тягового электродвигателя типа ДК258

Параметры двигателя ДК-261А:

- система подвески - независимая
  - система возбуждения - последовательная
  - мощность  $P_n = 60$  кВт
- номинальное напряжение:
- на коллекторе 550 В;
  - по отношению к корпусу 550 В.

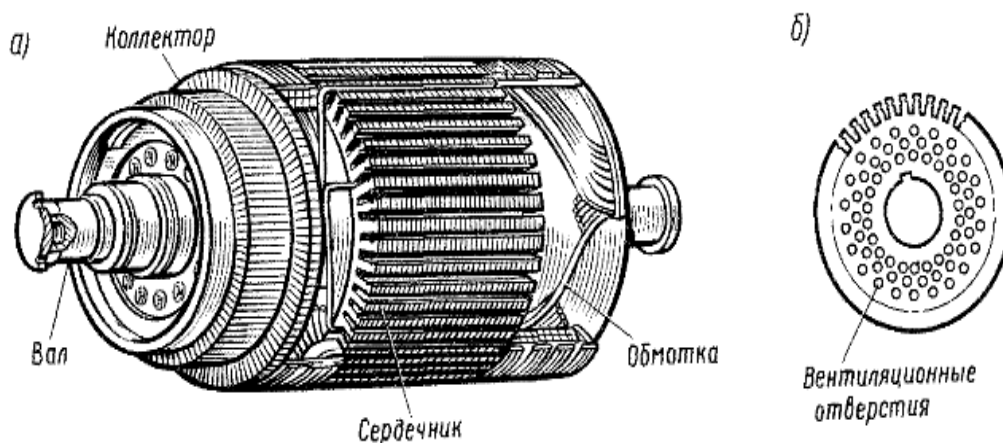


Рисунок 2.1 - Якорь тягового электродвигателя

Расчет активного слоя якоря:

$$J = \frac{A_{ja}}{A}, \quad (2.1)$$

где  $A_{ja}$  - фактор нагрева (для самовентилируемых машин с изоляцией класса В 1700 ÷ 1900;

$A$  - линейная нагрузка.

$$J = \frac{A_{ja}}{A} = \frac{1700}{270} = 6,3 \text{ (A/мм}^2\text{)}.$$

Сечение меди обмотки якоря:

$$q_a = \frac{i_a}{j_a}, \quad (2.2)$$
$$q_a = \frac{i_a}{j_a} = \frac{44,5}{6,3} = 7,06 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Выбираем из таблицы:

$h_{\text{пр}} = 7,4$ мм - высота проводника;

$b_{\text{пр}} = 1$ мм - ширина проводника.

$$q = 7,4 \text{ (мм)}.$$

Ширина зубца по 1/3 высоты паза:

$$Z_{1/3} = \frac{\pi(D_a - 1,33 \cdot h_z)}{Z} - b_2, \quad (2.3)$$

где  $D_a$  - диаметр якоря,  $D_a = 245$ мм;

$Z$  - число зубцов,  $Z = 39$ .

$$Z_{1/3} = \frac{3,14(245 - 1,33 \cdot 24,78)}{39} - 5,54 = 11,5 \text{ (мм)}.$$

Расчетная ширина зубца:

$$Z_{1/3} = Z_{1/3} - 0,2 = 11,5 - 0,2 = 11,3 \text{ (мм)}.$$

Магнитный поток:

$$\Phi = \frac{E \cdot 60 \cdot a}{N \cdot P \cdot n_H}, \quad (2.4)$$

где  $E = 0,9 \cdot U_H = 0,9 \cdot 550 = 495$  В - ЭДС обмотки якоря;

$a=1$ , т.к для волновой л\обмотки  $2a=2$ ;

$p=2$  – число полюсов;

$N= 468$ -число проводников;

$n_H = 1460$  об / мин -номинальная скорость вращения.

$$\Phi = \frac{495 \cdot 60 \cdot 1}{468 \cdot 2 \cdot 1460} = 217 \cdot 10^{-4} \text{ (Вб)}.$$

Длина стального пакета якоря:

$$l_a = \frac{4 \cdot 217 \cdot 10^{-4}}{1,64 \cdot 0,013 \cdot 39 \cdot 39 \cdot 0,62 \cdot 0,94} = 0,179 \text{ (м)},$$

где  $k_c = 0,9$  - коэффициент заполнения пакета сталью.

$B_{z1/3}$  - индукция в зубцах в сечении на расстоянии  $1/3$  от основания зубцов при частоте:

$$f = \frac{n \cdot P}{60}, \quad (2.5)$$

$$f = \frac{1460 \cdot 2}{60} = 48,2 \text{ (Гц)}.$$

### 2.1.2 Расчет магнитной цепи. Активная высота ярма якоря:

Магнитная цепь машины предназначена для создания и распределения магнитного поля в воздушном зазоре.

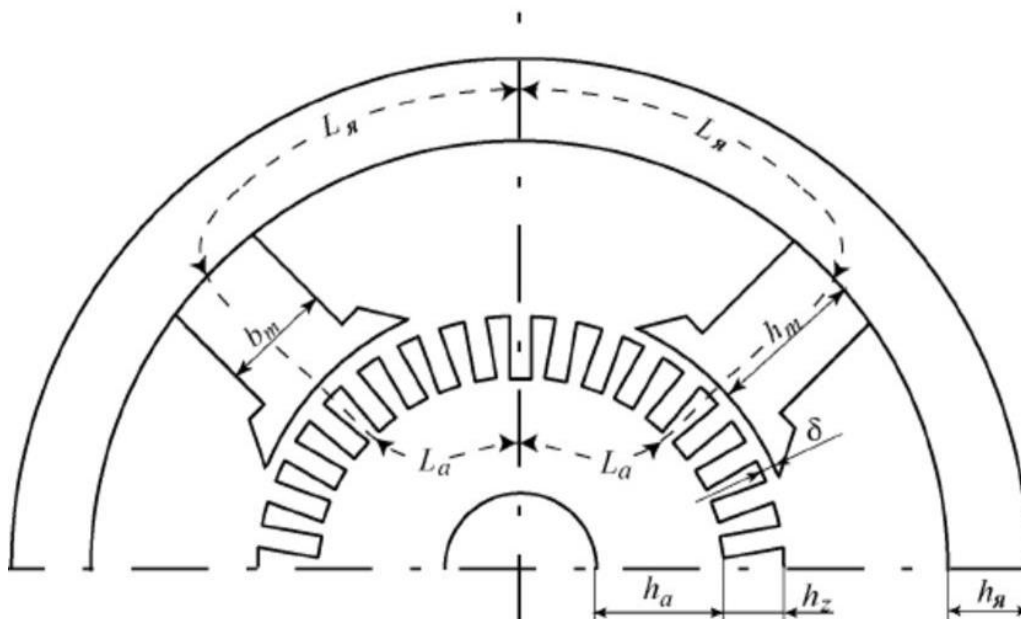


Рисунок 2.2 - Магнитная цепь ДПТ

$$h_a = \frac{\Phi}{2B_a \cdot l_a \cdot 0,94}, \quad (2.6)$$

где  $B_a = 1,08$  Тл - индукция в ярме ;

$l_a$  - длина стального якоря;

$\Phi$  - магнитный поток.

$$h_a = \frac{217 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 1,08 \cdot 0,19 \cdot 0,94} = 0,056 \text{ (м)}.$$

Число рядов вентиляционных каналов и их диаметр:

$$m_k U_k = \frac{D_a - D_i - 2h_z - 2h_a}{1,33} \quad (2.7)$$

где  $D_i = 60$  мм - внутренний диаметр стального пакета;

$D_a = 245$  мм - диаметр якоря;

$h'_a$  - активная высота ярма якоря

$d_k = 15 \div 30$  мм - диаметр канала, выбираем 23 мм;

$m_k$  - число рядов, принимаем 1.

$$m_k U_k = \frac{245 - 60 - 2 \cdot 24,78 - 2 \cdot 56}{1,33} = 18.$$

Индукция в воздушном зазоре:

$$B_\delta = \frac{\Phi}{\alpha \div \tau \cdot l_a}, \quad (2.8)$$

где  $\tau$  - люсное деление;

$l_a$  - Длина пакета якоря.

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_a}{2p} = \frac{3,14 \cdot 0,245}{4} = 0,192 \text{ (м)},$$

$$B_\delta = \frac{\Phi}{\alpha \div \tau \cdot l_a} = \frac{217 \cdot 10^{-4}}{0,62 \cdot 0,192 \cdot 0,179} = 1,01 \text{ (Тл)}.$$

Ширина сердечника главного полюса:

$$b_m = \frac{\delta \cdot \Phi}{B_m \cdot l_m \cdot 0,97}, \quad (2.9)$$

где  $l_m = l_a$  - длина сердечника главного полюса;

$B_m = (1,4 \div 1,7)$  Тл - выбираем 1,6 Тл – индукция в теле главного полюса;

$\delta = 1,18$  - Выбираем коэффициент рассеяния.

$$b_m = \frac{1,18 \cdot 217 \cdot 10^{-4}}{1,6 \cdot 0,179 \cdot 0,97} = 0,09 \text{ (м)}.$$

Внешний размер станины:

$$B \geq \frac{D_a}{0,55}, \quad (2.10)$$

$$B = \frac{0,245}{0,55} = 0,445 \text{ (м)}.$$

Магнитное сечение ярма станины:

$$Q_s = \frac{\delta \cdot \Phi}{2B_s} \quad (2.11)$$

где  $B_s = 1,55$  Тл -индукция в станине.

$$Q_s = \frac{1,18 \cdot 217 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 1,55} = 0,0082 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Толщина круглой станины:

$$h_s = \frac{Q_s}{l_a + 0,8\tau}, \quad (2.12)$$

$$h_s = \frac{0,0082}{0,179 + 0,192} = 0,021 \text{ (м)}.$$

Участок ярма станины:

$$a_8 = \frac{\pi(B - h_8)}{8}, \quad (2.13)$$
$$a_8 = \frac{3,14(0,445 - 0,21)}{8} = 0,167 \text{ (м)}.$$

Магнитное напряжение станины:

$$F_s = H_s \left( \alpha_s - \frac{b_m}{2} \right) + H_s' \frac{b_m}{2} \quad (2.14)$$

где  $H_s = 39$  - находят по таблице при  $B_s = 1,55$  Тл.

Индукция на выходе полюса:

$$B'_s = \frac{\tau\Phi}{2h'_s(l_m + b_m)}, \quad (2.15)$$

где  $b_m$  - ширина сердечника главного полюса;

$$H_s = 227 \text{ А / см}.$$

$$B'_s = \frac{\tau\Phi}{2h'_s(l_m + b_m)} = \frac{1,16 \cdot 217 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 0,21 \cdot (0,179 + 0,09)} = 2,22 \text{ (Тл)},$$

$$F'_s = 32 \cdot (16,7 - \frac{8}{2}) + 227 \cdot \frac{8}{2} = 1314,4 \text{ (А)}.$$

Расчетная величина воздушного зазора:

$$\delta = (0,012 \div 0,015)D_a = 0,015 \cdot 245 = 3,67 \text{ (мм)}.$$

Выбираем  $\delta = 4,5$  мм.

Определим поток при  $n_{\max}$ :

$$\Phi' = \frac{0,97 \cdot U_H \cdot 60 \cdot \alpha}{N \cdot P \cdot n_{\max}} = \frac{0,97 \cdot 550 \cdot 60 \cdot 1}{468 \cdot 2 \cdot 4050} = 84,44 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

Определим поток при  $n_{\max} = 4050$  об / мин - максимальная частота вращения.

Индукция на высоте 1/3 от основания зубца:

$$B'_{Z1/3} = \frac{2P \cdot \Phi}{Z \cdot Z'_{1/3} \cdot \alpha \cdot l_a \cdot 0,94} = \frac{4 \cdot 84,44 \cdot 10^{-4}}{39 \cdot 0,62 \cdot 0,94 \cdot 0,179 \cdot 0,0013} = 1 \text{ Тл}$$

Размагничивающая реакция якоря при  $n_{\max}$ :

$$F'_{ря} = K'_p \cdot (F_{ря})' = 0,04 \cdot 2592 = 104 \text{ А}$$

где  $K''_p = 0,04$  для  $B'_{\frac{1}{3}} = 1$  Тл;

$$F_{ря} = \frac{A \cdot \tau}{2} = \frac{270 \cdot 19,2}{2} = 2582 \text{ А}$$



где  $A = 270 \text{ А / см}$  - линейная токовая нагрузка;

$\tau = 19,2$  - полюсное деление.

Индукция в зазоре при  $n_{\max}$ :

$$B'_\delta = \frac{\Phi'}{\alpha \cdot \tau \cdot l_a} = \frac{84,44 \cdot 10^{-4}}{0,62 \cdot 0,192 \cdot 0,179} = 0,4 \text{ Тл}$$

Находим н.с в зазоре:

$$F'_\delta = 0,8 \cdot K_\delta \cdot \delta \cdot B'_\delta = 0,6 \cdot 1,09 \cdot 4,5 \cdot 0,4 \cdot 10^3 = 1177,2 \text{ А}$$

где

$$K_\delta = \frac{10\delta + t_1}{10\delta + Z_1} = \frac{45 + 19,7}{45 + 14,16} = 1,09$$

Зубцовый шаг по окружности якоря равен:

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D_a}{Z} = \frac{3,14 \cdot 245}{39} = 19,7 \text{ мм}$$

Ширина зубца по окружности якоря;

$$Z_1 = t_1 - b_z = 19,7 - 5,54 = 14,16 \text{ мм}$$

$$F'_\mu = 1,1F'_\delta = 1,1 \cdot 1177,2 = 1294,92 \text{ А}$$

$$F'_b = F'_\mu + F'_{\text{ря}} = 104 + 1294,92 = 1398,92 \text{ А}$$

Межламельное напряжение:

$$e_{\max} = \frac{U_n \cdot 2P}{K \cdot \alpha} \left(1 + 0,45 \frac{F_{\text{ря}}}{F_b}\right) = \frac{550 \cdot 4}{117 \cdot 0,62} \left(1 + 0,45 \cdot \frac{2582}{1398,92}\right) = 32 \text{ В}$$

Высота главного полюса:

$$h_m = \frac{B - D_a - 2h_s - 2\delta}{2} = \frac{445 - 245 - 2 \cdot 22 - 2 \cdot 4,5}{2} = 84,2 \text{ мм}$$

где  $B = 445 \text{ мм}$  - наружный габарит станины.

Число витков обмотки возбуждения:

$$W = \frac{F_b}{I_H} = \frac{5685}{89} = 64$$

где  $F_b = F_M + F_{\text{ря}} = 311 + 5374 = 5685 \text{ A}$

### 2.1.3 Расчет коммутации

Зона коммутации отнесенная к  $D_a$  :

$$b_k = \beta_k \cdot \frac{D_a}{D_k} (U_k + \gamma_{\text{щ}} + E_k - 1) = 0,56 \cdot \frac{245}{208} (3 + 2 + \frac{9}{4} - 1) = 4,12,$$

где укорочение обмотки в коллекторном делении:

$$E_k = E \cdot U_k = 3 \cdot \frac{3}{4} = \frac{9}{4};$$

$$E_k = \frac{Z}{2p} - Y_z = \frac{39}{4} - 9 = \frac{3}{4};$$

$\gamma_{\text{щ}} = (2 \div 4)$  - коэффициент щеточного покрытия:  $\gamma = \frac{b_{\text{щ}}}{\beta_k} = 2$

Соотношение между зоной коммутации между полюсным окном:

$$\frac{b_k}{\tau(1 - \alpha)} \leq 0,65 \frac{4,12}{19,2(1 - 0,62)} = 0,56$$

Площадь щеток одного щеткодержателя:

$$Q_{\text{щ}} = \frac{I_H}{j_{\text{щ}} \cdot p_{\text{щ}}} = \frac{89}{11 \cdot 2} = 4 \text{ см}^2$$

Магнитная проводимость паза над медью:

$$\lambda_{\text{пн}} = \mu K_{\delta} \cdot \frac{h_b}{B_z} = 1,25 \cdot 0,92 \cdot \frac{14,8}{3 \cdot 5,59} \cdot 10^{-6} = 1,02 \cdot 10^{-6}$$

где  $K_i = 0,92$ , для  $h_{\text{пр}} = 7,4 \text{ мм}$  - коэффициент учитывающий

уменьшение потока рассеяния от вытеснения тока в верхнюю часть проводника в процессе коммутации;

$$h_{\text{я}} = 2h_{\text{пр}} = 2 \cdot 7,4 = 14,8 \text{ мм}$$

Проводимость по коронкам зубцов:

$$\lambda_{\text{пя}} = \mu \cdot \frac{B_g - B_z}{4K_{\delta_d} \cdot \delta_d} = 1,25 \cdot \frac{27 - 5,54}{4 \cdot 1,08 \cdot 5,5} \cdot 10^{-6} = 1,13 \cdot 10^{-6}$$

Воздушный зазор под добавочным полюсом:

$$\delta_d = \delta + 1 = 4,5 + 1 = 5,5 \text{ мм}$$

Коэффициент воздушного зазора для дополнительного полюса:

$$K_{\delta_d} = \frac{10\delta_d + t_1}{10\delta_d + Z_1} = \frac{55 + 19,7}{55 + 14,6} = 1,08$$

$$t_1 = \frac{\pi + D_a}{10\delta_d + Z_1} = \frac{3,14 \cdot 245}{39} = 19,7 \text{ мм}$$

$$Z_1 = t_1 - b_1 = 19,7 - 5,54 = 14,16 \text{ мм}$$

Ширина полюсного наконечника дополнительного полюса

$$b_d = (1,2 \div 1,5)t_1 = 27 \text{ мм}$$

Магнитная проводимость лобовых частей:

$$\lambda_{\text{л}} = 0,37 \cdot \mu_0 \frac{l_{\text{л}}}{l_a} \lg\left(1 + \frac{\pi \cdot \tau}{4 \cdot h_z}\right) = 0,37 \cdot 1,25 \cdot \frac{25}{19} \cdot \lg\left(1 + \frac{3,14 \cdot 14,2}{4 \cdot 2,478}\right) = 0,52 \cdot 10^{-6}$$

Магнитная проводимость пазового рассеяния:

$$\lambda = \lambda_{\text{пл}} + \lambda_{\text{пя}} + \lambda_{\text{к}} + \lambda_{\text{л}} = (1,57 + 1,02 + 1,13 + 0,52) \cdot 10^{-6} = 4,24 \cdot 10^{-6}$$

Среднее значение реактивной э.д.с:

$$e_z = \frac{8i_a \cdot U_k + W^2 \cdot \lambda \cdot I_a \cdot U_k}{\beta_k (a_k + e_k + \gamma - 1)} = \frac{8 \cdot 45,9 \cdot 4 \cdot 4,24 \cdot 10^{-6} \cdot 0,19 \cdot 17,2 \cdot 3}{0,0056(3 + \frac{3}{4} \cdot 3 + 2 - 1)} = 1,74 \text{ В}$$

Индукция в зазоре под дополнительным полюсом:

$$B_d = \frac{I_\lambda}{2W_c \cdot I_a \cdot V_a} = \frac{1,74}{4 \cdot 0,19 \cdot 20,3} = 0,112 \text{ Тл}$$

Н.с. в зазоре под дополнительным полюсом:

$$F_{\delta_d} = \frac{1}{\mu_0} B_\delta \cdot K_{\delta_d} = \frac{1}{1,25 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,012 \cdot 1,08 \cdot 5,5 = 532 \text{ А}$$

Н.с. катушки дополнительного полюса:

$$h_d = \frac{B - D_a - 2\delta_d - 2h_s}{2} = \frac{445 - 245 - 11 - 44}{2} = 72,5 \text{ мм}$$

Проводимость пути потока рассеяния на единицу длины сердечника:

$$\lambda_{sd} = 0,8 \cdot \mu_0 \cdot \frac{n_d}{S} = 0,8 \cdot \frac{72,5}{30} \cdot 1,25 \cdot 10^{-6} = 2,42 \cdot 10^{-6}$$

Поток рассеяния дополнительного полюса:

$$\Phi_s = (F_{\text{ря}} + F_{\delta_d}) \lambda_{sd} \cdot I_a = 3124 \cdot 2,42 \cdot 0,19 \cdot 10^{-6} = 14,4 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

Полезный поток дополнительного полюса в зазоре:

$$\Phi_d = B_d \cdot I_a (b_d + 3\delta_d) = 0,112 \cdot 0,19(27 + 3 \cdot 5,5) = 9,25 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

Коэффициент рассеяния дополнительного полюса:

$$B_{\text{мд}} = B \cdot \delta_d \cdot \frac{b_d + 3\delta_d}{b_{\text{мд}}} = 0,112 \cdot 2,6 \cdot \frac{27 + 3 \cdot 5,5}{20} = 0,63 \text{ Тл}$$

Число витков катушки дополнительного полюса:

$$W_3 = \frac{F_d}{I_H} = \frac{3124}{89} = 35$$

Сечение проводника катушки дополнительного полюса:

$$q = \frac{I}{j} = \frac{89}{3,88} = 26,3 \text{ мм}^2$$

Сечение проводника катушки главного полюса:

$$q = \frac{I}{j} = \frac{89}{3,5} = 25,4 \text{ мм}$$

Для оценки фактора искрения, определим сопротивление секций:

$$r_c = \rho \frac{2l_{cp}}{q} = \frac{1}{44} \cdot \frac{2 \cdot 0,44}{7,4} = 0,029 \text{ Ом}$$

Сопротивление щетка-коллектор:

$$R_{щ} = \frac{\Delta U}{I_{щ}} \cdot \gamma_{щ} = \frac{1}{89} \cdot 2 = 0,0224 \text{ Ом}$$

Ток в коммутируемой секции:

$$i_k = \frac{\beta_d \cdot k_r \cdot I_\lambda}{R_{щ} + r_c} = \frac{2 \cdot 0,13 \cdot 1,74}{0,029 + 0,0224} = 8,47 \text{ А}$$

Индуктивность коммутируемой секции равна:

$$L_c = 2l_a \cdot \lambda \cdot W_c^2 = 2 \cdot 0,19 \cdot 4 \cdot 4,24 \cdot 10^{-6} = 6,44 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

Определим фактор искрения:

$$\Phi_{и} = \left(\frac{40}{D_k}\right)^1 = 0,0149 \text{ Вб}$$

На основании данного электромагнитного расчета, можно выбрать параметры и признаки диагностирования тяговых электрических двигателей и составить программу диагностики.

## 2.2 Построение механических характеристик тягового электродвигателя

Принцип работы тягового электродвигателя тл-2к и построение его механических характеристик.

При прохождении тока по проводнику, расположенному в магнитном поле, возникает сила электромагнитного взаимодействия, стремящаяся перемещать проводник в направлении, перпендикулярном проводнику и магнитным силовым линиям. Проводники обмотки якоря в определенном порядке присоединены к коллекторным пластинам. На внешней поверхности коллектора установлены щетки положительной (+) и отрицательной (-) полярностей, которые при включении двигателя соединяют коллектор с источником тока. Таким образом, через коллектор и щетки получает питание током обмотка якоря двигателя. Коллектор обеспечивает такое распределение тока в обмотке якоря, при котором ток в проводниках, находящийся в любое мгновение времени под полюсами одной полярности, имеет одно направление, а в проводниках, находящихся под полюсами другой полярности - противоположное.

Катушки возбуждения и обмотка якоря могут получать питание от разных источников тока, т. е. тяговый двигатель будет иметь независимое возбуждение. Обмотка якоря и катушки возбуждения могут быть соединены параллельно и получать питание от одного и того же источника тока, т.е. тяговый двигатель будет иметь параллельное возбуждение. Обмотка якоря и катушки возбуждения могут быть соединены последовательно и получать питание от одного источника тока, т.е. тяговый двигатель будет иметь последовательное возбуждение. Сложным требованием эксплуатации наиболее полно удовлетворяют двигатели с последовательным возбуждением, поэтому их применяют на электровозах.

Номинальные данные:

– номинальная механическая мощность на валу электрического двигателя  $P_H = 575$  кВт;

– номинальное напряжение питающей сети постоянного тока, прикладываемое к зажимам обмотки якоря электродвигателя  $U_{ан} = 1500$  В;

– номинальная частота вращения якоря электродвигателя  $n_H = 830$  об/мин;

– суммарное электрическое сопротивление последовательной цепи обмотки якоря и полюсов  $R_S = R_a + R_{гп} + R_{дп} = 0,09$  Ом,

где  $R_a$  – электрическое сопротивление обмотки якоря,  $R_{гп}$  – электрическое сопротивление катушек главных полюсов,  $R_{дп}$  – электрическое сопротивление катушек добавочных полюсов.

Номинальная частота вращения якоря заданного электродвигателя в рад./сек.

$$\Omega = \frac{\pi n_{ном}}{30}, \quad (2.16)$$

$$\Omega = \frac{3,14 \cdot 830}{30} = 86,3.$$

Номинальный электромагнитный момент, развиваемый на валу электродвигателя:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\Omega_n}, \quad (2.17)$$

$$M_{ном} = \frac{575 \cdot 10^8}{86,8} = 6619 \text{ (НМ)}.$$

В общем виде уравнение механической характеристики электродвигателя постоянного тока:

$$\Omega = \frac{U_{аном}}{C\Phi} - \frac{(R_a + R_{zn} + R_{dn})}{C^2\Phi^2} \cdot M. \quad (2.18)$$

Электромагнитный момент, развиваемый электродвигателем постоянного тока

$$M = C\Phi I.$$

Для электродвигателей постоянного тока последовательного возбуждения ток обмотки якоря и магнитный поток возбуждения при ненасыщенной магнитной системе могут быть связаны следующим соотношением

$$I = K\Phi.$$

Тогда выражение для электромагнитного момента приобретает следующий вид

$$M = C\Phi I = CK\Phi^2,$$

или отсюда величина магнитного потока возбуждения

$$\Phi = \sqrt{\frac{M}{CK}}.$$

Подставляя выражение для магнитного потока возбуждения в выражение для механической характеристики электродвигателя постоянного тока, имеем

$$\Omega = \frac{U_{аном}}{\sqrt{M} \cdot \frac{\sqrt{C}}{K}} - \frac{(R_{\Sigma} + R_{\delta})}{\frac{C}{K}}.$$

Для упрощения выражения введем промежуточный коэффициент  $A = \frac{C}{K}$   
тогда

$$\Omega = \frac{U_{аном}}{\sqrt{M} \cdot \sqrt{A}} - \frac{(R_{\Sigma} + R_{\delta})}{A}.$$

Обозначив как  $X = \sqrt{A}$ , получим

$$\Omega = \frac{U_{аном}}{\sqrt{M} \cdot X} - \frac{(R_{\Sigma} + R_{\delta})}{X^2}.$$

Решаем квадратное линейное уравнение относительно X,

$$X^2 - \frac{U_{аном}}{\sqrt{M} \cdot \Omega} X + \frac{(R_{\Sigma} + R_{\delta})}{\Omega} = 0.$$

Решения квадратного уравнения имеют вид:

$$X_{1,2} = \frac{U_{аном}}{2\sqrt{M} \cdot \Omega} \pm \sqrt{\frac{U_{аном}^2}{4\Omega^2 M_{ном}} - \frac{(R_{\Sigma} + R_{\delta})}{\Omega_{ном}}}.$$

Для номинального режима электродвигателя имеем:

$$X_1 = 0,006,$$

$$X_2 = 0,206.$$

Механическая характеристика электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения для обеих корней выглядит следующим образом:

$$\Omega = \frac{U_{аном}}{0,1339\sqrt{M}} - \frac{(R_{\Sigma} + R_{\delta})}{0,1339^2} \text{ и}$$



$$\Omega = \frac{U_{аном}}{0,0138\sqrt{M}} - \frac{(R_{\Sigma} + R_{\delta})}{0,0138^2} .$$

Определим пусковой электромагнитный момент электродвигателя (при частоте вращения  $\Omega = 0$ ) по обеим характеристикам. Получаем по первой механической характеристике пусковой момент  $M_{п} = 9506$  Нм, повторой –  $M_{п} = 11202409$  Нм. Из физических соображений выбираем первую механическую характеристику, так как электродвигатели постоянного тока последовательного возбуждения должны обладать большим пусковым моментом и, следовательно, большой перегрузочной способностью.

Таким образом, окончательно естественная механическая характеристика электродвигателя постоянного тока запишется следующим выражением

$$\Omega = \frac{U_{аном}}{0,1339\sqrt{M}} - \frac{(R_{\Sigma} + R_{\delta})}{0,1339^2} .$$

Рассчитаем естественную механическую характеристику электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения. Результаты расчета представлены в таблице 1. Здесь же приведем результаты расчета реостатных механических характеристик электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения для добавочных сопротивлений в цепи обмотки якоря равны.

При этом полагаем, что в процессе изменения добавочного сопротивления в цепи обмотки якоря напряжение на зажимах якорной обмотки электродвигателя остается неизменным и равным номинальному  $U_{аном}$ .

$R_{д} = 0,0923; 0,1846; 0,2769$ . Ом приведено на таблице 2.1 и на рисунке 2.1.

Таблица 2.1 – Семейство реостатных характеристик электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения

М Нм	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	1000 0	При-меч
$\Omega$ рад./с	160,7	130,8	113	100,8	91,9	84,9	79,3	74,6	70,7	$R_{д}=0$
$\Omega$ рад./с	156,3	126,4	108,6	96,5	87,5	80,5	74,9	68,3	68,3	$R_{д}= 0,1846$
$\Omega$ рад./с	151,9	122	104,3	92,1	83,1	76,1	70,5	61,9	61,9	$R_{д}= 0,3692$
$\Omega$ рад./с	143,3	113,4	95,6	89	74,4	67,5	61,8	53,2	53,2	$R_{д}= 0,738$

Так как в электродвигателе постоянного тока последовательного возбуждения один и тот же ток протекает по обмотке якоря и по обмотке возбуждения, электромагнитный момент определяется квадратом магнитного потока возбуждения, и, следовательно, при уменьшении магнитного потока возбуждения в  $\sqrt{2}$  раза коэффициент  $X$  в выражении для механической характеристики уменьшится в  $\sqrt{2}$  раз. Тогда выражение механической характеристики электродвигателя приобретет вид

$$\Omega = \frac{U_{\text{аном}} \cdot \sqrt{2}}{0,1339\sqrt{M}} - \frac{(R_{\Sigma} + \sqrt{2})^2}{0,1339^2} = \frac{U_{\text{аном}}}{0,147\sqrt{M}} - \frac{(R_{\Sigma} + \sqrt{2})^2}{0,0212}.$$

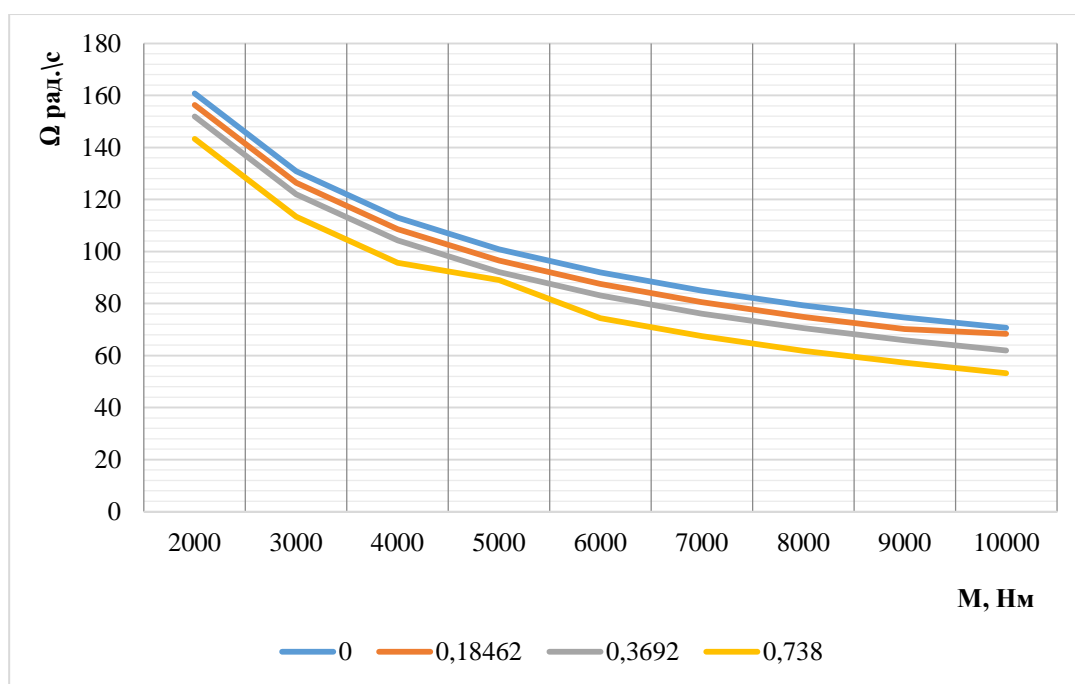


Рисунок 2.3 – Семейство механических характеристик двигателя постоянного тока последовательного возбуждения при регулировании

Естественная механическая характеристика электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения ( $\Phi = \Phi$ ) и его искусственная характеристика при магнитном потоке возбуждения равном  $\Phi' = 0,5\Phi$  приведены ниже в таблице 2.2 и рисунке 2.2.

Таблица 2.2 – Семейство механических характеристик электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения при полюсном регулировании

M Нм	20 00	3000	4000	5000	6000	7000	8000	900 0	1000 0	Примечание
Ω	16 0,7	130,8	113	100,8	91,9	84,9	79,3	74,6	70,7	Φ=Φ

$\Omega$	22 3,8	182	157	140	127, 4	117, 6	109,7	103, 2	97,7	$\Phi' = 0,5\Phi$
----------	-----------	-----	-----	-----	-----------	-----------	-------	-----------	------	-------------------

Частоту вращения двигателей последовательного возбуждения можно регулировать изменением напряжения  $U$ . Изменение подводимого к двигателю напряжения возможно при питании двигателя от источника постоянного тока с регулируемым напряжением. При уменьшении подводимого к двигателю напряжения его механические характеристики смещаются вниз, практически не меняя своей кривизны.

В таблице 2.3 приведены результаты расчета искусственных механических характеристик электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения при разных значениях напряжения:  $U_1 = U_{\text{ном}} = 1500 \text{ В}$ ;  $U_2 = 0,5 U_{\text{ном}} = 750 \text{ В}$ ;  $U_3 = 0,25 U_{\text{ном}} = 375 \text{ В}$ .

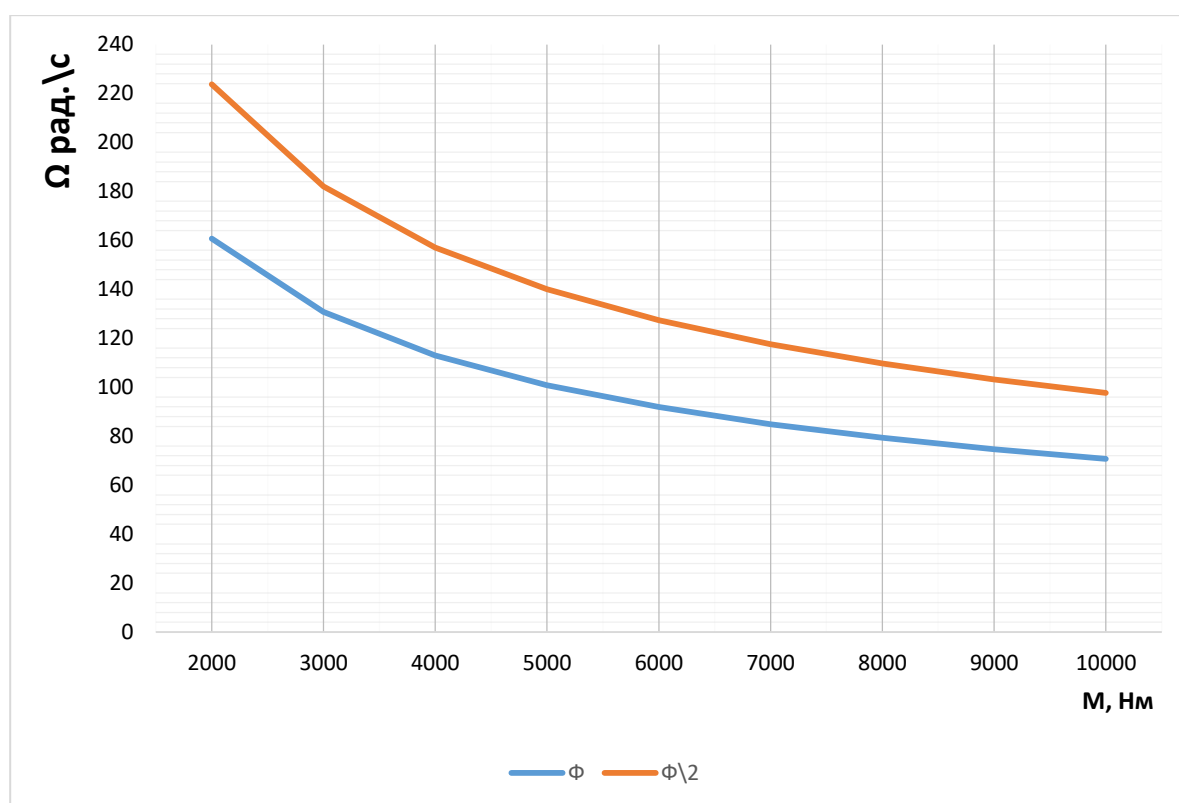


Рисунок 2.4 – Семейство механических характеристик электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения при полюсном регулировании

Таблица 2.3 – Результаты расчета искусственных механических характеристик электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения при разных значениях напряжения

М	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	Примечани е
$\Omega$ рад./с	160, 7	130,8	113	100,8	91,9	84,9	79,3	74,6	70,7	$U_1=U_{ном}$
$\Omega$ рад./с	109, 7	88,8	76,3	67,8	61,5	56,6	52,7	49,4	46,7	$U_2=0,5U_{ном}$
$\Omega$ рад./с	52,7	42,2	36	31,7	28,6	26,1	24,2	22,6	21,2	$U_3=0,25U_{ном}$

На рисунке 2.5 показаны искусственные механические характеристики электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения при разных значениях напряжения

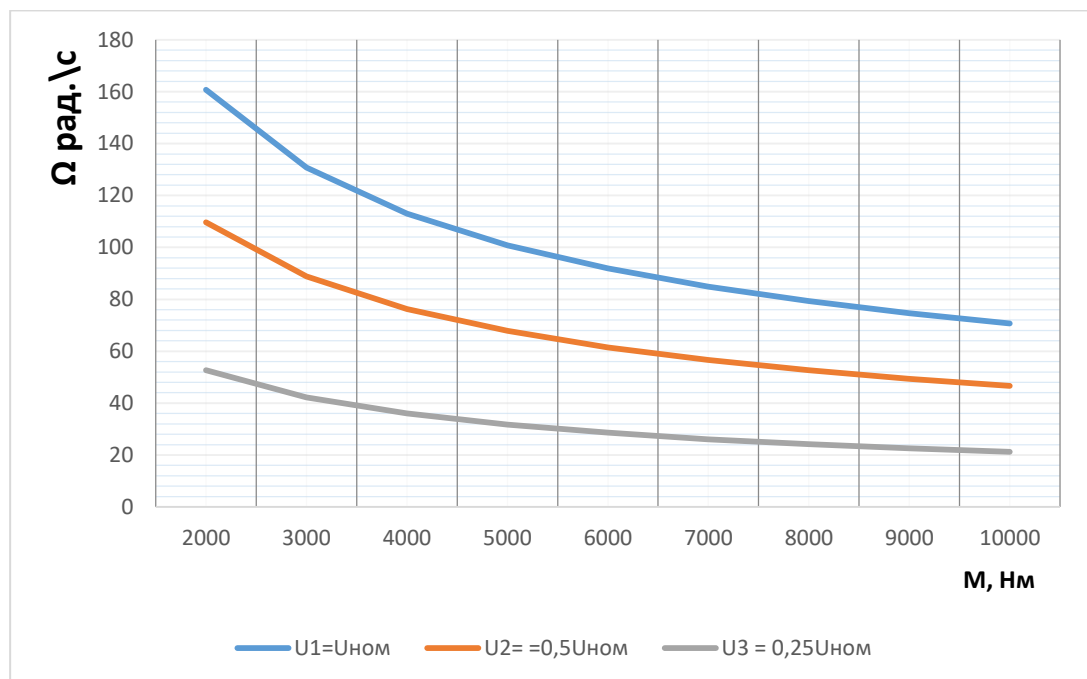


Рисунок 2.5 – Результаты расчета искусственных механических характеристик электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения при разных значениях напряжения

### **3 Диагностика тяговых электродвигателей**

#### **3.1 Общие положения о диагностике**

Техническая диагностика - отрасль науки, изучающая и устанавливающая признаки неисправностей машин и остаточный ресурс их работы.

Существуют следующие виды диагностики:

- общая диагностика;
- поэлементная диагностика;
- экспрессдиагностика;
- линейная диагностика.

Общая диагностика - призвана оценивать, техническое состояние двигателя по принципу годен - не годен, норма - не норма без указания конкретных неисправностей.

Поэлементная диагностика - призвана определить техническое состояние ТЭД с выявлением конкретных неисправностей, их местонахождения, характера и причин их вызвавших. Она может использоваться для определения остаточного ресурса работы. Поэлементная диагностика имеет большую разрушающую способность с возможным анализом последующей надежности.

Экспресс диагностика, линейная диагностика - разновидности общей диагностики. Отличаются от нее меньшей информационной способностью, большей скоростью постановки диагноза.

Диагностика может осуществляться в статическом и динамическом режимах. Динамическая диагностика оценивает выполнение рабочих функций, т.е. техническое состояние ТЭД оценивается по выполнению их рабочих функций (по времени разгона, ускорению, мощности и т.д.). Статическая диагностика призвана оценивать работоспособность тяговых электродвигателей по состоянию его элементов.

Параметрами технического состояния или структурными параметрами называют физические величины (миллиметр, вольт, градус), опреде-

ляющие взаимодействие между элементами тяговых электродвигателей и их функционирования в целом. Так, например, параметрами технического состояния узла вал-подшипник являются размеры сопряженных поверхностей цапфы и подшипников, определяющие размер (зазор) между ними.

В процесс эксплуатации параметры технического состояния изменяется от номинальной  $x_n$  (или начальной после приработки) до предельной  $u_n$  величины. При этом изменяются и показатели рабочей характеристики ТЭД в целом от величины, соответствующих изделию, до величины, соответствующих изделию не пригодному к дальнейшей эксплуатации.

При диагностике параметры ТЭД измеряют как правило косвенно, используя выходные (рабочие) и сопутствующие процессы порождаемые функционирующим двигателем.

Эти процессы, будучи связаны с техническим состоянием электрических двигателей, содержат необходимую информацию для диагностики. Они называются диагностическими признаками.

В качестве диагностических признаков можно использовать:

- шум, стук, нагревание подшипников;
- отсутствие вращения;
- искрение на коллекторе;
- сильное нагревание.

Каждый диагностический признак можно оценивать количественно при помощи соответствующих параметров. В качестве диагностических параметров можно использовать:

- влажность изоляции;
- температурные характеристики;
- электромагнитные параметры;
- степень старения.

Перечисленные параметры дают обобщенную информацию о состоянии двигателей в целом и являются основой для диагностики.

Диагностическими признаками и параметрами широко пользуются при определении характера и места неисправностей и при создании диагностических устройств.

Структурная схема диагностики тяговых электрических двигателей (Лист 2) Схема дает возможность общего списка неисправностей. На схеме представлены тяговый двигатель, его элементы, неисправности и диагностические признаки, порождаемые этими неисправностями.

Необходимость применения диагностических устройств обуславливается многими причинами. Предремонтная диагностика позволяет, во-первых — обнаружение и последующее устранение неисправностей и своевременная их профилактика позволяет снизить интенсивность процессов изнашивания, повысить вероятность безотказной работы, а также исключить преждевременные ремонты двигателя. В третьи, положительный эффект от

применения устройств пред ремонтной, после ремонтной диагностики складывается из экономии на техобслуживание и ремонт, снижение числа запчастей, экономии электроэнергии.

При этом значительно повышается скорость обнаружения неисправностей и, как правило, повышается число двигателей отремонтированных в единицу времени и сокращается время простоя подвижного состава на ремонте.

### **3.2 Методы диагностирования тягового электродвигателя**

Для диагностирования тяговых электродвигателей используются основные методы диагностирования: неразрушающий контроль и разрушающий контроль.

Неразрушающий контроль включает в себя: электрический, вихрековый, тепловой, радиоволновой, ультразвуковой методы, виброакустический.

Неразрушающий контроль – последняя и в ряде случаев единственно возможная технологическая операция, позволяющая выявлять недопустимые дефекты в технических объектах и тем самым предотвращать возникновение чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте.

Техническая диагностика – область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объектов.

Техническое диагностирование - процесс установления технического состояния объекта с указанием места, вида и причин возникновения дефектов и повреждений.

Надёжностью является наиболее полной оценкой качества объектов (изделий). Под надёжностью понимают свойство объекта (изделия) сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность его выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Надёжность - сложное свойство, состоящее из сочетания таких свойств, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Безотказность - это свойство объекта (изделия) непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Долговечность - свойство объекта (изделия) сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтпригодность - свойство объекта (изделия), заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов и повреждений, а также поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путём проведения технического обслуживания и ремонтов.

Ультразвуковая дефектоскопия. Ультразвуковой контроль основан на способности ультразвуковых волн проникать в металл на большую глубину и отражаться от находящихся в нем дефектных участков. В процессе контроля пучок ультразвуковых колебаний от вибрирующей пластины вводится в контролируемый шов. При встрече с дефектным участком ультразвуковая волна отражается от него и улавливается другой пластиной, которая преобразует ультразвуковые колебания в электрические. Эти колебания после усиления подаются на экран электронно-лучевой трубки дефектоскопа, свидетельствуя в виде импульса о наличии дефектов. При контроле щуп перемещают вдоль шва, прозвучивая таким образом различные по глубине зоны шва. По характеру импульсов судят о протяженности дефектов и глубине их залегания.

К преимуществам ультразвуковой дефектоскопии относятся: возможность обнаружения внутренних дефектов, большая проникающая способность, высокая чувствительность, возможность определения места и размера дефекта. Вместе с тем, метод имеет ряд отрицательных особенностей. К ним относится необходимость специальных методик контроля отдельных типов изделий, высокой чистоты поверхности детали в месте контроля, что особенно затрудняет дефектоскопию наплавленных поверхностей. Поэтому указанным методом контролируются детали, для которых разработаны необходимые технологии, регламентирующие зоны и чувствительность контроля; места ввода ультразвуковых волн в изделие; тип дефектоскопа; тип искательной головки.

Вихретоковая дефектоскопия. Метод вихретоковой дефектоскопии дает возможность обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов. Он основан на использовании действия вихревых токов, возникающих в поверхностном слое контролируемой детали от пронизывания его магнитным потоком, на первичную или особую измерительную катушку.

Сущность метода состоит в следующем. Если к контролируемой поверхности приблизить катушку, по которой протекает переменный ток, то в металле возникнут замкнутые вихревые токи. Величина этих токов зависит от частоты возбуждающего тока, электропроводности и магнитной проницаемости материала изделия, относительного расположения катушки и детали, от наличия на поверхности дефектов типа нарушения сплошности. Магнитное поле вихревых токов направлено против основного магнитного потока и несколько гасит его, что может быть измерено величиной полного сопротивления генерирующей катушки. В случае изменения вихревых токов, изменяется и полное сопротивление. Изменение величины вихревых токов может быть обнаружено с помощью другой (измерительной) катушки.

Виброакустический метод. Виброакустическая метод - это наиболее эффективный из известных методов технической диагностики двигателей. Метод позволяет на работающем двигателе вести обнаружение ключевых дефектов, определяющих его надежность и ресурс, проводить локацию



местоположения дефектов, контролировать и управлять их развитием.

Для того, чтобы повысить общее качество стендовых испытаний электрических машин, необходимо внедрять новейшие методы и технологии диагностирования, усовершенствовать средства измерения. Одним из таких усовершенствований возможно использование средств для определения неравномерности вращения вала якоря, поскольку именно это является первоочередной фактором, вызывает вибрацию тягового электродвигателя.

Внедрение средств измерения неравномерности вращения якоря тягового электродвигателя двигателя позволит более точно определять качество ремонта механической и электромеханической части тяговых двигателей.

В то же время технические средства для диагностики по неравномерностью вращения вала двигателя значительно дешевле, а при применении современных измерительных систем позволяют получить достаточное количество диагностической информации.

## **4 Ремонт и испытания тяговых электродвигателей**

### **4.1 Ремонт тяговых электродвигателей**

В процессе эксплуатации изнашиваются трущиеся части тягового электродвигателя - щетки, щеткодержатели, коллекторы, подшипники и нажимные втулки, валы; стареют лаковые пленки, компаунды, изоляция, резиновые детали; загрязняется изоляция и подшипники; происходит увлажнение изоляции; нарушается антикоррозийное покрытие.

Чтобы обеспечить надежную работу ТЭД, необходимо проводить технически грамотную его эксплуатацию и периодически выполнять ремонтно профилактические работы в ремонтной мастерской.

В условиях депо при ремонте ТР-1 (текущий ремонт 1) тяговый двигатель снимают с троллейбуса и отправляют в электромеханическую мастерскую. Двигатель очищают от пыли и грязи, и устанавливают на стенд, обеспечивающий удобства при разборке. Разборку двигателя выполняют различными съемниками и специальными приспособлениями. Сначала снимают крышки коллекторных люков, вынимают щетки из щеткодержателей, обертывают коллектор плотной бумагой или текстильной лентой и закрепляют ее. Снимают патрубок и откручивают гайки, крепящие наружную крышку подшипника со стороны коллектора. Затем двигатель устанавливают вертикально коллектором вниз, поворачивают на конец вала якоря галочное приспособление и закрепляют в нем трос крана. Откручивают болты крепления подшипникового щита со стороны вентилятора и ввертывают их в отжимные отверстия щита, отжимая его от остова. Осторожно, оберегая от ударов, вынимают якорь из остова вместе с вентилятором и подшипниковым щитом. Затем якорь укладывают на

деревянные седлообразные опоры, снимают наружную крышку подшипника со стороны вентилятора, подшипниковый щит и при необходимости вентилятор. Демонтируют с остова передний подшипниковый узел и с него щеткодержатели и кронштейны. После разборки дополнительно очищают все части двигателя, якорь продувают воздухом в специальных продувочных камерах, чтобы вычистить вентиляционные каналы якоря, в которых скапливается пыль. Остов двигателя, подшипниковые щиты тщательно осматривают, появившиеся трещины заваривают, изношенные отверстия восстанавливают наплавкой с последующей механической обработкой.

При необходимости производят правку крышек коллекторных люков. Проверяют состояние уплотнений из губчатой резины, исправность замков. Далее проверяют надежность крепления полюсов к остову. После затяжки шпильки и болтов заливают с снаружи битумом, чтобы вода не попала внутрь остова. Неисправные шпильки и болты заменяют, предварительно проверив резьбу в сердечнике полюса соответствующим калибром (калибр третьего класса). В случае повреждения резьбы главного полюса можно изменить диаметр резьбы и установить ступенчатую шпильку. Резьбу сердечника добавочного полюса восстанавливают заваркой отверстия с последующем сверлением и нарезкой новой резьбы. Внутренние поверхности корпуса подшипниковых щитов и коллекторных крышек окрашивают электроэмалью ГФ-92-ХС воздушной сушки. Катушки главных полюсов двигателей ДК-207Г-3 и ДК-210А-3 состоят из двух обмоток последовательной и независимой. Обмотки последовательного возбуждения соединены друг с другом последовательно, выводы маркируются Ш1-Ш2. Катушки добавочных полюсов соединены друг с другом и с обмоткой якоря последовательно.

Выводы их концов маркируются Д1-Д2. Катушки главных и добавочных полюсов проверяют на отсутствие межвиткового замыкания и пробоя изоляции на корпус. Межвитковые замыкания последовательной обмотки из шинной мети очень редки. Чаще встречаются замыкания в катушках независимого возбуждения. Пробой изоляции на корпус определяется замером сопротивления изоляции катушки мегомметром, которое должно быть не менее 6 МОм. Проверку отсутствия межвиткового замыкания осуществляют замером омического сопротивления катушек. Сопротивление цепей катушек главных и добавочных полюсов ТЭД при 20°С.

При обнаружении расслоений изоляции катушек, прогаров, хрупкости изоляции из-за пересыхания катушки следует заменить катушку (либо заменить поверхностную изоляцию катушек).

Наружным осмотром проверяют состояние изоляции кабелей межкатушечных соединений надежность клеммных соединений. Выводные кабели заменяют если повреждена изоляция или имеются признаки старения изоляции и нарушения в пайке провода, а так же, если выводной кабель имеет недостаточную длину. Длина выводных кабелей от

места выхода из остова у двигателей ДК-207Г-3 и ДК-210А-3 должна быть не менее 1250 мм. Для замены выводных кабелей необходима частичное вскрытие изоляции катушки вместе припайки выводов с последующем восстановлением изоляции. Пайку выводов концам катушек выполняют серебряным припоем ПСр-45 и ПСр-65. Наконечники выводных кабелей так же должны быть хорошо припаяны, залужены и не должны иметь трещин. Для пайки наконечников применяют оловянистый припой ПОС-30 или ПОС-40. При необходимости заменяют резиновые втулки в отверстиях для выводных проводов.

Перед осмотром якорь протирают ветошью, смоченной в бензине для удаления жировых пятен и грязи. При наличии износа посадочных мест под подшипники или повреждения резьбы на конце вала, вал ремонтируют, не впрессовывая его из якоря. Вал якоря выполнен из катаной углеродистой термо обработанной конструкционной стали.

Сердечник набирается из отдельных штампованных листов электротехнической стали, изолированных между собой лаком для уменьшения потерь от вихревых токов, возникающих при пересечении якоря магнитным потоком. Пакет имеет паз, в который укладывается обмотка якоря, и вентиляционные отверстия для охлаждения железа якоря воздушным потоком. Обмотка закреплена в пазах якоря текстолитовыми клиньями.

При изгибе корпусного конца вала, наличии отколов и трещин, усталости вала якорь подлежит замене. Наружным осмотром устанавливают отсутствие видимых повреждений якоря. Затем проверяют отсутствие пробоя изоляции на сердечнике якоря, используя мегомметр.

Проверяют отсутствие межвиткового замыкания с помощью мегомметра или переносного электромагнита, питаемого переменным током.

Ремонт коллектора в условиях депо в основном заключается в его проточке или шлифовке, необходимость которых возникает при неравномерном износе коллекторных пластин, выпучивании отдельных пластин или прогаров вызванных коммутационными нарушениями, а так же появления волно образного износа на рабочих поверхностях коллектора, что связано с плохой продорожкой коллектора, так как медь мягче миканита и изнашивается быстрее.

Коллектор арочного типа имеет 175 коллекторных пластин, изготовленных из кадмиевой меди, обладающей в сравнении с обычной коллекторной медью вдвое большей износоустойчивостью (рабочий износ коллектора невелик и не превосходит  $0,2 \div 0,3$  мм/год). Коллекторные пластины друг от друга изолируются миканитовыми прокладками, а от втулки шайбы, которыми они крепятся, миканитовыми конусами и цилиндрами.

Число проточки глубина и хограничивается предельным наименьшим диаметром коллектора, который для двигателей ДК-207-3 и ДК-210А-3

должен быть не менее 230 мм, а для двигателя 3AL-2943kN - 233 мм, наименьший допустимый диаметр коллектора двигателя ДК-659 - 130 мм, двигателя ДК-408В-140мм.

Учитывая, что коллектор является одним из наиболее дорогих узлов двигателя, а замена его сложная и трудоемкая операция, следует проточку коллектора применять только в случае крайней необходимости. Проточку следует выполнять на хорошо отлаженном станке, снимая при этом минимально необходимый слой металла, чтобы не сокращать срок службы коллектора. После проточки следует снять фаску с наружного края коллекторных пластин или закрутить их радиусом 2 мм, чтобы устранить возможность переброса электрической дуги на корпус двигателя. При наличии небольшой выработки, неглубоких рисок, царапин, коллектор достаточно отшлифовать мелкой стеклянной шкуркой  $\#10-12$  с применением специальных колодок. Затем коллектор следует продорожить. Эта операция заключается в снятии слоя миканитовой изоляции между коллекторными пластинами на глубину  $0,8 \pm 0,1$  мм фрезой на специальном приспособлении или вручную нажевочным полотном. После этого специальным резцом удаляют остатки слюды с обеих сторон каждой дорожки и снимают фаску с острых краев коллекторных пластин ( $0,26 \times 45^\circ$ ). От миканитовых и медных стружек дорожки прочищают жесткой волосяной щеткой. При наличии нагаров и поджогов на торцевой поверхности петушков коллекторных пластин их также следует проточить.

Якорь ТЭД обладает большой массой, имеет значительный диаметр и при неуравновешенности возникает вибрация, передающаяся к узлу; происходит ускоренный износ подшипников и шейки вала в местах разрушения от усталости. Поэтому при всех значительных ремонтных воздействиях якорь перед установкой в корпус двигателя подвергают балансированию.

Щеткодержатель состоит из кронштейна и обоймы, в которую устанавливаются две щетки. Нажимными пальцами щетки прижимаются к пластинам коллектора. Ток к щеткам подводится через нажимные пальцы и гибкие шунты, которые соединяются с корпусом щеткодержателя.

Нажатие пальца на щетку создается ленточной пружиной и регулируется с помощью втулки, в разрез которой заправляется один конец пружины. Регулировку напряжения пружины осуществляют поворотом втулки на валике обоймы с последующим фиксированием втулки шплинтом. Щеткодержатель устанавливается на подшипниковом щите и от него изолирован.

Кронштейн и щеткодержатели тщательно осматривают. Изношенные отверстия в кронштейнах восстанавливают, шпильки с неисправной резьбой, неплотно сидящие пальцы в кронштейнах, фарфоровые изоляторы с поврежденной глазурью, трещинами или отколами заменяют новыми.

При необходимости восстанавливают компаундную заливку между пальцами и фарфоровыми изоляторами. Отремонтированные кронштейны испытывают на пробой напряжением 2500 В в течении одной минуты и за-

меряют сопротивление изоляции кран штейна, которое должно быть не менее 20МОм.

Латунные обоймы щеткодержателей имеющие трещины или выработанные гнезда под щетки, заменяются новыми. Поврежденные или изношенные оси, нажимные пальцы, шунты и пружины заменяют новыми. После ремонта щеткодержатель собирают, проверяют на отсутствие заедания и перекоса нажимного пальца и регулируют его нажатие на щетку. Кронштейн и щеткодержатели монтируют на подшипниковый щит.

При сборке ТЭД правильность соединения катушек возбуждения контролируют проверкой полярности полюсов. Для этого каждую обмотку поочередно присоединяют к источнику постоянного тока и компасом определяют полярность. Далее на концы вала якоря надевают внутренние крышки подшипников и в них укладывают смазку в количестве 2/3 объема камеркрышки.

Для смазки подшипников двигателей ДК-207Г-3 и ДК-210А-3 применяют смазку (в передний подшипник, закладывается 35 грамм, в задний, шариковый 90 грамм). При недостаточной или слишком обильной смазке подшипники якоря будут перегреваться, и смазка разжижаясь может проникнуть внутрь двигателя.

Затем на конце вала напрессовывают подшипники, предварительно нагретые в масляной ванне до температуры  $80 \div 90^{\circ}\text{C}$ . Посадку якоря в остов производят с использованием тех же приспособлений, что и при выемке из остова. Наружные обоймы подшипников установлены в гнезда подшипниковых щитов в холодном состоянии и легким и ударам и молотка через накладку. Такой способ посадки наружной и внутренней обойм объясняется тем, что внутренняя обойма подшипника при работе двигателя вращается с якорем и, следовательно, изнашивается равномерно по всей окружности. Наружная обойма подшипника неподвижна. Для равномерного износа она также должна иметь возможность медленно поворачиваться при работе двигателя.

Подшипниковые щиты плотно устанавливаются вторцевые части остова и закрепляются болтами. Специальным щупом проверяют зазор между якорем и полюсами. Под главными полюсами двигателей ДК-207Г-3 и ДК-210А-3 он должен быть 3,25 мм, под добавочными 3,8 мм. Зазор между обоймой щеткодержателя и коллектором ТЭД должен быть  $3 \pm 1$  мм.

Для проверки качества ремонта, правильности сборки и соответствия параметров двигателя техническим условиям, проводят контрольные испытания двигателей в режимах близких к рабочим.

## **4.2 Техническое обслуживание тяговых электродвигателей**

За время работы следует предохранять двигатель от попадания в него влаги и масла, а выводные провода от механических повреждений. Крышки коллекторных люков должны быть плотно закрыты. Перед осмотром

двигателя внешнюю поверхность его очищают от грязи и пыли, и открывают коллекторные люки. Прочищают камеру коллектора и продувают двигатель сухим воздухом.

Поверхность коллектора двигателя должна быть чистой и гладкой. Равномерное потемнение коллекторных пластин до темно-коричневого цвета без следов нагара не требует чистки коллектора. Для коллектора особенно вредна угольная и металлическая пыль, которая забивается в дорожки между пластинами и вызывает искрение коллектора под щетками и обгорания его поверхности. При загрязнении коллектора маслом или грязью ветошь слегка смачивают спиртом или бензином. Обгоревшую поверхность коллектора шлифуют наждачной бумагой, прикрепленной к деревянной колодке, имеющей профиль окружности коллектора. Шлифование коллектора без колодки недопустимо. Проверяют свободное перемещение щеток в обойме щеткодержателя. Изношенные щетки заменяют новыми. Новые щетки перед установкой на двигатель предварительно притирают на приспособление по радиусу коллектора, а затем притирают по коллектору с помощью стеклянной бумаги, которую пропускают между щеткой и коллектором, и протаскивают несколько раз под прижатой к коллектору щеткой. После шлифования коллектора или притирания щеток необходимо тщательно очистить коллектор от медной или угольной пыли путем продувки сухим воздухом. Проверяют нажатие щеток на коллектор, которое должно быть в пределах  $1,6 \div 2,6$  кгс. Превышение нажатия ведет к чрезмерному нагреву и быстрому износу коллектора и щеток, а при недостаточном нажатии щетки отскакивают от коллектора, от чего появляется искрение. Во время эксплуатации двигателя сопротивление изоляции двигателя должно быть не ниже  $2 \div 3$  МОм.

Сопротивление изоляции проверяют обычно во время плановых ремонтов. Состояние подшипников проверяют вовремя работы ТЭД.

### **4.3 Комплексное испытание ТЭД после ремонта**

Согласно требованиям изготовленные, а также отремонтированные двигатели проходят всесторонние приемосдаточные испытания на испытательной станции. Приемосдаточные испытания ТЭД производятся последующему порядку:

- измерение сопротивления обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии;
- испытания на нагревание в течение одного часа или меньшего промежутка времени, если двигатель рассчитан на кратковременный режим;
- проверка частоты вращения и реверсирования при номинальных значениях напряжения, токов, нагрузки и возбуждения;
- испытания на повышенную частоту вращения;
- проверка электрической прочности изоляции между токоведущими частями и корпусом;

- проверка биения коллектора;
- проверка коммутации;
- проверка сопротивления изоляции;
- проверка уровня вибрации.

## **5 Безопасность жизнедеятельности**

### **5.1 Анализ условий труда в электрооборудовании**

В дипломной работе рассматривается вопрос диагностики неисправностей тягового электродвигателя.

Меры безопасности при испытании тяговых электродвигателей.

Испытательная станция должна соответствовать требованиям "Правил устройства электроустановок", хорошо освещена.

Испытательная станция должна иметь постоянные или временные ограждения. Конструкция ограждений должна исключать возможность случайного прикосновения к токоведущим частям.

Перед началом работ на стендах ответственный руководитель или исполнитель работ должен проверить правильность сборки испытательной схемы, надежность заземления сборки испытательной схемы, надежность заземления и исправность сигнализации и блокировок, удалить людей от испытываемых объектов. Работать на стенде разрешается только при наличии средств защиты - диэлектрических ковриков, перчаток и бот, имеющих клеймо с отметкой о периодической их проверке.

Запрещается работнику, производящему испытание на стенде, заходить в зону установки высоковольтного оборудования и производить в нем какие-либо переключения или работы.

Различные пересоединения на клеммах испытываемой машины следует производить после полной остановки машины и отключения напряжения.

После испытания на электрическую прочность изоляции цепи катушек, необходимо немедленно разрядить обмотки главных и дополнительных полюсов путем закорачивания выводных кабелей на остов.

До открывания дверей на стендах необходимо снять напряжение. Испытание тяговых электродвигателей на холостом ходу производить после полной затяжки всех болтов подшипниковых щитов и крышек.

При испытании все вращающиеся части (конус вала якоря и места присоединения питающих кабелей) - тщательно оградить.

После каждой проверки якоря мегомметром, необходимо немедленно разрядить обмотку путем соединения вала с коллектором изолированным проводом с оголенными концами, прикладывая сначала один конец к валу, а затем касаясь коллектора.

При использовании испытательной установки ИУ-57 необходимо: установку электродов на коллекторе и подключение проводов производить

только при выключенном положении тумблера "Общий". Все операции по проверке и испытанию витковой изоляции производить только в диэлектрических перчатках.

Рабочее место описывается следующим образом:

- испытательная станция;
- помещение в виде зала;
- размеры комнаты 8×15×4 (ширина-длина-высота);
- искусственное освещение: тип светильника ССТ-50 с одной лампой;
- два окна размерностью (4×4);
- в помещении работают около 10-15 человек в будние дни с 9:00 до 18:00.

Есть также вероятность на определенные риски, воздействуя на персонал, который взаимодействует с электрооборудованием:

- микроклимат помещения, несоответствующий нормам;
- воздействие электромагнитных волн статического электричества;
- низкая освещенность помещения;
- психологические воздействия на человека.

Также важным фактором, оказывающим на коэффициент полезного действия работника и усталости, становится корректное освещение. Усталость зрения зависит от следующих случаев:

- недостаточная освещенность помещения;
- избыточная освещенность;
- неправильное распределение света в помещении.

Недостаточная освещенность может быть причиной перебойного усилия и утраты концентрации, что соответственно вызывает чувство физической усталости и изнуренности. Также чрезмерное освещение в некоторое время влияет на раздражительность и дезориентацию в пространстве.

С целью обеспечения оптимальных условий труда, производственное освещение должна отвечать следующим требованиям:

- освещение рабочих мест должно соответствовать гигиеническим нормам;
- освещенность рабочей поверхности и окружающей среды должна быть равномерно распределена;
- отсутствие на рабочей поверхности резких теней, т.к. их наличие препятствует равномерному распределению света.

В таблице 5.1 указаны исходные данные.

Таблица 5.1 – Исходные данные

Тип помещения	Параметры помещения				Разряд зрительн. раб.	$\rho_{\text{по т.}}$	$\rho_{\text{сте н}}$	$\rho_{\text{по л}}$	$h_{\text{нок, м}}$	Световой пояс	$N_z$ Д	Расст. до рядов стоящего
	L, м	B, м	H, м	$h_{\text{ок, м}}$								



Испытательная станция	15	8	4	2,5	Ш,б	70	50	30	1	г. Алматы	15	12
-----------------------	----	---	---	-----	-----	----	----	----	---	-----------	----	----

## 5.2 Разработка мероприятий по улучшению условий труда

### 5.2.1 Расчет естественного освещения помещения

Помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь, как правило, естественное освещение. При проектировании новых помещений, при реконструкции старых, при проектировании естественного освещения помещений судна и других объектов необходимо определить площадь световых проемов, обеспечивающих нормированное значение КЕО в соответствии с требованиями СНиП РК 2.04-05-2002 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования».

Расчет заключается в определении площади световых проемов при боковом освещении по формуле:

$$100 \frac{S_o}{S_n} = \frac{e_n K_z \eta_o}{\tau_o r_1} K_{зо}, \quad (5.1)$$

где  $S_o$  – площадь световых проемов при боковом освещении, м<sup>2</sup>;

$S_n$  – площадь пола помещения, м<sup>2</sup>;

$e_n$  – нормируемое значение КЕО;

$K_z$  – коэффициент запаса;

$\eta_o$  – световая характеристика окон;

$\tau_o$  – общий коэффициент светопропускания, определяют по формуле:

$$\tau_o = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4, \quad (5.2)$$

где,  $\tau_1 = 0,6$  – коэффициент светопропускания материала

$\tau_2 = 0,75$  – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема

$\tau_3 = 1$  – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях при боковом освещении

$\tau_4 = 0,65$  – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах

Значение  $\tau_o$  посчитаем по формуле 5.2:  $\tau_o = 0,6 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,65 \approx 0,29$

$r_1$  – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении, благодаря свету, отраженному от поверхности помещения и подстилающего слоя, примыкающего к зданию, принимают по таблице 5.2;

$$B = 8 \text{ м}, \ell = B - 1 = 7 \text{ м}$$

$$h_{ок} = 2,5 \text{ м}, h_{нок} = 1 \text{ м}, h_{р.п.} = 0,7 \text{ м}$$

$$h_{расч} = h_{ок} + h_{нок} - h_{р.п.} = 2,5 + 1 - 0,7 = 2,8 \text{ м}$$

Для первого столбца по вертикали:  $l/h_{расч} = 7/2,8 = 2,5$ .

Для второго столбца по вертикали:  $l/B = 7/8 = 0,9 \approx 1$ .

Для первой строки по горизонтали:

$$\rho_{ср} = \frac{\rho_{пол} \cdot S_{пол} + \rho_{стен} \cdot S_{стен} + \rho_{потол} \cdot S_{потол}}{S_{пол} + S_{стен} + S_{потол}}, \quad (5.3)$$

$$\begin{aligned} S_{пол} &= B \cdot L = 8 \cdot 15 = 120 \text{ м}^2 \\ S_{стен} &= H \cdot 2(B+L) = 4 \cdot 2 \cdot (8+15) = 184 \text{ м}^2 \\ S_{потол} &= B \cdot L = 8 \cdot 15 = 120 \text{ м}^2 \end{aligned}$$

$$\rho_{ср} = \frac{0,3 \cdot 120 + 0,5 \cdot 184 + 0,7 \cdot 120}{120 + 184 + 120} = 0,5.$$

Для второй строки по горизонтали:

$$L/l = 15/7 = 2,14 \approx 2$$

Таблица 5.2 – Значение коэффициента  $r_1$

$\frac{l}{h_{расч}}$	$\frac{l}{B}$	Значения $r_1$ при боковом двустороннем освещении		
		Средневзвешенный коэффициент отражения потолка, стен и пола		
		0,5		
		Отношение длины помещения к его глубине		
		0,5	1	2 и >
Свыше 1,5 до 2,5	0	1,05	1,05	1,05
	0,3	1,3	1,2	1,1
	0,5	1,8	1,45	1,25
	0,7	2,1	1,75	1,5
	<b>1</b>	2,35	2	<b>1,6</b>

$r_1 = 1,6$  (коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении);

Учитывая  $H_{зд} = 15$  м и  $P = 12$  м (расстояние до рядом стоящего здания) из таблицы 6.3 найдем коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями,  $K_{зд}$ :  $P/H_{зд} = 1,25 \approx 1,5$

В таблице 5.2 приведены значения коэффициентов  $K_{зд}$  и  $H_{зд}$ .

Таблица 5.2 – Значение коэффициента  $K_{зд}$

$P/H_{зд}$	$K_{зд}$
------------	----------

1,5	1,2
-----	-----

Нормированные значения КЕО  $e_N$  для зданий располагаемых в различных районах следует определять по формуле:

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (5.4)$$

где N – номер группы обеспеченности естественным светом по выбранной таблице 5.4;

$e_H$  – значения КЕО по таблице 5.5;

$m_N$  – коэффициент светового климата по таблице 5.4.

Учитывая заданный световой пояс (г. Алматы), а также приняв ориентацию световых проемов на юг, определили коэффициент светового климата,  $m = 0,85$ . Учитывая разряд и подразряд зрительной работы, в таблице 5.5 значение  $e_H$  отсутствует, поэтому значение  $e_N$  можно пренебречь.

Таблица 5.3 – Значение коэффициента светового климата,  $m$

Световые проемы	Ориентация световых проемов по горизонтам	Коэффициент светового климата, $m$
		Номер группы административных районов
		2– г. Алматы
В наружных стенах здания	Ю	0,85

Таблица 5.4 – Нормы освещенности при естественном освещении

Харак-ка зрительной работы	Наименьший или экв. объект различения, мм	Разряд зрит. работ	Подраз зрит. Работы	Контракт объекта с фоном	Характе-ристика фона	Естеств енное освещение		Совме щенное освещение	
						КЕО, $e_H$ , %			
						при верх. или комб. освещ.	при боков. освещ.	при верх. или комб. освещ.	при боков. освещ.
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	III	б	Средний	Темный	–	–	3,0	1,2

Учитывая тип помещения (испытательная станция), коэффициент запаса  $K_3 = 1,5$ .

$\eta_0$  – световая характеристика окон, принимают по таблице 5.6.

$$\ell/h_{\text{расч}} = 7/2,8 = 2,5 \approx 3,$$

$$L/\ell = 15/7 = 2,14 \approx 2.$$

Таблица 5.5 – Значения световой характеристики  $\eta_o$  окон при боковом освещении

Отношение длины помещения к его глубине ( $\ell/h_{расч}$ )	Значения световой характеристики $\eta_o$ при отношении глубины помещения к его высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна ( $L/\ell$ )							
	1	1,5	2	3	4	5	7,5	10
2	8,5	9	9,5	<b>10,5</b>	11,5	13	15	17

Световая характеристика окон  $\eta_o = 10,5$ .

Определим площадь световых проемов при боковом освещении по формуле:

$$S_o = \frac{S_n e_n K_z \eta_o}{100 \tau_o r_1} K_{зд} = \frac{120 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 10,5}{100 \cdot 0,29 \cdot 1,6} \cdot 1,2 = 48,88 \text{ м}^2$$

$$l_{ок} = \frac{S_o}{h_{ок}} = \frac{48,88}{2,5} = 19,55 \text{ м}$$

Вывод: оконный проем не соответствует нормативу размера окна ( $S_o > S_{окно}$ ). Поэтому, мы будем рассчитать искусственное освещение.

### 5.2.2 Расчет искусственного освещения помещения

Корректное освещение в помещениях, изначально предназначенных для работы с электрооборудованиями, реализуется, используя естественного и искусственного освещения совместно. Недостаточная освещенность помещения возможно приводит к нервозности в глазах, моральной усталости, повышению неэффективности работы и снижению внимания. Яркое освещение соответственно может привести к раздражению сетчатки, теряет находимость в пространстве, а также возможен высокий риск к получению травм от производства.

Искусственное освещение устанавливается через использование электрозависимых источников света. В помещении также расположено освещение с применением LED технологий по следующей причине:

- имеет низкое энергопотребление;
- не содержат ртути, вредных и опасных веществ;
- дает минимальную теплоотдачу;
- нормальный срок службы (от 25 000 часов).

Для создания комфортабельных условий на рабочем месте обеспечивается стандартизация освещения в зависимости от размеров объекта различных дискриминаций, обладая отличие от объекта с фоном.

Соответствие нормированного света реализуется через разряд. Для некоторых работ, выполняемых разработчиком, отводится 3-ий разряд и подразряд класса Б. Минимальное значение нормированной освещенности согласно стандарту СНиП 23-05-95  $E_{\min} = 200$  лк для общей системы освещения. В данном проекте рассчитано освещение помещения размером 15×8.

Нормируемая освещенность помещения согласно стандарту СН РК 2.04-02-2011 и по разряду зрительных работ (III, б) должна иметь не менее 300 лк. В помещении оснащена система полного освещения лампами LED, которые имеют мощность 50 Вт и световой поток  $\Phi_{\text{св}} = 4500$  лм, соответственно имеющими размеры 1280×135×93. Высота рабочей поверхности от пола составляет  $h_p = 0,8$  м.

Для начала идет проверка соответствия минимальной заданной освещенности при 6 светильниках:

$$E = \frac{N \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot \eta}{K_3 \cdot S \cdot Z}, \quad (5.5)$$

где  $S$  – площадь помещения,  $S = 120 \text{ м}^2$ ;

$K_3$  – коэффициент запаса,  $K_3 = 1,5$ ;

$N$  – количество светильников,  $N = 6$ ;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения,  $Z = 1,1$ ;

$n$  – количество ламп,  $n = 1$ ;

$\Phi_{\text{л}}$  – световой поток выбранной лампы,  $\Phi_{\text{св}} = 4500$  лм;

$\eta$  – коэффициент использования, при нормальном условии  $\eta = 66\%$ .

$$E = \frac{6 \cdot 1 \cdot 4500 \cdot 0,66}{1,5 \cdot 120 \cdot 1,1} = 90 \text{ лк}.$$

При 6 светильниках минимальная освещенность равняется примерно 90 лк, что не соответствует условиям труда. Вследствие чего возникает необходимость увеличить количество светильников для обеспечения приемлемой освещенности. Для этого необходимо произвести расчеты для реконструкции.

Индекс помещения, который находится соотношением размеров освещаемого помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)}, \quad (5.6)$$

Далее находим оптимальное расстояние между LED светильниками:

$$L = \lambda \cdot h, \quad (5.7)$$

где  $\lambda = 1,2 \div 1,4$ . Высота подвеса светильников над рабочей поверхностью исходя из данных составляет:

$$h = H - h_p = 4 - 0,8 = 3,2 \text{ м}, \quad (5.8)$$

Необходимое расстояние между светильниками соответственно дает значение как:

$$L = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 3,2 = 4,16 \text{ м}.$$

Далее индекс помещения находится посредством формулы (5.6) и составляет:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{15 \cdot 8}{3,2 \cdot (15 + 8)} = 1,63.$$

Полученное значение индекса помещения  $i$  примем как 1,75, тогда коэффициент использования  $\eta = 63\%$ .

В качестве осветительного прибора был взят ССТ-50 мощностью 50 Вт, световой поток которого составляет 4500 лм.

Определим число светильников по формуле:

$$N = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{n \cdot \Phi_{л} \cdot \eta}, \quad (5.9)$$

где  $S$  – площадь помещения,  $S = 120 \text{ м}^2$ ;

$K_3$  – коэффициент запаса,  $K_3 = 1,5$ ;

$E$  – заданная минимальная освещенность,  $E = 300 \text{ лк}$ ;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения,  $Z = 1,1$ ;

$n$  – количество ламп,  $n = 1$ ;

$\Phi_{л}$  – световой поток выбранной лампы,  $\Phi_{св} = 4500 \text{ лм}$ ;

$\eta$  – коэффициент использования,  $\eta = 63\%$ .

$$N = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 120 \cdot 1,1}{1 \cdot 4500 \cdot 0,63} = \frac{59400}{2835} = 20,95 \cong 21 \text{ (шт)}.$$

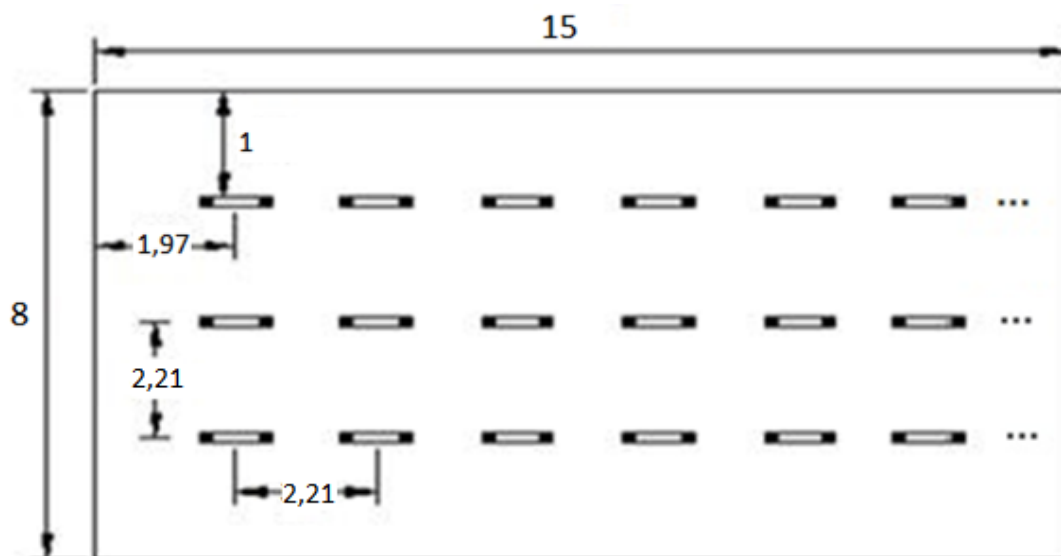


Рисунок 5.1 – Организация искусственного освещения

Из вышеуказанных вычислений следует разместить три ряда светильников по 7 светильников в каждом ряду с нормированным расстоянием по 2 метра. Всего для создания приемлемой освещенности, составляющей 300 лк используется 9 светильников.

*Вывод.* Исходя из проделанных расчетов, рассчитывая необходимые меры безопасности и условия труда, были соблюдены для полного соответствия, стандартам СНиП и ГОСТ, и в итоге была произведена правильная освещенность рабочего помещения с выбором определенных источников освещения имеющих нормированную освещенность, а также рассчитано расположение источников искусственного освещения и показано на рисунке 5.1.

## **6 Техничко – экономическое обоснование**

### **6.1 Характеристика внедрения системы электродвигателя**

В данное время оптимальное управление электродвигателями требует тщательного рассмотрения не только с технологической точки зрения, но и относительно экономической рентабельности.

Новые технологические процессы и их связь между собой требует создание усовершенствованной системы электроприводов и производства новых способов управления. На сегодняшний день многие технологические процессы на производстве осуществляются посредством тягового электропривода.

Тяговые двигатели городского и железнодорожного транспорта, а также двигатели моторколес автомобилей эксплуатируются в сложных погодных условиях, во влажном и пыльном воздухе.

При эксплуатации тяговых двигателей имеют место частые механические, тепловые и электрические перегрузки, тряска и толчки. Поэтому при разработке их конструкции предусматривают повышенную электрическую и механическую прочность деталей и узлов, теплостойкую и влагостойкую изоляцию токоведущих частей и обмоток, устойчивую коммутацию двигателей.

Кроме того ТЭД шахтных электровозов должны удовлетворять требованиям, относящимся к взрывозащищенному электрооборудованию. В процессе работы введены следующие изменения:

- с целью увеличения способности синхронизировать систему электрической работы вала, введены преобразователи тиристорного напряжения с обратной связью;
- при синхронной работе системы значение общего сопротивления понижается до 0,08-0,05 Ом, вследствие чего КПД повышается на 2-4%.



Введение данных изменений на производство поспособствует достижению следующих целей:

- быстрое преобразование всех сетей новой системе управления, это позволит снизить расходы рабочего времени технологического оборудования и повысить продуктивность;
- недопущение аварийных ситуаций и выведения из строя технологического оборудования, это позволит снизить расходы на ремонтные работы технологического оборудования;
- позволяет оператору наблюдать и управлять процессом с места;
- недопущение перенагрузок технологического оборудования;

Вышеназванные факторы дают возможность повысить продуктивность предприятия, не допускать аварийные ситуации и снизить расходы на ремонт технологического оборудования.

## **6.2 Расходы на внедрение системы**

Расходы на внедрение системы состоят из расходов на технические приборы, расходов на монтаж оборудования и расходов на производство системы.

Общая сумма расходов, на технические приборы сумма будет равна 276000 тенге. Технические приборы: тяговой двигатель, датчик фазы, построенный на основе постоянных усилителей тока УД 553, шунт 25 А (75 мВ), блок определения уровня загруженности, импульсно-фазовая система управления, тиристор 100 А, остаточный реостат.

Сумма на заработные платы – специалисты: монтажник-электрик, инженер-проектировщик, советник.

Все данные сведены в таблицы 5.1 – Цены технических приборов необходимых для внедрения системы; 5.2 – Расходы на заработную плату.

### **6.2.1 Расходы на технические приборы.**

К расходам на технические приборы относятся тяговой двигатель, датчик фазы, шунт 25 А, блок определения уровня загруженности, импульсно-фазовая системы управления, тиристор 100 А.

Строим таблицу с техническими приборами для внедрения системы, а также с указанием количества, цены за единицу прибора и общей стоимости.

Таблица 6.1 – Цены технических приборов необходимых для внедрения системы

Наименование материала	Тип	Кол-во	Цена за единицу прибора, тенге	Общая цена, тенге
Тяговой электродвигатель	ВМЭД-01 120 кВт	1	250000	250000
Датчик фазы, построенный на основе		2	1000	2000

постоянных усилителей тока УД 553				
Шунт 25 А (75 мВ)		2	1000	2000
Блок определения уровня загруженности		1	2000	2000
Импульсно-фазовая система управления		2	5000	10000
Тиристор 100 А		4	2000	8000
Остаточный реостат		1	2000	2000
Всего (P <sub>ТП</sub> ):				276000

Расходы на неучтенные приборы берем из расчета 5% от расходов на технические приборы:

$$P_{TK} = P_{ТП} \times 0,05 = 276000 \times 0,05 = 13800 \text{ (тенге)}.$$

Общие расходы на технические приборы:

$$P_{ОТП} = P_{ТП} + P_{TK}, \quad (6.1)$$

$$P_{ОТП} = P_{ТП} + P_{TK} = 276000 + 13800 = 289800 \text{ тенге}.$$

Расходы на монтаж оборудования рассчитываются из расчета 25% от расходов на технические приборы:

$$P_{МОН} = P_{ТП} \times 0,25 = 276000 \times 0,25 = 69000 \text{ (тенге)}.$$

Итак, общие капитальные расходы на внедрение новой системы управления составляют:

$$P_{внед} = P_{ОТП} + P_{МОН} + P_{ПС}, \quad (6.2)$$

$$P_{внед} = 289800 + 69000 + 549787,5 = 908587,5 \text{ тенге}.$$

Расходы на внедрение системы состоят из расходов на технические приборы, расходов на монтаж оборудования и расходов на производство системы.

### 6.3 Расходы на производство проекта

Для производства и внедрения системы необходимы следующие работники по таблице 6.2

Таблица 6.2 – Расходы на заработную плату

Специальность	Кол-во чел.	Срок внедрения проекта, месяц	Зарплата, тенге	Итого, тенге
Монтажник-электрик	1	3	150000	450000
Инженер-проектировщик	1	1	150000	150000
Советник	1	1	75000	75000
Всего ( $P_{\text{общ}}$ ):				675000

Расходы на производство состоят из общей заработной платы рабочих и социальных платежей. Общая заработная плата рабочих составляет  $P_{\text{общ}} = 675000$  тенге.

$$P_{\text{пен}} = P_{\text{общ}} \times 10\% = 675000 \times 10\% = 67500 \text{ (тенге)}.$$

Социальное обслуживание:

$$P_{\text{соц}} = (P_{\text{общ}} - P_{\text{пен}}) \times 9,5\% , \quad (6.3)$$

$$P_{\text{соц}} = (675000 - 67500) \times 9,5\% = 57712,5 \text{ тенге}.$$

Расходы на производство системы:

$$P_{\text{ПС}} = P_{\text{общ}} - P_{\text{пен}} - P_{\text{соц}}, \quad (6.4)$$

$$P_{\text{ПС}} = 675000 - 67500 - 57712,5 = 549787,5 \text{ (тенге)}.$$

#### 6.4 Эксплуатационные расходы

Амортизационные платежи. Норма амортизационных платежей на рассмотренные в данном проекте технические приборы составляет 15%.

$$A = P_{\text{ТП}} \times 0,15 = 276000 \times 0,15 = 41400 \text{ (тенге)}.$$

Электроэнергия, необходимая комплекс технических приборов автоматизированной системы управления.

Расходы на электроэнергию определяются по следующей формуле:

$$P_{\text{ЭЭ}} = \sum P_i n_i \times \Phi \times k_M \times Ц, \quad (6.5)$$

где  $\Sigma P_i n_i$  – сумма активной мощности приборов, кВт,  
 $\Phi$  – фонд годового времени работы прибора, час;  
 $k_M = 0,7 \dots 0,75$  – коэффициент машинного времени;  
 $\Pi$  – цена электроэнергии, тенге.  
 $\Sigma P_i n_i = 120$  кВт;  
 $\Phi = (365 - (52 \times 2 + 10)) \times 8 = 2008$  час;  
 $k_M = 0,7$ ;  
 $\Pi = 12$  тенге;

$$P_{\text{ЭЭ}} = 120 \times 2008 \times 0,7 \times 12 = 2024064 \text{ тенге/год}.$$

### 6.5 Расходы на текущие ремонтные работы

Расходы на текущие ремонтные работы технических приборов автоматизированной системы управления состоит из расходов на запасные части и заработной платы электромонтеров и слесарей.

Расходы на запасные части и материалы составляют 3% от стоимости приборов.

$$P_{\text{Зч}} = P_{\text{ТП}} \times 0,03 = 276000 \times 0,03 = 8280 \text{ (тенге)}.$$

В системе электроприводов данного предприятия работает специалист по электроприводам. Все элементы системы находятся в монтажной коробке и подлежат капитальному ремонту 1 раз в год, проверке 1 раз в сутки; норма времени на установку составляет 0,6 часов. Годовая норма времени на установку составляет 0,6 часов. Поэтому предприятие не нуждается в дополнительном работнике.

Итак, общие эксплуатационные расходы составляют:

$$P_{\text{Э}} = A + P_{\text{ЭЭ}} + P_{\text{Зч}}, \quad (6.6)$$

$$P_{\text{Э}} = A + P_{\text{ЭЭ}} + P_{\text{Зч}} = 41400 + 2024064 + 8280 = 2073744 \text{ (тенге)}.$$

### 6.6 Расчет прибыли и рентабельности системы

Расчет прибыли от уменьшения количества рабочих. Один дежурный слесарь с заработной платой в 300000 тенге освобождается от внедрения автоматизированной системы управления.

$$\Pi_{\text{осв.раб.}} = P_{\text{общ}} - P_{\text{соц}} - P_{\text{пен}},$$

$$\Pi_{\text{осв.раб.}} = 1 \times 12 \times 300000 - 307800 - 360000 = 2932200 \text{ (тенге)}.$$

Расчет прибыли от уменьшения расходов электроэнергии. Уменьшение расходов электроэнергии производится только на силовых агрегатах мощностью 120 кВт. Уменьшение мощности питания за счет внедрения автоматизированной системы управления составляет 7%, т.е. 8,4 кВт/час на каждый агрегат.

Годовой фонд рабочего времени:  $\Phi = 2008$  часов.

Коэффициент рабочего времени  $k_M = 0,7$ . Цена электроэнергии  $\text{Ц} = 12$  тенге/кВт.

Прибыль от уменьшения расходов электроэнергии:

$$P_{\text{ЭЭ}} = 2 \times P \times \Phi \times k_M \times \text{Ц} = 2 \times 8,4 \times 2008 \times 0,7 \times 12 = 283368,96 \text{ (тенге)}.$$

Прибыль от внедрения системы тягового электродвигателя:

$$P_{\text{внед}} = P_{\text{осв.раб.}} + P_{\text{ЭЭ}}, \quad (6.7)$$

$$P_{\text{внед}} = 2932200 + 283368,96 = 3215568,96 \text{ (тенге)}.$$

Определение общей прибыли

$$P = P_{\text{внед}} - P_{\text{Э}}, \quad (6.8)$$

где  $P_{\text{внед}}$  – годовая прибыль от внедрения автоматизированной системы управления, тенге;

$P_{\text{Э}}$  – годовые эксплуатационные расходы, тенге;

$$P = 3215568,96 - 2073744 = 1141824,96 \text{ (тенге)}.$$

Срок окупаемости

$$T_{\text{окуп}} = \frac{P_{\text{внед}}}{P}, \quad (6.9)$$

$$T_{\text{окуп}} = \frac{908587,5}{1141824,96} = 0,8 \text{ года}.$$

Срок окупаемости ниже нормативной величины, это доказывает рентабельность проекта.

*Вывод*

Применение тягового электродвигателя – это очень выгодное мероприятие, которое быстро окупается и позволяет улучшить показатели электроэнергии, при расходах на внедрение системы в сумме 908587,5 тенге и общих прибылях в сумме 1141824,96 тенге получаем относительную и вполне доказываемую рентабельность проекта.

## Заключение

В данном дипломном проекте были рассмотрены вопросы диагностики неисправностей тяговых электродвигателей в общих чертах, а также на примере двух моделей электродвигателей ТЛ2К1 и ДК258А.

Для двигателя ДК 258, мощностью 60кВ, который применяют в трамваях, был приведен электромагнитный расчет. В ходе чего можно выбрать параметры и признаки диагностирования трамваев, их двигателей и составить программу диагностики.

Программу диагностики следует строить так, чтобы избежать излишних работ и неоправданной загрузки линии диагностики простейшими операциями, имея ввиду что все работы, осуществляемые на посту неравнозначны, и делятся на обязательные и выполняемые по потребности. Дальнейшего повышения эффективности диагностирования можно добиться рациональной очередности выполняемых работ.

Для двигателя ТЛ2К1 были построены механические характеристики, где наглядно можно увидеть зависимость частоты вращения ротора от момента нагрузки на валу  $M$  при следующих условиях: 1) изменение добавочного сопротивления, 2) уменьшение магнитного момента, 3) изменение напряжения.

Проведен расчет затрат на диагностику тягового электродвигателя. И сделан вывод, что применение тягового электродвигателя – это очень выгодное мероприятие, которое быстро окупается и позволяет улучшить показатели электроэнергии, при расходах на внедрение системы в сумме 908587,5 тенге и общих прибылях в сумме 1141824,96 тенге получаем относительную и вполне доказываемую рентабельность проекта.

Проанализированы меры техники безопасности и жизнедеятельности при обслуживании тягового электродвигателя. Проведен расчет естественного и искусственного освещения станции. Исходя из проделанных расчетов, рассчитывая необходимые меры безопасности и условия труда, выбраны определенные источники освещения имеющих нормированную освещенность, а также рассчитано расположение источников искусственного освещения.

На основании вышеизложенного сделан вывод, что развитие методов диагностики позволяет определить неисправность тягового электродвигателя своевременно, исключая выход двигателя из строя.

## Список литературы

- 1 Системы автоматизированного управления электроприводом: учеб. пособие / Г.И. Гульков, Ю.Н. Петренко, Е.П. Раткевич, О.Л. Симоненкова; Под общ. Ред. Ю.Н. Петренко. – Мн.: Новое знание, 2004. -384 с.: ил.
- 2 Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебн. пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
- 3 Шеховцев П.В. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов / М.:ФОРУМ, 2010.-352с.
- 4 Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – М: Издательский центр “Академия”, 2004. – 576 с.
- 5 Белов М.П., Новиков А.Д., Рассудов Л.Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 236 с.
- 6 Системы автоматизированного управления электроприводом: Учеб. Пособие / Г.И. Гульков, Ю.Н. Петренко, Е.П. Раткевич, О.Л. Симоненкова; Под общ. Ред. Ю.Н. Петренко. – Мн.: Новое знание, 2004. -384 с.: ил.
- 7 Шеховцев В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование: Учебник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М. 2004. – 407 с.: ил.
- 8 Конвейеры: Справочник/Р. А. Волков, А. Н. Гнутов, В. К. Дьячков и др. Под общ. ред. Ю. А. Пертена. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. - 367 с., с ил.
- 9 Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / [М. П. Белов, О. И. Зементов, А. Е. Козярук и др.] ; под ред. В. А. Новикова, Л. М. Чернигова. – М. : Издательский центра “Академия”, 2006. – 368 с.
- 10 Баскаков В.И. Пожары на конвейерном транспорте / В.И. Баскаков, Г.К. Герасимов, В.С. Лудзиш // Безопасность труда в промышленности. – 2000. – № 1. – С. 41-43.
- 11 Пожаробезопасность ленточных конвейеров и нормы безопасности на шахтные конвейерные ленты / А.И. Субботин, Л.А. Беляк, Л.А. Чубаров, Ю.И. Григорьев // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – № 5. – С. 18-23.