

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Электропривода и автоматизации

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой _____

(Ф.И.О., ученая степень, звание)
_____ « _____ » 20__ г.
(подпись)

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: Проектирование тягового двигателя постоянного тока

Выполнил (а) Есиркепов Ш.М. ЭАТК-14-8
(Фамилия и инициалы студента) группа

специальность 5В071800 - Электроэнергетика

Научный руководитель Шидерова Р.М.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Р.М. « 30 » мая 2018 г.
(подпись)

Рецензент: _____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ « _____ » 20__ г.
(подпись)

Консультанты:

по экономической части:
Жакупов А.А. к.э.н. профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
А.А. « 24 » мая 2018 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Маманбаева С.Е. ст. преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
С.Е. « 22 » мая 2018 г.
(подпись)

нормоконтролер: Шидерова Р.М.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
Р.М. « 30 » мая 2018 г.
(подпись)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Институт Электроэнергетики и электротехники
Специальность 5В071800 - "Электроэнергетика"
Кафедра Электрических машин и электродвижения

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Студент Есиркенов Шангас
(фамилия, имя, отчество)

Тема работы Проектирование теплового двигателя
постоянного тока

утверждена приказом ректора № 155 от «23» 10 2017 г.

Срок сдачи законченной работы «31» 05 20 г.

Исходные данные, требуемые параметры результатов и исходные
данные Мощность: 790 кВт; $\omega = 890$ об/мин; $I_H = 880$ А;
 $U_H = 950$ В; $\eta = 0,915$; $m = 4350$ кг; $M_H = 8477$ Нм;

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

В данной работе произведен расчет теплового двигателя постоянного тока. Сделан полный электромашинный расчет двигателя и характеристик. Выполнен тепловой и вентиляционный расчет. Рассмотрен вопрос замены изоляционных материалов обмотки эора на новую полцилиндрическую изоляцию.




Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Расчет магнитной цепи
2. Уравнения цепи воздушных потоков машины
3. Разор с применением проекции на основе ПДФ
4. Структура электромагнитного цепи.

Рекомендуемая основная литература

1. Корре А.Б. Тяговые электрические машины
2. А.И. Волдек Электрические машины
3. Проектирование электрических машин поч. ред. Колосова
4. Егоров Б.А. производство и ремонт коллекторов электрических машин
5. Безопасность жизнедеятельности

Консультанты по работе с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
БЖД	Мананбаева С.Е.	15.05 - 22.05	
Экономика	Жакунов А.А.	15.05 - 22.05	
Тех. газет	Миндуров Р.М.	11.05 - 31.05	

Аннотация

В этой дипломной работе производится расчет тягового электродвигателя постоянного тока. Такие двигатели широко применяются на электровозах, тепловозах, которые эксплуатируются в Казахстане. В работе была рассмотрена замена в обмотке якоря изоляционного материала. С целью уменьшения погрешностей и комфорта для расчетов электродвигателя применялся компьютер с рядами программ.

В специальной части рассматривалась технология ремонта коллектора.

В разделе экономики произведен расчет и анализ технико-экономических показателей двигателей.

В части по безопасности жизнедеятельности выполнен расчет освещенности промышленного помещения.

Аңдатпа

Осы дипломдық жұмыста тұрақты ток тартымдық электр қозғалтқышының есебі жүргізіледі. Мұндай қозғалтқыштар Қазақстанда қолданылатын электровоздар мен тепловоздарда кеңінен қолданылады. Жұмыста оқшаулағыш материалдың зәкір орамасында ауыстырылуы қарастырылған. Электр қозғалтқышын есептеу кезінде қателіктерді түзеу үшін және ыңғайлылық үшін бірқатар программалары бар компьютер қолданылады.

Арнайы бөлімде коллекторды жөндеу технологиясы қарастырылады.

Экономика бөлімінде қозғалтқыштардың техникалық-экономикалық көрсеткішінің есептеуі мен талдауы жүргізілді.

Өмір қауіпсіздігі бөлімінде өндірістік үй-жайларды жарықтандыру есебі жүргізілді.

Summary

In this diploma work calculation of the traction electric motor of a direct current is made. Such engines are widely used on electric locomotives, locomotives which are operated in Kazakhstan. In this work, the replacement of the insulation material in the anchor winding was considered. In order to reduce errors and comfort for the calculation of the electric motor used a computer with a number of programs.

In an express part the technology of repair of a collector was considered.

In the section of economy calculation and the analysis of technical and economic indexes of engines were made.

In the part of life safety calculation of illumination of industrial premises has been calculated.

Содержание

Введение.....	7
1 Проектирование тягового двигателя постоянного тока.....	10
1.1 Конструкция электродвигателя.....	10
1.2. Электромагнитный расчет.....	11
1.2.1 Исходные данные.....	11
1.2.2 Расчет активного слоя якоря	15
1.2.3 Расчет магнитной цепи.....	16
1.2.4 Расчет дополнительных полюсов.....	20
1.2.5 Электромеханические характеристики.....	23
а) Потери в ТЭД, определение к.п.д.....	23
в) Расчет и построение электромеханических характеристик.....	23
с) Расчет характеристик на валу и на ободу колеса.....	27
2 Тепловой расчет электрических машин	29
3 Вентиляция тягового двигателя.....	34
4 Технология ремонта и механический расчет коллектора.....	42
4.1 Технология ремонта коллектора.....	42
4.2 Механический расчет коллектора.....	46
5 Преимущество использования изоляции на базе ПИАБ в обмотке якоря...	51
6 Расчет и анализ технико-экономических показателей по двигателям.....	55
6.1 Зарплата основных исполнителей	59
6.2 Стоимость основных материалов.....	63
6.3 Специальные расходы.....	63
6.4 Амортизация лабораторного оборудования.....	64
6.5 Стоимость потребляемой электроэнергии.....	66
6.6 Общие расходы.....	67
7 Безопасность жизнедеятельности.....	68
7.2 Расчет освещения якорного цеха.....	74
Заключение.....	80
Список литературы.....	81

Введение

Вопреки на все без исключения проблемы электротехническая индустрия, уже после перестроечного этапа, остается основной отраслью в нашей стране. Продукт этой сферы применяется абсолютно во всех индустриальных, аграрных, военных и домашних конструкциях. В взаимосвязи с этим стоимость и качество электротехнических продуктов в значительной мере устанавливает промышленный уровень продукта иных сфер.

В промышленности электротехнической индустрии эл. машины имеют важное значение в целом объеме, по этой причине их технико-экономические характеристики и эксплуатационные качества играют существенную роль в экономике в общем.

В стране к сегодняшнему дню электро машиностроительное производство освоило широкий перечень машин и берет заказы почти на всевозможные машины, надлежащие возможности производства.

Согласно виду используемого тока, современной электроподвижной состав железных дорог и безрельсового транспорта (тепловозы, электровозы, движковые вагоны и др.) можно поделить на 3 категории:

1 - категория:

- Подвижный состав с питанием от контактных сетей 3000 (1500), 750, 550 и 250 В постоянного тока; в них используется эл. машины (тяговые двигатели и дополнительные(вспомогательные) машины с данным напряжением;

- Подвижный состав с питанием тягового двигателя от тягового генератора, приводимый в вращение двигателем внутреннего сгорания, газовой турбиной и др.; напряжения эл. машины данного подвижного состава не превышает как правило 1000 В.;

- Подвижный состав постоянного тока с питанием тягового двигателя от аккумуляторной батареи; напряжения эл. машины данного подвижного состава как правило принимают не больше 150 В.

Независимо на несколько недочетов системы электро тяги, вступающих в первую категорию, обширно используется в железных путях и безрельсовом транспорте государств СНГ, и также нескольких зарубежных стран. Данные системы в коих используется тяговый двигатель постоянного тока, обладающий крайне гибкими характеристиками, добились существенной технологической безупречности и считаются крайне верными в эксплуатациях.

2 - категория:

- Ко 2ой категории относится подвижный состав в кои используется эл. машины с питанием от трансформатора напряжение которого в порядке 500 В.

- переменного однофазного тока с пониженной частотой (16 2/3 и 25 Гц) и напряжением контактной сети 220000 В;

Хотя и обширно используемая в ряде государств система электро тяги, относящиеся к 2-ой категории, никак не способен расцениваться технически перспективной согласно обстоятельству различия с обычной частотой

питающего тока и в взаимосвязи с этим никак не развивается в последние время столь значительно. Система электро тяги, которая относится к Зей группе, со статическим выпрямителем тока приобрело существенное продвижение в ряде государств, а также и в территорий СНГ и считается технически многообещающей для главных магистральных железных путей, экипаж которого питается от контактных сетей.

3 - категория:

- Подвижный состав переменного однофазного тока стандартной частоты (50 Гц) напряжение контактных сетей которого до 22000В; В них используется тяговый двигатель, или питаемый с трансформатора, или получающий питание с любого типа преобразовательных устройств, введенных в экипаж (вентильные преобразователи тока, частоты тока, числа паз, выпрямители и т.п.).

В этой дипломной работе проектируется тяговый двигатель марки НБ-418к6

- мощностью $P = 790$ кВт,
- частотой вращения $n = 890$ об/мин,
- напряжением $U = 950$ В

Выполняется вычисления по электромагнитному, механическому, вентиляционному и тепловым расчетам.

Проектировка эл. машины выражается в отборе подходящих характеристик неоднократно расчет зависимостей между главными параметрами, выраженных в систему формул, экспериментальных коэффициентов, графичных зависимостей, которые возможно рассмотреть как уравнения проектирования. Всё без исключения данное требовало новые пути к проектированию эл. машин - существенно уменьшить сроки предпроектировочной подготовки и к немалому изменению технологии. В взаимосвязи с данным в этой дипломной работе используется программная оболочка MathCad, что считается более комфортной для пользователя и вызвана упростить проектирование электрической машины, уменьшая период проектирования.

Обширное автоматизирование проектных трудов преобразит в недалеком будущем процедуру проектирования эл. машин. Исследование приведенных затрат согласно к асинхронным движкам общей серии до 10кВ продемонстрировал, то что приблизительно 70% расходов составили текущие затраты в их использование. На часть капиталовложения доводится только 15-20% абсолютно всех расходов. Таким образом, увеличение производительности новейших эл. машин сопряжено, в первую очередь, с уменьшением эксплуатационных затрат. Первостепенную роль тут обладает увеличение надежности деятельности работ машины и усовершенствование их энергетических характеристик, притом что увеличение КПД экономически наиболее выгодно, нежели увеличение $\cos \varphi$. Увеличение надежности и усовершенствование КПД обязаны достигать без значительного повышения расходов в производство эл. машин.

В главе 4 показывается методика ремонтных работ и механическое вычисление коллектора с нажимными конусами, равно как более серьезной составляющей машины постоянного тока.

В главе 5 представлена экономический эффект от смены изоляции якорной обмотки полиимидной пленкой аддукта бензола в взаимосвязи с этим, снижается потери в обмотке якоря.

1 Проектирование тягового двигателя постоянного тока

1.1 Конструкция двигателя

Проектируемый тяговый электродвигатель состоит из двух основных частей: неподвижного остова и вращающегося якоря. На остове двигателя находятся закрепленные 6 основные полюса и 6 дополнительных полюсов. Остов с укрепленными в нем полюсами, в которых имеются катушки составляют магнитную систему двигателя. Он же производится в варианте целостной отливки из низкоуглеродной стали. Станина являет собой в поперечном разрезе восьмиугольник. Октаэдральная модель остова при 6 полюсной системе дает возможность осуществить более значимый вращающий момент сопоставимо к стандартной круглой станине в таком же размере. Остов двигателя служит одновременно магнитным сердечником и механической основой целой конструкции двигателя.

Основные полюса формируют главный электромагнитный поток в двигателе, а дополнительные полюсы гарантируют нормальную коммутацию. Основные полюсы состоящие из сердечника и полюсной катушки укреплены на станине болтами. Сердечник выполняется из скрепленных заклепками штампованных лист низкоуглеродной стали. Намотанные из меди прямоугольного разреза катушки основных полюсов бывают в виде 2ух полюсных шайб. Класс изолирования катушек основных полюсов - F.

В эпоксидном компаунде пропитывают сердечник основного полюса с закрепленной катушкой. Поэтому, после компаундирования катушка главного полюса и сердечник являют единую неразъемную систему, стабильную к температурным влияниям и к вибрации.

Магнитопровод(сердечник) дополнительного полюса выполняют из толсто листовой низкоуглеродистой стали. Объем и форма сердечника отобраны с требованием предоставления лучшей коммутации эл. двигателя. Изготавливается катушка ДП(дополнительных полюсов) из полосовой, намотанной на ребра с междувитковой изоляцией F класса, меди.

Якорь(ротор) состоит из коллектора, сердечника, вала и обмотки.

Якоря вал выполнен с очень прочной легированной стали. Уже после предварительного(чернового) обрабатывания вал подвергается термической обработке. В листах электротехнической стали, из которого шихтуют сердечник якоря, выштамповывают прямоугольные пазы с целью укладывания в вентиляционные отверстия и сердечник обмотки. Обмотка подвижной части двигателя(якоря) сделана петлевой с уравнивательскими соединениями 1-го рода со сторон коллектора.

Коллектор арочного типа этого двигателя состоит из набора пластинок, литой втулки, нажимного конуса и манжета. Изготовленный коллектор прессуют, втулка и конус стягивает набор пластинок. Внутренняя часть(полость) коллектора проверяют на газоплотность для исключения шанса проникновения влаги в внутреннюю часть коллектора.

1.2 Электромагнитный расчет

1.2.1 Исходные данные, необходимые для расчета

Таблица 1.1 - Исходные данные, необходимые для расчета

Название	НБ-418к6	
	Режим работы	
	Часовой	Продолжительный
Мощность, кВт	790	740
Частота вращения, об/мин	890	915
Ток, А	880	820
Вентиляция	Независимая	
Напряжение, В	950	
Количество охлаждающего воздуха не менее м ³ /мин	105	
Масса, кг	4350	
Возбуждение	Последовательное	

Для проектирования тягового электродвигателя использована программа расчета в MathCad, которая показана ниже. Благодаря этой программе выбраны ключевые размеры, выполнен электромагнитный расчет, построена характеристика холостого хода и рабочие характеристики.

1.2.2 Основные параметры и главные размеры

$$P_n := 790 \text{ кВт} \quad \eta := 0.915 \quad P_n := 890$$

$$U_n := 950 \text{ В} \quad D_{вк} := 1.2 \quad V_n := 50 \quad V_{max} := 105$$

Номинальный момент часовой мощности:

$$M_n := 9550 \quad M_n - 8477 \text{ Нм}$$

При этом значении момента осуществляется двухсторонняя перед $K=2$ и по графикам рисунка 2.1 и рисунка 2.2 выберем модуль инструмента передачи "m" и минимальный диаметр делительной окружности шестерни "dz" соответственно.

$$K := 2 ;$$

$$m := 0.01 \text{ м};$$

$$dz := 0.2309 \text{ м}$$

Количество зубцов шестерни:

$$\Psi := 24 \cdot \text{deg}$$

$$Z := \frac{dz}{m} \cdot \cos(\Psi) \quad Z=21$$

Максимальное возможное количество зубцов большого зубчатого колеса:

$$b := 0.1 \text{ м} \text{ зазор от нижней точки кожуха редуктора до головки рельса}$$

$\Delta := 0.025 \text{ м}$ расстояние от делительной окружности большого зубчатого колеса до внешней стены кожуха передачи

$$Z := \frac{D_{BK-2} \cdot (b + \Delta)}{m} \cdot \cos(\psi); \quad Z = 87; \quad (1.1)$$

Уточненное передаточное число:

$$i := \frac{Z}{z}; \quad i = 4.11; \quad (1.2)$$

Уточненная номинальная скорость:

$$n_H := 5.3 \cdot \frac{V_{max}}{V_H}; \quad n_H = 909; \quad (1.3)$$

Мах. скорость вращения:

$$n_{max} := n_H \cdot \frac{V_{max}}{V_H}; \quad n_{max} = 1908; \quad (1.4)$$

Определяем централь передачи - расстояние между осью большого и малого зубчатых колес:

$$Ц := \left[\frac{m}{2} \cdot (Z + z) + 0.5 \cdot m \right]; \quad Ц = 0.544 \text{ м}; \quad (1.5)$$

Число полюсов электродвигателя выбираем практически всегда равным $2p = 6$, $p = 3$

Номинальный ток электродвигателя:

$$I_H := \frac{P_H \cdot 10^3}{U_H \cdot \eta}; \quad I_H = 909 \text{ А}; \quad (1.6)$$

Диаметр D_a якоря:

$$K_a := 0.675; \quad \eta_H = 909 \text{ об/мин};$$

$$D_a := K_a \cdot \sqrt[3]{\frac{P_H}{\eta_H}}; \quad D_a = 0.64 \text{ м}; \quad (1.7)$$

Из стандартных значений выбирается диаметр якоря $D_a = 0.66$

$$1.05 \cdot Ц = 0.572 \text{ м}$$

$$0.572 > 0.66 \text{ м}$$

Правильность D_a проверяется допускаемой мах. окружной скоростью якоря V_{amax} :

$$V_{a\max} := \frac{\pi \cdot D_a \cdot \eta_{\max}}{60}; \quad V_{a\max} = 65.937 \text{ м/с}; \quad (1.8)$$

Из рисунка выбирается значение коэффициента полюсного перекрытия и линейная нагрузка:

$$\begin{aligned} \alpha &:= 0.7; \\ A &:= 50.85 \cdot 10^3 \text{ А/м}; \\ \text{Количество проводников обмотки:} \\ a &:= 3; \\ N &:= \frac{A \cdot \pi \cdot D_a \cdot 2a}{I_H}; \quad N = 696.1; \\ N &:= 696; \end{aligned} \quad (1.9)$$

Количество пластин коллектора:

$$\begin{aligned} w_c &:= 1 - \text{число витков в секции} \\ K &:= \frac{N}{2 \cdot w_c}; \quad K = 348; \\ K &:= 348; \end{aligned} \quad (1.11)$$

Величина ср. межсегментного напряжения:

$$\begin{aligned} e_{cp} &:= (2p \cdot U_H) / K; \\ e_{cp} &= 16.38 \text{ В}; \end{aligned} \quad (1.12)$$

Диаметр D_k коллектора:

$$\begin{aligned} D_k &:= 0.85 \cdot D_a; \\ D_k &= 0.561 \text{ м}; \end{aligned} \quad (1.13)$$

Коллекторное деление:

$$\begin{aligned} B_k &:= (\pi \cdot D_k) / K; \\ B_k &= 0.005 \text{ м}; \end{aligned} \quad (1.14)$$

Мах. окружение скорость коллектора:

$$\begin{aligned} V_{k\max} &:= \pi \cdot D_k \cdot n_{\max} / 60; \quad V_{k\max} = 56 \text{ м/с}; \\ V_{k\max} &\leq 52 \dots 55 \text{ м/с}; \end{aligned} \quad (1.15)$$

Определенные величины диаметров коллектора и якоря должны быть в соотношении:

$$\begin{aligned} D_k / D_a &= 0.75 \dots 0.9; \\ D_k / D_a &= 0.85; \end{aligned} \quad (1.16)$$

Число пазов выбираем по кривой $Z_n=87$

Как правило на полюс приходится число пазов:

$$Z_p := Z_n / (2 \cdot p) ; Z_p = 14.5 ; Z_p \geq 12 ; \quad (1.17)$$

Зубцовое деление:

$$t := (\pi \cdot D_a) / Z_n ; \quad t = 0.024 ; \quad (1.18)$$

Количество коллекторных пластинок на пазы:

$$\begin{aligned} U_k &:= K / Z_n ; \quad U_k = 4 ; \\ U_k &:= 4 ; \end{aligned} \quad (1.19)$$

Объемы тока в пазу:

$$2 \cdot U_k \cdot w_c \cdot I_H / 2a = 1212 \text{ A} ; \quad (1.20)$$

Уточняется:

K- число коллекторных пластинок

N- число проводников обмотки; B_k - коллекторное деление;

e_{cp} - межсегментное напряжение; A- линейная нагрузка;

$$\begin{aligned} K &:= U_k \cdot Z_n ; \quad K = 348 ; \\ N &:= 2 \cdot w_c \cdot K ; \quad N = 696 ; \\ \beta_k &:= (\pi \cdot D_k) / K ; \quad \beta_k = 0.005 ; \\ e_{cp} &:= (2p \cdot U_H) / K ; \quad e_{cp} = 16.379 ; \\ A &:= (N \cdot I_H) / 2a \cdot \pi \cdot D_a ; \quad A = 5.084 \times 10^4 ; \end{aligned} \quad (1.21)$$

Шаг по коллектору для обмотки:

$$Y_k := 1$$

Шаг по пазам:

$$\begin{aligned} Y_z &:= Z_n / 2p ; \quad Y_z = 14.5 ; \\ Y_z &:= 14 ; \quad \epsilon_n := 1/2 ; \end{aligned} \quad (1.22)$$

Первый частичный шаг обмотки якоря, выраженный в коллекторных делениях:

$$Y_1 := Y_z \cdot U_k ; \quad Y_1 = 56 ; \quad (1.23)$$

Второй частичный шаг обмотки

$$Y2 := Yz - 1 \quad Y2 = 13; \quad (1.24)$$

1.2.2 Расчет активного слоя якоря

Плотность тока якоря:

$$A_{ja} := 1700 \cdot 10^2 \text{ – фактор нагрева якоря}$$

$$J_a := A_{ja}/A; \quad J_a = 3.344 \text{ А/мм}^2; \quad (1.25)$$

4. Обмотка якоря петлевая, число ||-ных ветвей - 2, число секций в катушке -

Сечение меди обмотки якоря:

$$I_a := I_n/2a; \quad I_a = 151.472 \text{ А;}$$

$$Q_a := i_a/j_a; \quad q_a = 45.303 \text{ мм}^2; \quad (1.26)$$

По ГОСТ из таблицы выбирается размеры проводника:

h_{пр} := 10 - высота проводника

b_{пр} := 2.36 - ширина проводника

q := 47.2 мм²

Таблица 1.2 - Спецификации пазов

Медь и изоляция	Ширина	Высота (мм)
Медь	4x2.36	4x10
Собственная изоляция	4x0.3	4x0.3
Корпусная изоляция	1.56	1.56
Покровная изоляция	2x0.15	2x0.15
Прокладка (миканит)	-	3x0.5
Клин	-	5
Всего	12.5	49.56

Ширина зубца по 1/3 высоты паза:

$$b_{п} := 12.5 \cdot 10^{-3} \text{ м;} \quad h_{п} := 49.56 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$b_{z13} := \frac{\pi \cdot (D_a - 1.33h_{п})}{Z_{п}} - b_{п}; \quad b_{z13} = 0.009 \text{ м;}$$

$$h_{п}/b_{п} = 3.965; \quad (1.27)$$

3- 5 Отношение высоты и ширины паза находится в допусаемом промежутке

Расчетная ширина зубца (с учетом штамповки):

$$b'_{z13} := b_{z13} - 0.0002; \quad b'_{z13} = 0.01 \text{ м;} \quad (1.28)$$

Магнитный поток Φ:

$$E:=0.9 \cdot U_H; E = 855.$$

$$\Phi:=\frac{E \cdot 60 \cdot a}{N \cdot p \cdot n_n}; \quad \Phi=0.081 \text{ Вб}; \quad (1.29)$$

Длина стального пакета якоря:

$K_c := 0.94$ - коэффициент заполнения пакета сталью

$B_{zcp}:=1.6$

$$L_a := (2p \cdot \Phi) / (B_{zcp} \cdot b'_{z13} \cdot Z \cdot \alpha \cdot K_c)$$

$$L_a = 0.609 \text{ м}; \quad (1.30)$$

Найденное значение длины пакета якоря устраивает условия:

$$1.2 \cdot D_a \geq L_a; 0.792 \geq 0.58$$

$$1.2 \cdot D_a = 0.792; \quad (1.31)$$

1.2.3 Расчет магнитной цепи

Активная высота ярма якоря:

$B_a:=1.02$ Тл-индукция в ярме якоря;

$$h'_a := \Phi / (2 \cdot B_a \cdot L_a \cdot K_c);$$

$$h'_a = 0.073 \text{ м};$$

$$M_H/2 = 4.238 \times 10^3; \quad (1.32)$$

Количество рядов вентиляционных каналов и их диаметр:

$$D_i:=0.144 \text{ м};$$

$$(D_a - D_i - 2 \cdot h'_a) / 1.33 = 0.204;$$

$$m'_k := 1$$

$$d_k := 0.031 / m'_k; d_k = 0.031 \text{ м}; \quad (1.33)$$

Индукция в воздушном зазоре:

$$T := (\pi \cdot D_a) / 2p; T = 0.346 \text{ м} - \text{полюсное}$$

$$B\delta := \Phi / (\alpha \cdot T \cdot L_a); B\delta = 0.578 \text{ Тл}; \quad (1.34)$$

Ширина сердечника главного полюса:

$L_m:=L_a$ м $B_m:=1.5$ Тл $\sigma:=1.2$ – коэффициент рассеяния

$B_m := (\sigma \cdot \Phi) / (B_m \cdot L_m \cdot 0.97); b_m = 0.115 \text{ м}.$

Внешний габарит станины :

$$B := D_a / 0.55; \quad B = 1.2 \text{ м}; \quad (1.35)$$

Магнитное сечение ярма станины:

$B_s = 1.6$ Тл - индукция в станине

$$Q_s = (\sigma \cdot \Phi) / (2 \cdot B_s); \quad Q_s = 0.03 \text{ м}^2; \quad (1.36)$$

Толщина станины у дополнительного полюса:

$$h''_s = 0.9 \cdot \frac{Q_s}{L_a + 0.8 \cdot t}; \quad h''_s = 0.032 \text{ м}; \quad (1.37)$$

Толщина станины у главного полюса:

$$h''_s = 1.1 \cdot \frac{Q_s}{L_a + 0.8 \cdot t}; \quad h''_s = 0.039 \text{ м}; \quad (1.38)$$

Участок ярма станины (длина силовой линии по станине на один полюс):

$$L_s = \frac{\pi \cdot (B - \frac{Q_s}{L_a + 0.8 \cdot t})}{8} - \frac{b_m}{2}; \quad L_s = 0.4 \text{ м}; \quad (1.39)$$

Магнитное напряжение станины:

$B_s = 1.6$;

$H_s = 51 \cdot 10^2$ А/м;

$$F_s = H_s \cdot (L_s - \frac{b_m}{2}) + H'_s \cdot \frac{b_m}{2}; \quad F_s = 2494 \text{ А}; \quad (1.40)$$

Расчитанная величина воздушного зазора:

$\delta = 0.012 \cdot D_a$; $\delta = 0.0079$ м;

Проверяем правильность выбора d и проведем ряд расчетов:

$R' = R_H$, $I' = I_H$, $A' = A$.

Определяем магнитный поток при n_{max} :

$$\Phi' = \frac{0.97 \cdot U_H \cdot 60 \cdot a}{N \cdot p \cdot n_{max}}; \quad \Phi' = 0.042 \text{ Вб}; \quad (1.41)$$

Индукция на 1/3 высоты от основания паза :

$$B'_{z13} = \frac{2p \cdot \Phi'}{Z_p \cdot b_{z13} \cdot \alpha \cdot 0.94 \cdot L_a}; \quad B'_{z13} = 0.86 \text{ Тл}; \quad (1.42)$$

Размагничивающая реакция якоря:

$$K'_p = 0.04;$$
$$F'_{ря} = K'_p \cdot \frac{A' \cdot t}{2}; \quad F'_{ря} = 351.414 \text{ А}; \quad (1.43)$$

Индукция в зазоре при планах:

$$B'\delta := \Phi' / (\alpha \cdot t \cdot La); \quad B'\delta = 0.297 \text{ Тл}; \quad (1.44)$$

Определяем магнитное напряжение станины:

$$B_s = 1.6$$

$$H_s := 51 \cdot 10^2 \text{ А/м};$$

$$B's := \frac{\sigma \cdot \Phi}{2 \cdot h_s \cdot (L_m + b_m)}; \quad (1.45)$$

где $B's = 1.792$ Тл-индукция при выходе из полюса;

$$F_s := H_s \cdot (L_s - \frac{b_m}{2}) + H's \cdot \frac{b_m}{2}; \quad (1.46)$$

где $H's = 130 \cdot 10^2 \text{ А/м};$

$$F_s = 2494 \text{ А}.$$

Рассчитанная величина воздушного зазора:

$$\delta := 0.012 \cdot D_a; \quad \delta = 0.0079 \text{ м}.$$

Проверяется правильность выбора d и проводим ряд расчетов:

$$P' := P_H, \quad I' := I_H, \quad A' := A.$$

Магнитный поток при n_{\max} :

$$\Phi' := \frac{0.97 \cdot U_H \cdot 60 \cdot a}{N \cdot p \cdot n_{\max}}; \quad (1.47)$$
$$\Phi' = 0.042 \text{ Вб};$$

Индукция на $1/3$ высоты от основания паза:

$$B'z_{13} := \frac{2p \cdot \Phi'}{Z_{п-б} z_{13} \cdot \alpha \cdot 0.94 \cdot La}; \quad (1.48)$$

$$B'z_{13} = 0.86 \text{ Тл};$$

Размагничивающая сила реакция якоря:

$$K' := 0.04$$

$$F' := K' p \cdot \frac{A' \cdot \tau}{2}; \quad (1.49)$$

$$F'_{ря} = 351.414 \text{ А};$$

Индукция в воздушном зазоре при n_{\max} :

$$B'\delta := \frac{\Phi'}{\alpha \cdot \tau \cdot La}; \quad (1.50)$$

$$B'\delta=0.297 \text{ Тл};$$

Намагничивающая сила в воздушном зазоре:

$$t1:=\pi \cdot Da/Zn; \quad t1=0.024 \text{ м};$$

$$bz1:=t1-bn; \quad bz1=0.011 \text{ м};$$

$$K\delta:=(10 \cdot \delta+t1)/(10 \cdot \delta+bz1); \quad K\delta=1.138 \text{ м};$$

$$F'\delta:=0.8 \cdot K\delta \cdot \delta \cdot B' \cdot 10^6; \quad F'\delta=2.14 \cdot 10^3 \text{ А};$$

Примем

$$F'u:=1.1 \cdot F'\delta; \quad F'u=2354 \text{ А}; \quad (1.51)$$

Намагничивающая сила в обмотке возбуждения:

$$F'в:=F'u+F'ря; \quad F'в=2705 \text{ А}; \quad (1.52)$$

Межсегментное напряжение:

$$U_{\max}=U_n;$$

$$e_{\max}:=\frac{U_{\max} \cdot 2p}{K \cdot \alpha} \cdot \left(1 + 0.45 \cdot \frac{F'ря}{F'в}\right);$$

$$e_{\max}=24.767 \text{ В}; \quad (1.53)$$

Дальше расчет проводится в режиме номинальной скорости:

$$F\delta:=0.8 \cdot K\delta \cdot \delta \cdot B\delta \cdot 10^6; \quad F\delta=4169 \text{ А};$$

$$B'z13:=\frac{2p \cdot \Phi}{Zп \cdot bz13 \cdot \alpha \cdot 0.94 \cdot La}; \quad Bz13=1.637 \text{ Тл}; \quad (1.54)$$

$$Kр:=0.15;$$

Размагничивающая сила реакция якоря:

$$Fря:=Kр \cdot \frac{A \cdot \tau}{2}; \quad Fря=1.318 \cdot 10^3 \text{ А}; \quad (1.55)$$

Высота главного полюса:

$$h_m:=\frac{B-Da-2 \cdot h_{п}-2 \cdot \delta}{2}; \quad h_m=0.213 \text{ м};$$

$$h_{п}=0.05; \quad h'a=0.073; \quad \delta=0.00792; \quad L_s=0.4; \quad \Phi=0.081;$$

$$Bz13=1.637; \quad B_a=1.02; \quad B\delta=0.578; \quad B_m=1.5; \quad B_s=1.6;$$

$$S_z:=\frac{\Phi}{Bz13}; \quad S_a:=\frac{\Phi}{B_a}; \quad S\delta:=\frac{\Phi}{B\delta}; \quad S_m:=\frac{\Phi}{B_m}; \quad S_s:=\frac{\Phi}{B_s};$$

$$S_z=0.05; \quad S_a=0.08; \quad S\delta=0.14; \quad S_m=0.054; \quad S_s=0.051;$$

$$H_z13:=60 \cdot 10^2; \quad H_a:=5.9 \cdot 10^2; \quad H_m:=22.7 \cdot 10^2; \quad H_s:=5.1 \cdot 10^3; \quad (1.56)$$

$$F_z13:=h_{п} \cdot H_z13; \quad F_a:=h'a \cdot H_a; \quad F\delta=4169; \quad F_s:=L_s \cdot H_s;$$

$$F_z13=297.36; \quad F_a=43.034;$$

$$F_m:=h_m \cdot H_m; \quad F_s=2038; \quad F_m=482.42;$$

$$F_u:=F_z13+F_a+F\delta+F_m+F_s; \quad F_u=7030;$$

$$F'в:=F_u+F'ря; \quad F'в=7382; \quad F'ря=351.414.$$

Таблица 1.3 - Итоги расчета для номинального напряжения

Путь	Длина пути,[м]	Сечение [мм ²]	Индукция, [Тл]	Напряженность,[А/м]*10 ²	Магн.напряжение,[А]
Зу	0.0	0.0	1.673	60	297.36
Яр	0.0	0.0	1.02	59	43.034
Во	0.0	0.1	0.578		—
По	0.4	0.0	1.5	22.7	482.42
Ст		0.0	1.6	5.1	2038
Fu = 7030 А					
Fря = 351.414 А					
Fв = 7382 А					

Количество витков катушки гл. полюса для двигателя послед. возбуждения:

$$W_{\text{ГПЛ}} := \frac{F_{\text{в}}}{I_{\text{н}}}; W_{\text{ГПЛ}} = 8.12; W_{\text{ГПЛ}} := 13; \quad (1.57)$$

1.2.4 Расчет доп. полюсов

Зона коммутации, отнесения к Da;

$\beta_k = 5.064 \cdot 10^{-3}$ – коллекторное деление;

$$\varepsilon_{\text{н}} := \frac{Z_{\text{п}}}{2p} - Y_z; \varepsilon_{\text{н}} = 0.5; \varepsilon_{\text{к}} = \varepsilon_{\text{н}} \cdot U_{\text{к}}; \quad (1.58)$$

где $\varepsilon_{\text{к}} = 2$ – укороченное обмотки в коллекторных делениях;

$b_{\text{щ}} := 0.02$ – ширина щетки;

$$\gamma_{\text{щ}} := \frac{b_{\text{щ}}}{\beta_k}; \quad (1.59)$$

где $\gamma_{\text{щ}} = 3.949$ - коэффициент щеточного перекрытия, $\gamma_{\text{щ}} = 2.4$;

$$b_{\text{к}} := \beta_k \cdot \frac{D_{\text{а}}}{D_{\text{к}}} \cdot (U_{\text{к}} + \gamma + \varepsilon_{\text{к}} - 1); b_{\text{к}} = 0.053; \quad (1.60)$$

Участок коммутации должен находиться с междуполюсным «окном» в соотношении:

$$\frac{b_{\text{к}}}{\tau \cdot (1 - a)} = 0.421 \leq 0.65; \\ b_{\text{к}} \leq 0.65 \cdot \tau \cdot (1 - a); 0.65 \cdot \tau \cdot (1 - a) = 0.067; \\ 0.037 \leq 0.057 \quad (1.61)$$

Площадь соприкосновения щеток одного щеткодержателя:

$$\begin{aligned} J_{\text{щ}} &:= 12 \cdot 10^4 \text{ А/м}^2; \quad p_{\text{щ}} := p; \\ Q_{\text{щ}} &:= \frac{I_{\text{н}}}{J_{\text{щ}} \cdot p_{\text{щ}}}; \quad Q_{\text{щ}} = 0.0025 \text{ м}^2; \quad Q_{\text{щ}} := 0.0025 \text{ м}; \end{aligned} \quad (1.62)$$

Выбираем длину и ширину щеток:

$$L_{\text{щ}} := 0.025 \text{ м}; \quad b_{\text{щ}} := 0.01 \text{ м}; \quad (1.63)$$

Среднее значение реактивной ЭДС:

$$\begin{aligned} V_{\text{к}} &:= \frac{\pi \cdot D_{\text{к}} \cdot n_{\text{п}}}{60}; \quad V_{\text{к}} = 26.689; \\ u_0 &:= 1.25 \cdot 10^{-6} \text{ Г/м}; \quad K_{\text{б}} := 2; \\ h_1 &:= 0.007; \quad b_{\text{п}} = 0.013; \\ \lambda_{\text{п1}} &:= u_0 \cdot K_{\text{б}} \cdot \frac{h_1}{b_{\text{п}}}; \quad \lambda_{\text{п2}} = 1.4 \cdot 10^{-6}; \\ h_{\text{пр}} &= 10; \quad K_{\text{і}} := 0.85; \\ \lambda_{\text{п2}} &:= u_0 \cdot K_{\text{і}} \cdot \frac{2 \cdot h_{\text{пр}} \cdot 10^{-3}}{b_{\text{п}}}; \quad \lambda_{\text{п2}} = 1.7 \cdot 10^{-6}; \\ \delta_{\text{д}} &:= \delta + 1 \cdot 10^{-3}; \quad \delta_{\text{д}} = 8.92 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \\ K_{\delta_{\text{д}}} &:= \frac{10 \cdot \delta_{\text{д}} + t_1}{10 \cdot \delta_{\text{д}} + b_{\text{п}}}. \end{aligned} \quad (1.64)$$

где $K_{\delta_{\text{д}}} = 1.111$ - коэффициент воздушного зазора для дополнительного полюса;

$$\begin{aligned} b_{\text{д}} &:= 1.3 \cdot t_1; \quad b_{\text{д}} = 0.031; \\ \lambda_{\text{к}} &:= u_0 \cdot \frac{b_{\text{д}} - b_{\text{п}}}{4 \cdot K_{\delta_{\text{д}}} \cdot \delta_{\text{д}}}; \quad \lambda_{\text{к}} = 5.826 \times 10^{-7}; \\ L_{\text{н}} &:= 1.3 \cdot \tau; \quad L_{\text{л}} = 0.449; \quad h_{\text{з}} := h_{\text{п}}; \\ \lambda_{\text{п}} &:= 0.37 \cdot u_0 \cdot \frac{L_{\text{п}}}{L_{\text{а}}} \cdot \log \left(1 + \frac{\pi \cdot \tau}{4 \cdot h_{\text{з}}} \right); \quad \lambda_{\text{п}} = 2.907 \times 10^{-7}; \\ \lambda &:= \lambda_{\text{п1}} + \lambda_{\text{п2}} + \lambda_{\text{к}} + \lambda_{\text{п}}; \quad \lambda = 3.973 \cdot 10^{-6}; \\ e_{\text{р}} &:= \frac{8 \cdot i_{\text{а}} \cdot U_{\text{к}} \cdot \omega c^2 \cdot \lambda \cdot L_{\text{а}} \cdot V_{\text{к}}}{\beta_{\text{к}} \cdot (U_{\text{к}} + \gamma + \varepsilon_{\text{к}} - 1)}; \quad e_{\text{р}} = 6.578; \end{aligned} \quad (1.65)$$

Индукция в зазоре под дополнительным полюсом:

$$\begin{aligned} V_{\text{а}} &:= \frac{\pi \cdot D_{\text{а}} \cdot n_{\text{п}}}{60}; \quad V_{\text{а}} = 31.398 \text{ м/с}; \\ B_{\text{д}} &:= \frac{e_{\text{р}}}{2 \cdot \omega c \cdot L_{\text{а}} \cdot V_{\text{а}}}; \quad B_{\text{д}} = 0.181 \text{ Тл}; \end{aligned} \quad (1.66)$$

Намагничивающая сила катушки дополнительного полюса:

$$\begin{aligned} F_{\delta_{\text{д}}} &= \frac{1}{\mu_0} \cdot B_{\text{д}} \cdot K_{\delta_{\text{д}}}; \quad F_{\delta_{\text{д}}} = 1.432 \cdot 10^3 \text{ А}; \\ F_{\text{д}} &:= F_{\delta_{\text{д}}} + F_{\text{ря}}; \quad F_{\text{д}} = 2.75 \cdot 10^3 \text{ А}; \end{aligned} \quad (1.67)$$

Высота дополнительного полюса:

$$h\delta_d := 0.004; h''s = 0.032 \text{ м};$$
$$h_d := \frac{B \cdot Da - 2 \cdot h\delta_d - 2 \cdot h''s}{2}; h_d = 02.34 \text{ м}; \quad (1.68)$$

Ширина наконечника доп. полюса:

$$b_{\text{нак.дп}} := 1.5 \cdot t_1; b_{\text{нак.дп}} = 0.036; \quad (1.69)$$

Проводимость пути потока рассеяния на единицу длины сердечника:

$$S := 0.06$$
$$\lambda_{sd} := \mu_0 \cdot \frac{0.8 \cdot h_d}{S}; \lambda_{sd} = 3.901 \cdot 10^{-6}; \quad (1.70)$$

Полезный магнитный поток доп. полюса в зазоре:

$$\Phi_d := B_d \cdot L_a(b_d + 3 \cdot \delta); \Phi_d = 5.734 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}; \quad (1.71)$$

Поток рассеяния дополнительного полюса:

$$\sigma_d := 1 + \frac{\Phi_s}{\Phi_d}; \sigma_d = 2.085; \quad (1.72)$$

Индукция в сердечнике дополнительного полюса:

$$b_{md} = 0.06; L_{md} = L_a;$$
$$B_{md} := \frac{F_d}{I_H}; B_{md} = 0.344; \quad (1.73)$$

Количество витков в катушке дополнительного полюса:

$$W_d := \frac{F_d}{I_H}; W_d = 3.026; W_d = 7; \quad (1.74)$$

Сечение проводника обмотки:

$$j := 3.7 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2;$$
$$q_d := \frac{I_H}{j}; q_d = 2.456 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; q_d = 2.5 \text{ м}^2; \quad (1.75)$$
$$a_{дпр} := 0.00125 \text{ м}; b_{дпр} := 0.0195 \text{ м};$$

Для оценки фактора искрения находим сопротивление секций:

$$L_{cp} := L_a + 1.3\tau; L_{cp} = 1.029 \text{ м};$$

$$p := \frac{1}{4}; p = 0.25;$$

$$r_c := p \cdot \frac{2 \cdot L_{cp}}{q}; r_c = 0.0368 \text{ Ом}; q = 46.1; \quad (1.76)$$

Сопротивление щетка - коллектор:

$$I_{щ} := I_n; \gamma_{щ} = 3.949;$$

$$R_{щ} := \frac{\Delta U}{I_{щ}} \cdot \gamma_{щ}; R_{щ} := 0.0384 \text{ Ом}; \quad (1.80)$$

Ток в коммутируемой секции:

$$K_r := 0.13; \beta_l := 1;$$

$$i_k := \frac{\beta_l \cdot K_r \cdot e_r}{R_{щ} + r_c}; i_k = 11.371 \text{ А}; \quad (1.81)$$

Индуктивность коммутируемой секции:

$$L_c := 2 \cdot L_a \cdot \lambda \cdot w_c^2; L_c = 4.609 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}; \quad (1.82)$$

По окончании расчета дополнительных полюсов, необходимо оценить коммутацию машины по фактору искрения:

$$\Phi_{и} := \left(\frac{0.4}{D_k} \right)^{1.5} \cdot \frac{i_k \cdot L_c \cdot V_k}{2 \cdot \beta_k \cdot L_{щ}}; \Phi_{и} = 3.326; \quad (1.83)$$

1.2.5 Электромеханические характеристики

а) Потери в ТЭД, определение КПД

б) Сопротивление обмотки якоря

$$r_a := \frac{1}{44} \cdot \frac{N \cdot L_{cp} \cdot q \cdot 3}{q \cdot 3 \cdot (2a)^2}; r_a = 0.0033 \text{ Ом}; \quad (1.84)$$

Сопротивление обмотки главных полюсов:

$$b_{кат} := 0.005;$$

$$L_{глп} := 2 \cdot (L_a + b_m) + \pi \cdot b_{кат}; L_{глп} = 1.406;$$

$$q_{глп} := \frac{I_n}{j}; q_{глп} = 2.456 \cdot 10^{-4}; q_{глп} = 195 \text{ Ом}; \quad (1.85)$$

$$r_{глп} := \frac{1}{44} \cdot \frac{2p \cdot w_{глп} \cdot L_{глп}}{q_{глп}}; r_{глп} = 0.013 \text{ Ом};$$

Сопротивление обмотки дополнительных полюсов:

$$\begin{aligned} L_{срдп} &:= 2 \cdot (L_a + 0.2 \cdot \tau); L_{срдп} = 1.298 \text{ м}; \\ r_{д} &:= \frac{1}{44} \cdot \frac{2p \cdot W_{гпп} \cdot L_{срдп}}{q_{д} \cdot 10^2}; r_{д} = 0.005 \text{ Ом}; \end{aligned} \quad (1.87)$$

Электрические потери:

$$P_{эл} := I_n^2 \cdot (r_a + r_{гпп} + r_{д}); P_{эл} = 1736 \text{ Вт}; \quad (1.88)$$

Потери в щеточном контакте:

$$P_{щ} := \Delta U \cdot I_n; P_{щ} = 909 \text{ Вт}; \quad (1.89)$$

Масса ярма:

$$\begin{aligned} G_a &:= \frac{\pi}{4} \cdot [(D_a - 2 \cdot h_z)^2 - D_i^2 - m'k \cdot dk^2] \cdot L_a \cdot 0.94 \cdot 7.8 \cdot 10^3; \\ G_a &= 978.237 \text{ кг}; \end{aligned} \quad (1.90)$$

Масса зубцов:

$$\begin{aligned} G_z &:= \left[\frac{\pi}{4} \cdot [D_a^2 - (D_a - 2 \cdot h_n)^2] - Z_{п} \cdot b_{п} \cdot h_{п} \right] \cdot L_a \cdot 0.94 \cdot 7.8 \cdot 10^3; \\ G_z &= 174.982 \text{ кг}; \end{aligned} \quad (1.91)$$

Удельные потери:

$$\begin{aligned} P_z &:= [0.044 \cdot f + 5.6 \cdot \left(\frac{f}{10}\right)^2] \cdot B_z 13^2; p_z = 8.459 \text{ Вт/кг}; \\ P_a &:= [0.044 \cdot f + 5.6 \cdot \left(\frac{f}{10}\right)^2] \cdot B_a^2; p_a = 3.282 \text{ Вт/кг}; \end{aligned} \quad (1.92)$$

Потери мощности в стали:

$$P'c = 2.7 \cdot (G_a \cdot p_a + G_z \cdot p_z); P'c = 12665 \text{ Вт}; \quad (1.93)$$

Потери на трения в щетках:

$$\begin{aligned} K' &:= 0.9 \quad p_{щ} := p \quad Q_{щ} := 25; \\ P_{тщ} &:= K' \cdot V_k \cdot Q_{щ} \cdot 2 \cdot p_{щ}; P_{тщ} = 3603 \text{ Вт}; \end{aligned} \quad (1.94)$$

Потери трения в подшипниках:

$$P_{\text{подш}} := 0.002 \cdot U_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}}; P_{\text{подш}} = 1727 \text{ Вт}; \quad (1.95)$$

Потери на вентиляцию:

$$P_{\text{вент}} := 0.003 \cdot V a^3; P_{\text{вент}} = 92.863 \text{ Вт}; \quad (1.96)$$

Механические потери:

$$P_{\text{мех}} := P_{\text{тщ}} + P_{\text{подш}} + P_{\text{вент}}; P_{\text{мех}} = 5423 \text{ Вт}; \quad (1.97)$$

Добавочные потери:

$$P_{\text{доб}} := 0.3 \cdot P'_{\text{с}}; P_{\text{доб}} = 3799 \text{ Вт}; \quad (1.98)$$

Сумма потерь:

$$\Sigma P := P_{\text{эл}} + P'_{\text{с}} + P_{\text{тщ}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{доб}}; \Sigma P = 40152 \text{ Вт}; \quad (1.99)$$

КПД:

$$\eta_2 := \frac{U_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}} - \Sigma P}{U_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}}}; \eta_2 = 0.953; \quad (1.100)$$

Расчет и построение электромеханических характеристик:

$$\begin{aligned} X &:= 0.25, 0.5..1.25; \\ \Phi_1(x) &:= \Phi \cdot x; \\ Bz_{13}(x) &:= \frac{2p \cdot \Phi_1(x)}{Z_{\text{п}} \cdot b z_{13} \cdot \alpha \cdot 0.94 \cdot L a}; Bz_{13}(1) = 1.637; \end{aligned} \quad (1.101)$$

0.4	68
0.5	76
0.6	86
0.7	96

$$\begin{aligned} x_1 &:= h_1^{(0)}; \\ y_1 &:= h_1^{(1)}; \\ d_1(k_1) &:= \text{linterp}(x_1, y_1, k_1); \\ z_{11}(x_1) &:= d_1(x_1); \end{aligned}$$

Магнитное напряжение:

$$\begin{aligned} H_z(x) &:= z_{11}(Bz_{13}(x)) \cdot 10^2; H_z(1) = 5.011 \cdot 10^5 \text{ А/м}; \\ F_z(x) &:= h_z \cdot H_z(x); F_z(1) = 2.484 \cdot 10^4 \text{ А}; \end{aligned} \quad (1.102)$$

Индукция в спинке якоря:

$$B_a(x) := \frac{\Phi_1(x)}{2 \cdot L a \cdot h' a \cdot K_c}; B_a(1) = 1.02; \quad (1.103)$$

Напряженность магнитного поля:

$$H_m(x) := z_{11}(B_m(x)) \cdot 10^2; H_m(1) = 1.6 \cdot 10^5; \quad (1.104)$$

Магнитное напряжение сердечника главного полюса:

$$F_m(x) := H_m(x) \cdot h_m; F_m(1) = 3.4 \cdot 10^4; \quad (1.105)$$

Индукция в воздушном зазоре между главным полюсом и станиной:

$$B_s(x) := \frac{\sigma \cdot \Phi_1(x)}{2 \cdot (L_a + b_m) \cdot h'_s}; B'_s(1) = 1.792; F\delta = 4.169 \cdot 10^3; \quad (1.106)$$

Магнитное напряжение воздушного зазора между главным полюсом и станиной:

$$F'_s(x) := 0.8 \cdot B'_s(x) \cdot \frac{b_m}{2}; F'_s(1) = 0.083; \quad (1.107)$$

Индукция в станине:

$$B_s(x) := \frac{\sigma \cdot \Phi_1(x)}{2 \cdot Q_s}; B_s(1) = 1.6; \quad (1.108)$$

0.4	68
0.5	76
0.6	86
0.7	96

$$\begin{aligned} x_1 &:= h_1^{(0)}; \\ y_1 &:= h_1^{(1)}; \\ d_1(k_1) &:= \text{linterp}(x_1, y_1, k_1); \\ z_{11}(x_1) &:= d_1(x_1); \end{aligned}$$

Магнитные напряжения:

$$\begin{aligned} H_s(x) &:= z_{11}(B_s(x)) \cdot 10^2; H_s(1) = 3.4 \cdot 10^5 \text{ A/m}; \\ F_s(x) &:= 0.8 \cdot B_s(x) \cdot L_s; F_s(1) = 0.512; \end{aligned} \quad (1.109)$$

Индукция в воздушном зазоре :

$$\begin{aligned} B\delta(x) &:= \frac{\Phi_1(x)}{\alpha \cdot \tau \cdot L_a}; B\delta(1) = 0.578; \\ F\delta(x) &:= 0.8 \cdot K\delta \cdot \delta \cdot B\delta(x) \cdot 10^6; F\delta(1) = 4.169 \cdot 10^3; \\ F\mu(x) &:= F_z(x) + F_m(x) + F_a(x) + F_s(x) + F\delta(x); \\ F\mu(1) &= 6.485 \cdot 10^4; \end{aligned} \quad (1.110)$$

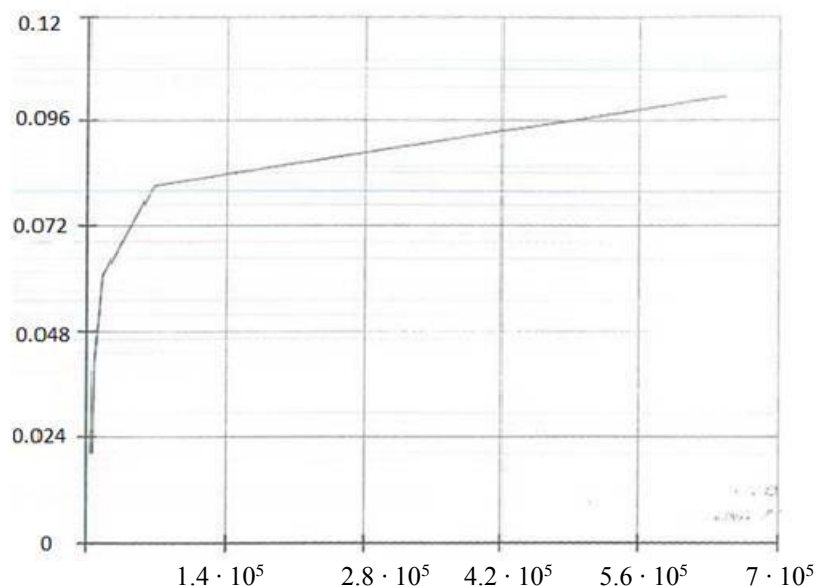


Рисунок 1.1

с) Расчет характеристик на обводе колеса и на валу

$$y := 0.01, 0.04..2; I(y) := I_H \cdot y; r_a = 3.27 \cdot 10^{-3}; r_{г\text{лп}} = 0.013;$$

$$r_d = 4.957 \cdot 10^{-3}; \Sigma r := r_a \cdot r_{г\text{лп}} \cdot r_d; \Sigma r = 2.072 \cdot 10^{-7};$$

$$E(y) := U_H \cdot \Delta U + I(y) \cdot \Sigma r; E(1) = 950;$$

$$F_{ря}(y) := \frac{N \cdot I(y) \cdot \tau}{2a \cdot 2 \cdot \pi \cdot D a}; F_{ря}(1) = 8.785 \cdot 10^3;$$

$$C := \frac{60 \cdot a}{N \cdot p}; \quad C = 0.086;$$

$$F'_{ря}(y) := K_p \cdot F_{ря}(y); F'_{ря}(1) = 1.318 \cdot 10^3;$$

$$w_r := 38; F_B(y) := W_r \cdot I(y); F_B(1) = 3.454 \cdot 10^4;$$

$$F_{\mu}(y) := F_B(y) \cdot F'_{ря}(y); F_{\mu}(1) = 4.551 \cdot 10^7;$$

$$\Phi_1(y) := \Phi \cdot y; \Phi_1(1) = 0.081;$$

$$n(y) := C \cdot \frac{E(y)}{\Phi_1(y)}; \quad n(0.3) = 3.365 \cdot 10^3;$$

$$P_{эл}(y) := I(y)^2 \cdot \Sigma r; \quad P_{эл}(1) = 0.171;$$

$$P_c(y) := P'_c \cdot \frac{\Phi_1(y)^2}{\phi} \cdot \left(\frac{n(y)}{n_H}\right)^{1.5}; \quad P_c(1) = 1.483 \cdot 10^4;$$

$$P_{тщ}(y) := P_{тщ} \cdot \frac{n(y)}{n_H}; \quad P_{тщ}(1) = 1.483 \cdot 10^3;$$

$$P_{щ}(y) := \Delta U \cdot I(y); \quad P_{щ}(1) = 908.829;$$

$$P_{подш}(y) := P_{подш} \cdot \frac{n(y)}{n_H}; \quad P_{подш}(1) = 1.919 \cdot 10^3;$$

$$P_{вент}(y) := P_{вент} \cdot \frac{n(y)}{n_H}; \quad P_{вент}(1) = 103.181;$$

$$P_{мех}(y) := P_{тщ}(y) + P_{подш}(y) + P_{вент}(y); \quad P_{доб}(y) = 0.3 \cdot P_c(y);$$

$$\Sigma P(y) := P_{эл}(y) + P_c(y) + P_{щ}(y) + P_{мех}(y) + P_{доб}(y);$$

$$\Sigma P(1) = 2.622 \cdot 10^4;$$

$$P1(y) := U_H \cdot I(y); \quad P1(1) = 8.634 \cdot 10^5;$$

$$P2(y) := P1(y) - \Sigma P(y); \quad P2(1) = 8.372 \cdot 10^5;$$

$$\eta(y) := \frac{P2(y)}{P1(y)}; \quad \eta(1) = 0.97;$$

$$M(y) := 9.550 \cdot \frac{P2(y)}{n(y)}; \quad M(1) = 7,919 \cdot 10^3;$$

$$V(y) := 0.189 \cdot \frac{D_{BK}}{i} \cdot n(y); \quad V(1) = 55.65;$$

$$\Delta_3 := 2.5;$$

$$\eta_0(y) := \eta(y) - \Delta_3 \cdot 10^{-2}; \quad \eta_0(1) = 0.945;$$

$$F_H(y) := \frac{2 \cdot M(y) \cdot i}{D_{BK}} \cdot \eta_0(y); \quad F_H(1) = 5.13 \cdot 10^4;$$

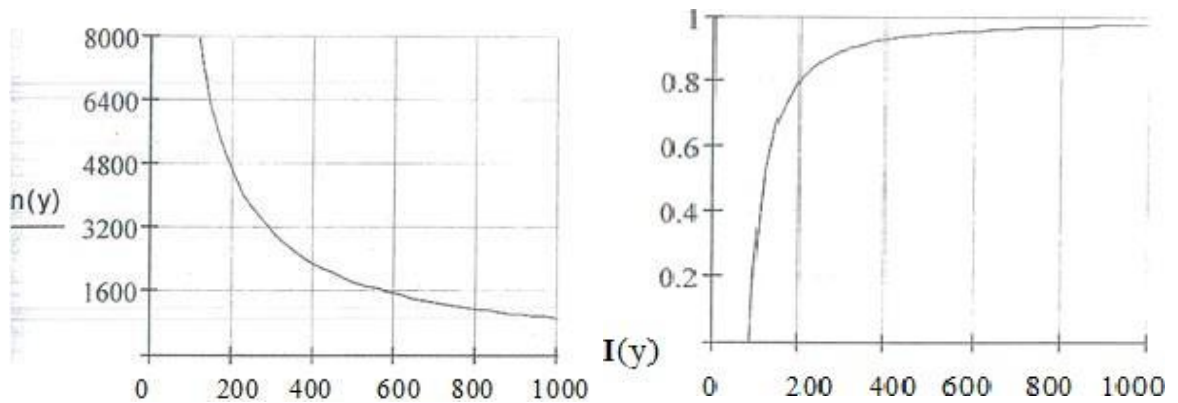


Рисунок 1.2

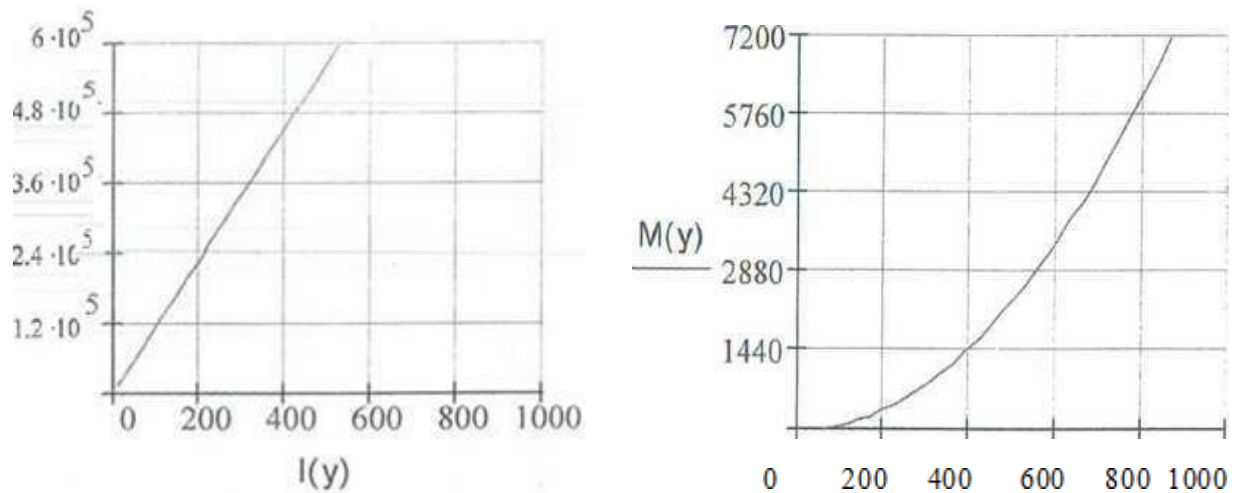


Рисунок 1.3

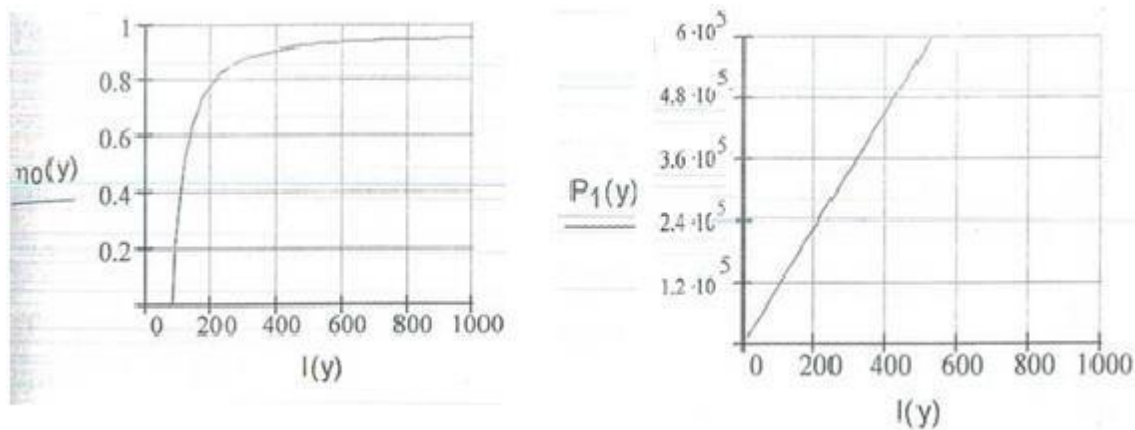


Рисунок 1.4

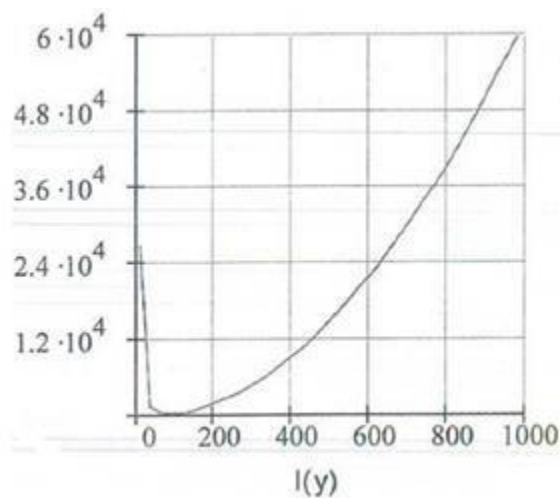


Рисунок 1.5

2. Тепловой расчет электрических машин

С целью проверки надежности работы двигателя. главной задачей считается определение теплового расчета для средней температуры активных частей двигателя,

Распределение потерь энергии в составляющих частях электрической машины, значения физических постоянных - теплопроводности, теплоемкости и условия теплопередачи граничных поверхностях. данные параметры являются исходными данными при тепловом расчете.

2.1 Метод эквивалентных тепловых схем

Метод эквивалентных тепловых схем (метод ЭТС) базируется на аналогии тепловых контактов и эл. токов. Такая аналогия основана на единой форме уравнений теплообмена (закон Фурье) $P = \Delta\theta \cdot \lambda$ и электрического тока (закон Ома) $I = \Delta U \cdot G$. В тепловых схемах замещения разность температур $\Delta\theta = (\theta_1 - \theta_2)$ соответствует разности потенциалов

$\Delta U = (U_1 - U_2)$, тепловой поток P — электрическому току I , тепловая проводимость λ - электрической проводимости G .

Главные допуски метода эквивалентных тепловых схем заключается в смене действительного источника теплоты и телловой проводимости, при этом последнее берется постоянной независимой от теплового потока. Этот путь дает возможность сведения способа ЭТС алгебраическими методами к расчету линейной цепи.

Подобным методом, эл. машины относительно разделяется на n однородных компонентов внутри коих источники теплоты мощностью P_1, P_2, \dots, P_n (равной эл. потерям в данных компонентах) и температурами $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$. Эти компоненты объединены друг с другом тепловой проводимостью $\lambda_{12}, \lambda_{13}, \dots, \lambda_{1n}$. Также нужно рассмотреть, что отвод теплоты идет от тела n , сопряженного с данной среды проводимостью, в охлаждающую среду.

Согласно выше указанным для такого метода ЭТС возможно сделать запись системы линейного алгебраического уравнения:

$$\begin{aligned} (\theta_1 - \theta_2)\lambda_{12} + (\theta_1 - \theta_3)\lambda_{13} + \dots + (\theta_1 - \theta_n)\lambda_{1n} &= P_1; \\ (\theta_2 - \theta_3)\lambda_{21} + (\theta_2 - \theta_3)\lambda_{23} + \dots + (\theta_2 - \theta_n)\lambda_{2n} &= P_2; \\ (\theta_n - \theta_1)\lambda_{n1} + (\theta_n - \theta_2)\lambda_{n2} + \dots + (\theta_n - \theta_0)\lambda_{n0} &= P_n; \end{aligned} \quad (2.1)$$

Решая эту систему (1.2.1.) возможно согласно значениям A и L установить температуры активных элементов эл. машины. Согласно способу ЭТС определяют значения средних температур частей электродвигателя и их варьирование при изменении параметров элтехнических материалов, охлаждающих условий и т.д., и по этой причине данный способ считается преимущественным при проектировке.

2.2 Тепловой расчет двигателя марки НБ-418к6

В процессе работы электродвигателя источником теплоты в движке считаются:

1. Потери в меди обмотки якоря $P_{ма}$, кои делятся на потери в пазовой и лобовой части обмотки $P_{мп}$ и $P_{мл}$, потери в обмотке послед. возбуждения P_c и потери в обмотке дополнительных полюсов $P_{дп}$, также потери коллектора P_k .

2. Потери стали сердечника $P_{сх}$ формируются с потери в ярме якоря и зубцах, пульсационные потери и дополнительные потери которые бывают в полюсном наконечнике $P_{пн}$.

Охлаждающая воздушная среда протекает через междуполюсные пространства, обдувая наружные поверхности элементов машины. Данный электродвигатель содержит серийную и шунтовую обмотку, кроме этих еще обмотку дополнительного полюса. Обмотка якоря состоит с прочных секций, пазы его открытые и прямоугольные, а лобовые части бандажированы, без возможности прохождения воздуха под обмоткой.

Таблица 2.1

Исходные данные для теплового расчета якоря	
Мощность	$P_{\text{НОМ}} = 790 \text{ кВт}$
Число пазов	$Z = 87$
Число проводников обмотки якоря	$N = 696$
Частота вращения	$n_{\text{НОМ}} = 890 \text{ об/мин}$
Число полюсов	$2p = 6$

Класс изоляции нагревостойкости - Н ($\theta_{\text{доп}} = 80^\circ\text{C}$; $\lambda_{\text{и}} = 0.16 \text{ Вт/мк}$).

Нужные данные к тепловому расчету размеры (мм) и другие показатели : диаметры якоря внешний и внутренний $D_a = 660$, $D_j = 144$; диаметр коллектора, мм, $D_k = 561$; длины, мм - активная $l = 580$; лобовой части обмотки $l_l = 200$; $l_f = 48.3$ бандажа $l_b = 27$.

$r_1 = 3.5$; $r_2 = 2$; $h_1 = 49.56 \text{ мм}$; $B_z = 7$; $h_k = 5$; $\Delta U_n = 0.5$; количество витков в секции $W_c = 1$; количество элементарных проводников в пазу $N_n = 16$. Обмотка якоря выполняется из провода марки ПЭТВСД [$\lambda_n = 0.14 \text{ Вт/м-к}$]. Сердечник якоря выполняется из стали 2411 с толщиной листа 0.35 мм , коэффициент заполнения $K_c = 0.95$, $\lambda_{\text{ст}} = 34 \text{ Вт/м-к}$.

Потери: $P_{\text{ма}} = 552 \text{ Вт}$; $P_{\text{нв}} = 290 \text{ Вт}$; $P_{\text{мс}} = 209 \text{ Вт}$;
 $P_{\text{мш}} = 228 \text{ Вт}$; $P_{\text{тщ}} = 155 \text{ Вт}$; $P_{\text{щ}} = 138 \text{ Вт}$; $P_c = 70.5 \text{ Вт}$; $P_{\text{доб}} = 224 \text{ Вт}$; $P_{\text{мсх}} = 200 \text{ Вт}$. $Q_v = 1.1 \text{ м}^3/\text{с}$ - из вентиляционного расчета.

2.3 Тепловой расчет якоря

Окружные скорости якоря и коллектора:

$$U_a = D_a \cdot \frac{\omega}{2} = \pi \cdot D_k \cdot \frac{n_{\text{НОМ}}}{60} = 3.14 \cdot 0.66 \cdot \frac{890}{60} = 30.57 \text{ м/с};$$

$$U_k = D_k \cdot \frac{\omega}{2} = \pi \cdot D_k \cdot n_{\text{НОМ}}/60 = 3.14 \cdot 0.561 \cdot 890/60 = 26.14 \text{ м/с}; \quad (2.2)$$

Коэффициент теплоотдачи лобовой и активной части, а также коллектора определены по формулам:

$$\begin{aligned} a_a &= 9.5(1 + 0.6 \cdot U_a^{0.9}) = 9.5(1 + 0.6 \cdot 31.8^{0.9}) = 137.7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{к}; \\ a_{\text{л}} &= 12.5(1 + 0.85 \cdot U_{\text{л}}^{0.85}) = 12.5(1 + 0.85 \cdot 31.8^{0.85}) = 213.6 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{к}; \\ a_k &= 16(1 + U_k^{0.7}) = 16(1 + 25^{0.7}) = 166 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{к}; \end{aligned} \quad (2.3)$$

Тепловое сопротивление от поверхности активной части к воздуху.

$$R_a = \frac{1}{\pi \cdot D_a \cdot l \cdot a_a} = \frac{1}{3.14 \cdot 0.66 \cdot 0.12 \cdot 137.7} = 0.03 \text{ к/Вт}; \quad (2.4)$$

Тепловое сопротивление от лобовой части к воздуху:

а) расчетная толщина лобовой части;

$$h_{л} = 0.24 \cdot d_u^2 \cdot N_n \cdot Z \cdot \frac{1_l}{Da \cdot 1f} = 0.24 \cdot 1,585^2 \cdot 16 \cdot 87 \cdot \frac{200}{660} \cdot 48.3 = 5.26 \text{ мм}; \quad (2.5)$$

б) расчетный вылет;

$$\Gamma f = I_f + h_{л} = 48.3 + 5.26 = 53.56; \quad (2.6)$$

в) площадь поверхности на одну сторону якоря;

$$S_{л} = 0.95 \cdot \pi \cdot Da \cdot \Gamma f = 0.95 \cdot 3.14 \cdot 0.66 \cdot 0.535 = 1.054 \text{ м}^2; \quad (2.7)$$

В взаимосвязи с чем что доля поверхности заперта изоляцией бандажа, в таком случае определим для него эквивалентное тепловое сопротивление на единицу площади

$$p_{\sigma} = \Delta_w / \lambda_u + 1/a_{л} = 0.5 \cdot 10^{-3} / 0.16 + 1/213.6 = 0.78 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2, \text{ к/Вт}; \quad (2.8)$$

Подобным образом тепловое сопротивление то лобовой части обмотки к воздуху определяют в следствии сложении 2-ух ||-ных проводимостей от закрытой и не закрытой бандажом частей:

$$R_{ла} = 1 / \{ S_{л} [a_{л} (1 - 1_{\sigma} / 1'f) + 1/p_{\sigma} (1_{\sigma} / 1'f)] \} = 1 / \{ 1.054 [213.6 \cdot (1 - 27/53.56) + (1/0.78 \cdot 10^{-2}) (27/53.56)] \} = 0.0055 \text{ к/Вт}; \quad (2.9)$$

Тепловое сопротивление коллектор – воздух:

$$R_{k0} = \frac{1}{\pi} \cdot D \cdot 1.25 \cdot 1_k \cdot D_k = 1/3.14 \cdot 0.561 \cdot 1.25 \cdot 0.066 \cdot 166 = 0.04 \text{ к/Вт}; \quad (2.10)$$

Телловое сопротивление (обмотка - сердечник) формируется на 2-ух поочередно находящихся составляющих: сопротивление передачи теплоты внутри обмотки меж круглыми изолированными касающимися проводами и сопротивление пазовой изоляций. Первый зависит от эквивал. коэф.-та теплопроводности круглого провода.

Тепловое сопротивление зубцов:

$$R_Z = \frac{r_2 + h_1 + 0.5 \cdot r_1}{3 \cdot Z_1 \cdot B_z \cdot K_c \cdot \lambda_{ст}} = \frac{(2 + 49.56 + 0.5 \cdot 3.5) \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 87 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 0.12 \cdot 0.95 \cdot 34} = 0.0027 \text{ к/Вт}; \quad (2.11)$$

Суммарное тепловое сопротивление (на тепловой схеме R_{co}):

$$R_{co} = R_z + R_a = 0.027 + 0.03 = 0.057 \text{ к/Вт}; \quad (2.12)$$

Аксиальное тепловое сопротивление лобовой части обмотки:

$$R_{мл} = 1_{л}/(0.5S_M \cdot \lambda_M) = 0.27 + 0.03 = 0.057 \text{ к/Вт}; \quad (2.13)$$

где $S_M = Z \cdot N_n \left(\frac{\pi}{4}\right) d_M^2 = 87 \cdot 16 \cdot 0.7854 \cdot 1.5^2 \cdot 10^{-6} = 1.093 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ -

общая площадь сечения проводников обмотки $\lambda_{эл} = 390 \frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot \kappa$ - КПД меди.

Поперечное тепловое сопротивление пучка проводов:

$$R_{ул} = h_{л}/12 \cdot S_{л} \cdot \lambda_{эл} = 0.00526/(12 \cdot 0.001054 \cdot 0.87) = 0.04 \text{ к/Вт}; \quad (2.14)$$

Результирующее тепловое сопротивление для-обеих лобовых частей (на тепловой схеме $R_{мо}$):

$$R_{мо} = (R_{ла} + R_{ал} + R_{мл}/30)/2 = (0.0055 + 0.04 + 1.488/30)/2 = 0.0475 \text{ к/Вт}; \quad (2.15)$$

Тепловое сопротивление связи обмотки с коллектором:

$$R_{мк} = 0;$$

Результирующая тепловая проводимость от якоря к охлаждающему воздуху:

$$\Lambda_{я} = 1/R_{мо} + 1/(R_{co}+R_{un}) + 1/R_{ко} = 1/0.0475 + 1/(0.057 + 0.04) + 1/0.04 = 56.36 \text{ Вт/к}; \quad (2.16)$$

Приведенные к узлу м потери.

Считается, что в якоре выделяется 50% добавочных потерь и 60% тепловыделения в коллекторном узле надо отнести к лично самому коллектору, а прочее рассеивается поверхностями щеток и щеткодержателей.

$$R_{я} = P_M + \frac{P_{ст+0.5доб}}{2+R_{уп}/R_{co}} + \frac{0.6(P_{эщ}+P_{тщ})}{1+R_{мк}/R_{ко}} = 522 + \frac{70.5+0.5 \cdot 224}{1+0.04/0.057} + \frac{0.6(138+155)}{1/0.04}$$

$$R_{я} = 636.27 \text{ Вт}; \quad (2.17)$$

Среднее превышение температуры воздуха внутри машины:

$$\theta_B = \frac{K_{в\Sigma P}}{1100Q_B} = \frac{0.9 \cdot 2166}{1100 \cdot 0.17} = 10.1^\circ\text{C}$$

$$\lambda_э = 2.5 \cdot \lambda_{п}/\sqrt{1.3(d_u/d_M)} - 1 = 2.5 \cdot 0.14/\sqrt{1.3(1.585/1.5)} - 1 = 0.572 \text{ Вт/м} \cdot \text{к}; \quad (2.18)$$

Для лобовых частей ввиду более плотного расположения проводов:

$$\lambda_{эл} = 2.5 \cdot \lambda_{п}/\sqrt{1.1 \frac{(1.585)}{1.5}} - 1 = 2.5 \cdot \frac{0.14}{\sqrt{1.1 \left(\frac{1.585}{1.5}\right) - 1}} = 0.875 \text{ Вт/м} \cdot \text{к}; \quad (2.19)$$

Поле впазу можно принимать 2-ухмерным. Его анализ дает возможность находить внутреннее сопротивление паза с помощью коэффициента

$$v = \pi/4 + (h_1 + h_k)/(r_1 + r_2) = 0.7854 + (49.56 - 5)/(3.5 + 2) = 3.049; \quad (2.20)$$

где Π = периметр.

$$2 \cdot h_1 + 2/3 \cdot r_1 + \pi \cdot r_2 = 2 \cdot 49.56 + 2/3 \cdot 3.5 + 3.14 \cdot 2 = 105.6 \text{ мм};$$

Результирующее тепловое сопротивление:

$$R_{\text{уп}} = 1/Z \cdot 1 \cdot [\Delta U_{\text{п}}/\Pi \cdot \lambda_{\text{п}} + 1/12 \cdot \lambda_{\text{э}} \cdot (v + 0.33/v)] = 1/87 \cdot 0.58[0.5 \cdot 10^{-3}/62.6 \cdot 10^{-3} \cdot 0.16 + 1/12 \cdot 0.572(3.049 + 0.33/3.049)] = 0.001 \text{ к/Вт}; \quad (2.21)$$

Среднее превышение температуры обмотки якоря над внешней средой удовлетворяет требованиям к классу нагревостойкости Н:

$$\theta_{\text{в}} = P_{\text{я}}/\Delta_{\text{я}} + \theta_{\text{в}} = 636.27/56,36 + 10,1 = 21^{\circ}\text{C}; \quad (2.22)$$

3.Вентиляция тяговой машины

На настоящий период лишь небольшие тяговые движки (шахтные и электрокарные) и кои-какие вспомогательные двигатели изготавливаются замкнутыми, с естественным охлаждением. Главные причины сего выполнения шахтовых машин считаются по суждениям взрывобезопасности, или по причине опасений излишнего засорения их угольной пылью. В постройке вспомогательных машин небольших мощностей (к примеру движка компрессора) и двигателей для электрокар не составляет особого труда выполнить их закрытыми, собственно что делает уход за машинами простым и увеличивает надежность работы, тем более с учетом их месторасположения внизу экипажа.

Другие тяговые машины как движки, генераторы, преобразователи и вспомогаательные двигатели выполняются с вентиляцией. Более распространенным видом вентиляции тяговых движков считается именуемая собой независимая вентиляция, в коим охлаждающий воздух проходит посредством патрубков от особого пропеллера, размещенного в кузове экипажа. При этом виде вентиляции обстоятельства и насыщенность охлаждения электродвигателя будет подходящей, оптимальной, потому что она не зависит от скорости движения машин. Но потребность установления особого, вентиляторного аппарата с приводным движком и установка непростой системы патрубков с целью подачи воздуха в машины и сужает сферу использования независимой вентиляции. Поэтому этот способ вентиляции используется лишь для тепловозных и электровозных двигателей, в некоторых

случаях в мотор-вагонах где стоят однофазные коллекторные движки и довольно изредка для двигателей муниципального автотранспорта.

Самовентиляционными, в которых внедрен интегрированный пропеллер(вентилятор), обычно выполняют электродвигатели троллейбусов, мотор-вагонов, трамваев и т.д. А еще вспомогательных машин и тяговых генераторов размещенных в кузове.

Такого рода метод охлаждения считается ограниченной, так как объем вентилирующего воздуха ограничивается установленными границами, зависящих от скорости вращения машин и от соответствующей конструкции вентилятора. В взаимосвязи с данным использование подобного вида вентиляции не применяется для машин электровазов и тепловозов, ограниченных по осевым размерам и обладающих сравнительно малую вращательную скорость. Но данный способ охлаждения с успешностью может использоваться в тех случаях, когда скорость вращения машин постоянна(тяговые преобразователи, генераторы и вспомогательные машины) или поддерживается в среднем на довольно большом уровне (отсутствие продолжительных периодов пуска т.п.) потому что интенсивность охлаждения при самовентиляции зависит от скорости движения экипажа. Пассажирский экипаж приведенный выше удовлетворяет последним запросам.

В независимой вентиляции забор охлаждающего воздуха выполняется из экипажа(т.е. кузова). Центробежный пропеллер(вентилятор) затягивает воздух и подает в двигатель, который был заранее очищен от пыли и снега в форкамере.

Как продемонстрировала практическая деятельность значительно труднее обстоит дело при самовентиляционных машин, в которых забор воздуха выполняется из под кузова экипажа. Невзирая на внедрение защитной сетки на прибор специального входного патрубка, подобные двигатели очень сильно засоряются в зимний и летний период. Практика в многих случаях продемонстрировала, что установка кокого-либо фильтра на входных отверстиях для воздуха (3.1 рис.) не оправдывает себя, потому что фильтры практически не оказывают препятствия засорению машины и тем более проникновению влаги и др. агрессивной среды, либо они часто загрязняются в следствии чего вентиляция двигателя ограничена. Принимая во внимание сегодняшнее положение изолирующей техники и при удовлетворительном положении путей двигателя с напряжением касательно к корпусу не больше 750В функционирует довольно надежно при зоборе воздуха из под экипажа кузова.

Практическая деятельность и долгодетный опыт продемонстрировал, что для самовентилирующих тяговых электродвигателей с напряжением касательно корпуса 1500В и больше (мотор-вагон) требуется забор воздуха с верха вагона посредством специальных каналов в кузове вагона и патрубке. Это выполнение сопряжено с тем что пылеобразование и снежные завихрения, образующиеся при движении поезда, как правило не поднимаются выше окошек вагона, и по этой причине с крыши(верха) вагона проходит

сравнительно чистый воздух. Протекая по каналам и потрубкам, воздух очищается еще больше и попадает в двигатель относительно свободным от пыли и снега. Но в зимний период все таки рекомендовано прикрывать проем для входа воздуха на крыше каким-нибудь специальным средством или же каким-либо жестким материалом, а в отдельные случаи закрывать выхлопные отверстия двигателя.

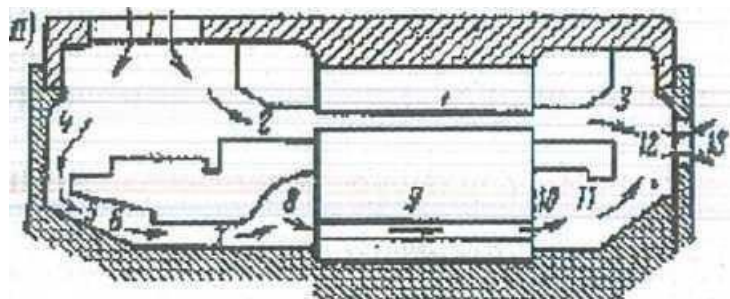
Один из неблагоприятных условий считается аэродинамическое сопротивление(противодействие) в вентиляционном канале находящийся в кузове, что значительно мешает передвижению воздуха и уменьшает количество воздуха примерно в полтора(1.5) раза. Система параллельной вентиляции реализует более эффективное движение воздуха изнутри машины. Принцип движения воздуха состоит в том что воздух протекает по всей конструкции 2-мя параллельными путями - через вентиляционный канал в якорь и через межкатушечное пространство и зазор. Эта система называется параллельной вентиляцией.

Способ макс.-го ограживания коллектора высоковольтного движка от попадания пыли и снега использовалась в отдельных случаях последовательной и послед.-параллельной вентиляции, что привело к затруднению строения двигателя и не дало существенной эффективности но в сегодняшний день по причине небольшой интенсивности ее больше не применяют. Таким образом стали нецелесообразными и другого рода системы.

Интегрированные в двигатели вентиляторы, производятся постоянно всасывающими, собственно воздух забирается с противоположной стороны вентилятору. Подобное строение системы более выгодна и вследствие чего используется практически во всех эл. машинах. Согласно соображениям по конструкции вентилятор легче расположить с противоположной стороны коллектору, в таком случае щеткодержатели к подшипниковому щиту или же к торцевой стенке остова и так крепление пропеллера и сама посадка становятся упрощенными. Размещение вентилятора таким способом позволяет воздуху двигаться со стороны коллектора на заднюю сторону внутри машины. В целом проникновение воздуха с атмосферы на коллектор считается нежелательным, так как коллектор является самым не защищенным элементом машины, но эффективность подобного распределения становятся более значительными в случаях тяговых электродвигателей пост. тока, нежели недостаток указанный выше. Лишь в древних трамвайных и других нескольких машинах вентилятор размещался со стороны коллектора. А воздух забирался с задней стороны. В движках пост. тока с независимой вентиляцией входной проем для воздуха расположился в коллекторной камере, а выходной проем - со стороны противоположной, т.к. и тут это конструктивно комфортнее, кроме этого, препятствует прямому попаданию снега на коллектор при статическом положении экипажа, когда вентиляция может не функционировать.

Для однофазных коллекторных машин, какие обладают огромным количеством щеток на коллекторе, дело стоит немного по другому. Течение

потока воздуха с коллекторной стороны на заднюю сторону свело бы, в этом случае, к обильному загрязнению обмоток двигателя угольной пылью, возникновению проводящего моста и возможности перекрытия. По этой причине в подобных машинах поток воздуха, охлаждающая коллектор, выходит из машины, без касаний обмотки, или же идет в направлении со стороны противоположной коллектору.



а - схема воздушных потоков в машине с параллельной вентиляцией
Рисунок 3.2 - К расчету аэродинамического сопротивления машины

3.1 Расчет вентиляции

Как правило вентиляционный расчет выполняется в последующей очередности. Вычисляют аэродинамическое сопротивление двигателя Z , следом определяется расход(потребление) воздуха Q , гарантирующий результативное охлаждение машины. Определение распространения потоков воздуха меж катушками полюсов зазора Q_k и каналами вентиляции якоря Q_a происходит при параллельной вентиляции.

Согласно конкретным значениям аэродинамического противодействия машины Z и расхода(траты) воздуха Q находится воздушный напор H , что создается вентилятором. При применении самовентиляции, определяют параметры, на основе чего разрабатывается конструкция вентилятора якоря, а при независимой вентиляции на основе найденных значения Q и H проектируется или исполняется вентиляционная система, содержащая двигатель и пропеллер(вентилятор). Впоследствии сего вычисляется аэродинамическая харак.-ка якорного пропеллера, которая строится в 1-их осях координат, вместе с аэродинамической харак.-кой воздуховода двигателя, что собственно дает сверить надобность созданного вентилятора. Общее аэродинамическое противодействие Z машины устанавливают на основе местных сопротивлении Z_i зон 1-13 ее воздуховода (рис. 3.2). Когда рассчитывается общее аэродинамическое противодействие воздуховода магины как правило принимают во внимание след. местные сопротивления:

Z_1 - при вхождения потока воздуха Q в машину; Z_2 - сопр-е возникшее из-за сужения среды воздуха Q при вхождении в область меж катушкой полюса и в зазор воздушный; Z_3 - возникшее увеличением данного потока воздуха при выходе его из пространства между зазора воздушного и из катушек; Z_4 - при

вхождении 2го потока воздуха Q3 под нажимный конус коллектора; Z5 - при изменении вектора данного потока на 45°; Z6 - из-за сужения воздушной среды, которое входит в канал переднего нажимного якорной шайбы; Z7 - предопределенное увеличением воздушного потока под переднего нажимного якорной шайбы; Z8 - возникшее из-за сужения потока воздуха при его вхождении в вентилирующие каналы якоря; Z9 - образовавшегося трением воздушного потока о стены каналов; Z10 - в связи с увеличением воздушного потока, при выходе из якорных вентилирующих каналов; Z11 - в связи изменения вектора потока воздуха выходящего из нажимной задней якорной шайбой; Z12 - в время вхождения общего воздушного потока Q в выпускные проемы. Вследствие ухода воздуха из двигателя динамичный напор его целиком пропадает, то что возможно учитывать сопротивлением $Z_{13} = \rho / (2S^2_{\text{вых}})$.

С целью установления местных аэродинамических сопротивлений $Z_i - Z_{13}$

Нужно узнать значения площади сечения надлежащих участков воздуховода двигателя. Эти параметры определяют на основе чертежей двигателя, планировании и расчета данных сечений.

Общее аэродинамическое противодействие воздушному потоку Q_k , который проходит меж катушкой полюсов и воздушным зазором:

$$\begin{aligned} Z_k &= Z_2 + Z_3 \quad (1.3.1); \\ Z_k &= 2090 + 1.7 = 2091.7; \end{aligned} \quad (3.1)$$

Сопротивление Z_y потоку Q_y , который проходит по вентиляционным каналам якоря:

$$\begin{aligned} Z_y &= Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8 + Z_{10} + Z_{11}; \\ Z_y &= 158 + 66 + 122 + 1345 + 301 + 0 + 1203 + 46 = 3241; \end{aligned} \quad (3.2)$$

Общее аэродинамическое сопротивление воздуховода машины:

$$\begin{aligned} Z &= Z_1 + \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{Z_k}} + \frac{1}{\sqrt{Z_y}}} + Z_{12} + Z_{13}; \\ Z &= 1.07 + 1 / (1/45.7 + 1/56.9) + 454 + 0 = 480.4; \end{aligned} \quad (3.4)$$

Нужный для эффективного охлаждения двигателя объем расхода воздуха, устанавливаются на основе потери мощности в нем при деятельности с ном. мощностью. Таким образом относительно полагают, что теплота которая выделяется в подшипниках якоря переходит в окружающую среду точнее в воздух посредством их крышек и подшипниковые щиты, а оставшееся выделенное тепло в машине передалось вентилирующему воздуху.

Уравнение теплового баланса для данных условий:

$$\Sigma' \Delta P_{\infty} \cdot t = p \cdot c \cdot \tau_v \cdot t \cdot Q; \quad (3.5)$$

где $\Sigma' \Delta P_{\infty}$ - сумма потерь мощности в машине при продолжительном режиме за вычетом потерь в якорных подшипниках, кВт;

t - время, за которое рассматривается тепловой баланс, с;

$p = I$. I - плотность воздуха при нормальном атмосферном давлении и температуре 50°C , $\text{кг}/\text{м}^3$;

$c = I$ - удельная теплоёмкость воздуха, $\text{кВт} \cdot \frac{\text{с}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$;

τ_v - температура подогрева воздуха в машине, $^{\circ}\text{C}$;

Q - объемный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$Q = (0.041 \div 0.036) \cdot \Sigma' \Delta P_{\infty} = 0.041 \cdot 27.11 = 1.1; \quad (3.6)$$

На основе полученных опытов при проектировании тяговых двигателей температуру окружающего воздуха принимают равной $22-25^{\circ}\text{C}$ при независимой вентиляции и $30 - 35^{\circ}\text{C}$ - при самовентиляции. Объем расхода охлаждающего воздуха при $\text{м}^3/\text{мин}$, $Q = (2,5 \div 2,16) \cdot \Sigma' \Delta P_{\infty}$ и при самовентиляции, $\text{м}^3/\text{с}$, $Q = (0,030 \div 0,026) \cdot \Sigma' \Delta P_{\infty}$ или, $\text{м}^3/\text{мин}$, $Q = (1,8 \div 1,55) \cdot \Sigma' \Delta P_{\infty}$.

Числовые коэффициенты в данных формулах предполагает собой удельный расход охлаждающего воздуха, то есть расход, который приходится на 1 кВт мощности потерь. Увеличение удельного расхода воздуха . больше $1,8 \text{ м}^3/(\text{мин} \cdot \text{кВт})$ при самовентиляции как правило затрудняется ограниченными габаритами якорного вентилятора.

При независимой вентиляции повышение удельного расхода воздуха больше $2,5 - 3 \text{ м}^3/(\text{мин} \cdot \text{кВт})$ недопустимо, так как приводит к существенному увеличению расхода энергии на вентиляцию при относительно малом снижении температуры нагрева обмоток двигателя.

Отношение расходов воздуха в вентиляционных каналах якоря $Q_{\text{я}}$ и меж катушками полюсов $Q_{\text{к}}$ (включая воздушный зазор машины);

$$K_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{я}}}{Q_{\text{к}}} = \frac{\sqrt{Z_{\text{к}}}}{\sqrt{Z_{\text{я}}}}$$

$$K_{\text{в}} = 45.7/56.9 = 0.8; \quad (3.7)$$

Расход воздуха в каналах меж катушками в воздушном зазоре:

$$Q_{\text{к}} = Q/(1 + K_{\text{в}})$$

$$Q_{\text{к}} = 1.1/(1+0.8) = 0.6;$$

$$Q_{\text{я}} = Q - Q_{\text{к}} = 1.1 - 0.6 = 0.5. \quad (3.8)$$

Таблица 3.1

Название	Сечение S_m^2	10^{-3}	Z
Входное отверстие	0,0625	-	78,7
Вход воздуха ч/з входное отверстие	0,677	0,8	1,07
Вход в возд. зазор	0,011	0,49	2090
Выход из полюсного пространства	0,55	0,86	1,7
Вход в камеру возд. каналов перед нажимным конусом коллектора	0,04	0,46	158
Поворот на 45°	0,05	0,3	66
Вход в каналы передней нажимной шайбы якоря	0,03	0,2	122
Вход в камеру передней нажимной шайбы якоря	0,016	0,56	1345
Вход в якорные каналы	0,028	0,43	301
Трение воздуха о стенки якорных каналов (примем что отсутствует)	0,028	-	-
Вход в камеру задней нажимной шайбы якоря	0,016	0,56	1203
Поворот на 45°	0,06	0,3	46
Выход в открытое пространство	∞	1	0
Аэродинамическое сопротивление			235,78

Расход воздуха в вентилируемых каналах якоря $Q_y = Q - Q_k$. Как правило величина K_v находится в диапазоне 0,25—0,35. Полагают, что при независимой вентиляции скорость движения воздуха у основных охлаждаемых поверхностей (внешняя поверхность якоря, поверхности вентиляционных каналов якоря и катушек полюсов) обязана быть приблизительно около 10—12 м/с.

Статический напор воздуха при вхождении его в машину рассчитывают на основе ее аэродинамического сопротивления Z и расхода вентилируемого воздуха Q , т.е.

$$H_{ст} = ZQ^2$$

$$H = 480.4 \cdot 1.1^2 = 581.3; \quad (3.9)$$

Напор воздуха H , который создается вентилятором, обязан быть выше определенного напора на потери в воздуховоде локомотива. Напор воздуха который создается пропеллером якоря при расходе воздуха варном нулю, $H_0 \approx 1,33 \cdot H$ Максимальная подача якорного пропеллера (при $H=0$) должен быть приблизительно в два раза больше расхода воздуха Q , определенного на основе потери в машине при продолжительном режиме работы, то есть $Q_6 = 2Q$. На основе определенных значений H_0 и Q_6 по уравнению:

$$\begin{aligned}
 H_0 &= \eta_0 \cdot \rho \cdot \pi^2 \cdot (D_2^2 + D_1^2) \cdot \frac{n^2}{60^2} \\
 Q_6 &= 0.42 \cdot v_2 \cdot S_2;
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

и устанавливают величины $(D_2^2 + D_1^2) V_{2\infty}$ и S_2 , которые используют для выбора основных размеров лопаток.

После выбора размеров лопаток вентилятора рассчитывают его характеристику которую строят в одних осях координат с аэродинамической характеристикой 1 воздуховода машины, рассчитываемой по формуле:

$$H = ZQ^2. \tag{3.11}$$

Точка \tilde{a} места пересечения данных харак.-тик устанавливает рассчитанные величины напора H_p и расхода охлаждающего воздуха Q_p , какие гарантирует созданный вентилятор при длительном режиме работы двигателя. Расход воздуха Q_p сопоставляют с расходом Q , определенным на основе мощности потерь в двигателе при длительном режиме работы, и производят заключение годности произведенного пропеллера.

Мощность, затрачиваемую на вращение вентилятора якоря, можно определить на основании уравнения (1.3.7) с учетом к.п.д. вентилятора:

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{в\infty} &= HQ/\eta; \\
 \Delta P_{в\infty} &= 581.3 \cdot 1.1/0.6 = 1065.7 \text{ Вт};
 \end{aligned}
 \tag{3.12}$$

Подача Q вентилятора пропорциональна его частоте вращения n , а напор - квадрату этой частоты вращения, т. е.

$$Q = Q_\infty n/n_\infty, \text{ и } H = H_\infty n^2/n_\infty^2; \tag{3.13}$$

где Q_∞ , n_∞ и H_∞ — подача вентилятора, частота его вращения и напор воздуха при продолжительном режиме работы машины соответственно.

Затраты мощности на вентиляцию при частоте вращения якоря n :

$$\Delta P_{в} = \Delta P_{в\infty} \frac{\eta_\infty}{\eta_n}; \tag{3.14}$$

где $\Delta P_{в\infty}$ - затраты мощности на вентиляцию при длительном режиме работы; n_∞ и η_n - к.п.д. вентилятора соответственно при длительном режиме работы и частоте вращения якоря n , для которой находят $\Delta P_{вп}$, $\eta_n = 0.6$.

Сопротивление участка рассчитывается по формуле:

$$Z = \frac{\xi}{S^2}; \quad (3.15)$$

где S - сечение воздухопровода м^2 ;
 ξ – коэффициент аэродинамического сопротивления рассматриваемого участка воздухопровода.

$$\xi_{\text{расш}} = \xi_d \cdot \left(1 - \frac{S_{\text{мин}}}{S_{\text{макс}}}\right)^2; \quad \xi_{\text{суж}} = \frac{\xi_d}{2} \cdot \left(1 - \frac{S_{\text{мин}}}{S_{\text{макс}}}\right)^2; \quad (3.16)$$

где $S_{\text{мин}}$ и $S_{\text{макс}}$ – минимальное и максимальное сечение воздухопровода.

Значение коэффициентов ξ аэродинамических сопротивлений для отдельных участков воздухопровода точно определить трудно, ввиду сложной конфигурации воздухопровода электрической машины. Приходится использовать значения найденные опытным путем для простейших форм воздухопровода. Вентиляционный расчет на базе этих коэффициентов является приближенным, но практически вполне приемлем.

4 Технология ремонта и механический расчет коллектора с нажимными конусами

Ответственной и сложной частью машины постоянного тока является коллектор . В период работ на линии движок, обычно, подвергается толчкам напряжения любого рода до самого восстановления напряжения на вращающейся машине. Любой подобный толчок напряжения вызывает бросок тока в машине согласно размагничивающего воздействия токов Фуко в сердечнике. Для тяговых движков вопрос о коммутации их при всякого рода неустановившихся режимах, вызванных электромагнитными и механическими причинами, имеет весьма существенное значение, поскольку в условиях эксплуатации устойчивость двигателя по отношению к этим явлениям иногда определяет его работоспособность. Вследствие всего этого к вопросам надежности и ремонта коллектора предъявляются особые требования.

4.1 Технология ремонта коллектора

Главные действия при ремонтировании коллектора:

1. Упрессовать коллектор с вала с целью ремонтирования и смены деталей:

- a) При наличии износа согласно рабочей поверхности коллектора и катушкам, превышающие допустимости ремонтирования для ремонта завода;
- b) При наличии повреждения изоляции корпуса;
- c) При наличии замыкания меж пластинками коллектора во внутренней части;

d) При наличии оплавления и выжига коллекторных пластинок и изолирования меж ними, а еще откола или излома в петушке пластинок;

e) При наличии повреждения конструкции, трещин во втулке коллектора и нажимном конусе.

2. Замена детали коллектора:

a) При наличии отколов и трещин, замена втулки коллектора и нажимного конуса проходящих вдоль посадочной полосы;

b) Замена изоляционного манжета и цилиндра при наличии излом, трещин, перегиб, сквозных прожогов;

c) Замена пластинок коллектора при наличии оплавления, выжигов, излом или трещин, а также при условии когда диаметр коллектора рабочей части менее 384 мм;

d) Замена болта коллекторов, имеющего резьбу не соответствующий 3-му классу точности, а еще при наличии срыва более 2-ух ниток резьбы.

3. Не отмеченные трещины в пункте 1., втулки и нажимного конуса спойть электросваркой электродами вида не ниже Э-42 ГОСТ 9467-6. Зачистить место проведения сварки заподлицо.

4. Провести ремонтирование коллекторной втулки и нажимного конуса в согласовании с эскизом и инструкций по ремонтированию коллектора.

5. Проверка перекоса проемов у втулки коллектора и нажимного конуса под болты коллектора и пульсации поверхности конуса касательно посадочной поверхности в соотношении с чертежом.

6. Допуск расширения паза шпонки коллекторной втулки с постановой ступенчатой шпонки.

7. Заварить раковины и выжиги на конусодальных поверхностях втулки и нажимного конуса площадью не больше 2 см^2 и очистить место сварки заподлицо. Проточить конус по всей поверхности с исполнением размеров по углу и длине конуса при наличии больших выжогов и раковин, согласно чертежу и со смещением конуса не более 2 мм вдоль оси.

8. Не допускаются к монтажу пластинки с трещиной

9. При трещинах в стенках коллекторной втулки позволяет удалить ступицу с дальнейшей установки новой ступицы, приваркой и обработкой по технологии СЭМРЗ им. Т.Г.Шевченко

10. Шлицы в петушке пластинки коллектора обязан размещаться симметрично по отношению к средней линии, дозволяемое отклонение не более 0,2 мм. Отличие в уровне шлицов не превышает 1 мм.

11. Выправить погнутость пластинок коллектора и проверить по плите, в пластине не допускается наличие качков. Дозволяется местный проем величиной до 0,1 мм при щупом на ширине не больше 10 мм.

12. Покрывать полудой внутреннюю поверхность шлиц согласно ПСр-2,5 ГОСТ 8190-56. Очистить поверхность от предыдущей полуды перед покрыванием новой полудой. Не допускаются не обслуженные места, плены, наплывы на внутренних поверхностях. Боковые наружности пластинок коллектора обязаны быть чистыми и ровными без следов полуды. Не допускается всякий заусенцы на пластинках коллектора. Запрещается укладка обмотки в шлицы с окислившейся и некачественной полудой.

13. Разрешается клеивать прокладки миканитовые, обладающие расщепленность или меньшую толщину, закладкой слюды с подклейкой глифталевым лаком или миканита ГФ-95 ГОСТ 8018-70 с дальнейшей печкой при $t=200^{\circ}\text{C}$ на 1,5-2 часа и прессовкой давления 57тс.

Общий слой набора прокладок миканита в прессованном виде обязана соответствовать чертежу.

Не допускаются местные расширения пластинок.

Не соответствие размера толщины некоторых прокладок допускается в диапазоне 8-10% их стандартного размера.

Габариты хвоста ласточкина снова добавляемых прокладок миканита должны сходиться с размером пластинки коллектора.

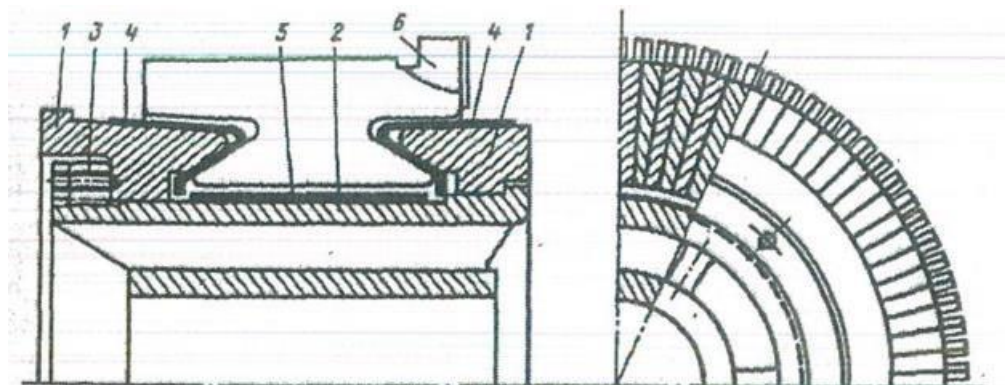


Рисунок 4.1

14. Восстановить цилиндры и манжеты, обладающие разложение и снижение по толщине не больше 40% подклейкой миканита или слюды глифталевым лаком ГФ-95 ГОСТ 8018-70 с дальнейшей прессовкой и печкой при $t=200^{\circ}\text{C}$. Не допускается местные утолщения, а поверхность должна быть без волнистости, расслоений, чистой и гладкой.

15. Испытание эл. прочности манжет и цилиндр переменным током частота которого 50 Гц на минуту напряжением 4,5кВ. Испытательное напряжение принимать равным 5,9 кВ в случаи изготовления нового манжета.

16. Руководствоваться заводской тех. инструкцией ОТХ.947.013 "ЭлектроТяжМаш" при изготовке новых прокладок миканита, цилинр, манжет.

17. Сборка набора пластинок производится в специальном устройстве согласно след. требованиям:

а) Согласно чертежу располагать в наборе медные пластинки с

глубоким и мелким пазом;

б) Распределить ровно по коллектору прокладки миканита большой и малой толщины, также допускается выступ со стороны петушков на 1-1,5 мм с внутренней поверхности;

с) Пластинки коллектора обязаны быть прямо вертикальны;

д) Спадание наружности рабочей части петушка пластинок коллектора, и прокладок миканита на петушке из ряда не замененных, не должно быть больше 0,5мм.

18. При полной замене изоляций число запечек с прессовкой пакета коллекторных пластинок обязан быть не менее 3.

19. Пластинки коллектора которые собирались на устройстве запечь при $t=180-190^{\circ}\text{C}$ с выдержкой в 1-1,5 часа. В горячем состоянии давление прессовки 57 тс. Пластины охлаждаются до температуры окруж. среды. Давление прессовки пакета пластинок в холодном состоянии 90 тс.

20. Балансировка коллектора выполняется неподвижными грузами, при этом грузы располагаются между грузами. Значение остаточной небаланса не больше 600 гсм. После балансирования раскренить винты в 3 точках, а грузы зачеканить от движения по окружности.

21. Сборка коллектора выполняется согласно след. требованиям:

а) Соответствие совпадения середины пластинки коллектора с серединой шпоночной канавки.

б) Перед прессовкой на посадочную поверхность нажимного конуса поставить наполнитель из стеклолакоткани ЛСКП 0,2x25 ГОСТ 10156-70 в 15-17 витков до готовности диаметра по заполнению 216 ± 1 мм; Прессовка коллектора конусным нажимным давлением 45 тс. и затяжка болтов коллектора, затем запечь при $t=180-190^{\circ}\text{C}$ на 1-1,5 часа с дальнейшей прессовкой давлением 57тс. и подтяжением болта в холодном и горячем виде.

с) Проверка перекося пластинок при прессовке, допустимый перекося не больше 1 мм;

д) Покрывание эмалью поверхности "А" и "В" с надлежащими радиусами R2 с заходом на 2-3 мм;

22. Пользоваться эскизом ремонтного руководства при ремонтирование и сборке коллектора.

Проверка на газоплотность внутреннюю полость коллектора. Проверяется она давлением воздуха в 4 атмосферы, при том что снижение давления 4,5 мин. должен быть не больше 0.5 атмосферы.

23. Проточка хвоста ласточкиного коллектора производится в соответствии с чертежом. При выполнении проточки нужна выдержка concentричности окружностей с двух сторон ласточкиного хвоста. После выполнения проточки надо очистить хвост и торцы коллектора от стружки, затяжки медью и протирка салфеткой авиационным бензином или же спиртом.

24. Выполнение динамической формовки коллектора производится до того пока не остановится изменение формы коллектора, но не меньше четырех раз, при $t=165\pm 5$ °С и частоты вращения 2800 об/мин. на 20 минут. после пробы прессовки коллектора давлением 45 тс. и предельно туго затянуть болты коллектора.

25. Изолирование вылета бандажа конуса миканита выполняется стеклянной лентой ЛЭС 0,10х20 ГОСТ 5937-68, предварительно пропитанной в лаке в 25-30 витков.

26. Проверить отремонтированный коллектор на:

а) На межсегментное замыкание током с частотой 50 Гц и напряжением 220В;

б) Проверить переменным током частоты 50 Гц напряжением 3,5кВ на прочность изоляцию на пробой;

27. Коллектор с новой пластинкой протачивать согласно чертежу, при том что коллекторный диаметр по активной части обязан быть не меньше 405 ± 2 мм. А коллектор со старой пластинкой точить до выравнивания пластинок по периметру.

4.2 Механический расчет коллектора с нажимными конусами

Дальше проанализируем способ, дающий возможность приобрести фактические результаты устраивающие многие случаи.

В этом способе механического расчета коллектора ведется контроль напряжений в самых опасных сечениях пластинок, манжете миканита и натяжных болтах.

Опасными (небезопасными) сечениями пластинок коллектора считаются сечения I-I, II-II, III-III (рис. 3.2).

При выполнении расчета, напряжения в разрезах I-I и II-II выступную (т.е. консольную) часть пластинки учитывают как балку с забитым концом, на какую распределена нагрузка. Воздействие распределенной нагрузки образуется 2-мя силами: радиальной составляющей силы арочного типа распора F_k и центробежной силой части пластинки C_k , что появляется в итоге сжатия пластинок нажимными фланцами. Выступные части пластинки вычисляют для исчерпанного коллектора.

Радиальный износ δ принимается до 20..40 % h_2 (рис 3.2).

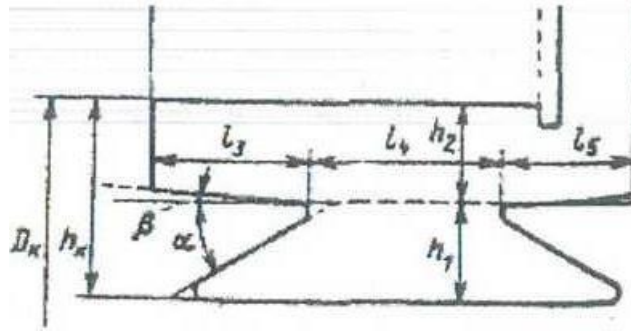


Рисунок 4.2

Из выше указанного, напряжение изгиба в сечении I-I, Па, определяется по формуле:

$$\sigma_{к1} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1 \cdot (C_{к1} + F_{к1})}{b_{к1} \cdot (h_2 - \varepsilon)^2} - b_{и}; \quad (4.1)$$

где $\sigma_{к1}$ – средняя толщина консольной части пластины, м.

$$b_{к1} = \frac{\pi \cdot (D_k - h_2 - \varepsilon)}{K} - b_{и}; \quad (4.2)$$

Здесь $b_{и}$ толщина миканитовой прокладки; K - количество коллекторных пластин; I_2, h_2 ;

D_k – размеры, м, из рисунка 3.2;

Центробежная сила $C_{к1} = 11 \cdot m_{к1} \cdot R_{01} \left(\frac{n_{\max}}{1000} \right)^2 \cdot 10^3$;

Где $R_{01} = (D_k - h_2 - \varepsilon)/2$ – радиус инерции консольной части, м; $m_{к1}$ - масса выступа (консольной части), кг:

$$m_{к1} = 8900 \cdot S_{к1} \cdot b_{к1};$$

$S_{к1}$ - площадь боковой поверхности выступа, м².

Радиальная составляющая силы арочного распора, Н:

$$F_{к1} = 2 \cdot p_0 \cdot S_{к1} \cdot \frac{\pi}{K}; \quad (4.3)$$

Давление меж пластинками p_0 пластинок миканита, отбирают так, что бы гарантировать сжатие с целью отсутствия возможности их радиального перемещения. Такое давление возможно определить по экспериментальной формуле, Па:

$$p_0 = [60 + 5 \cdot \left(\frac{n_{\max}}{1000} \cdot \frac{D_k}{10} \right)^{3/2}] \cdot 10^5; \quad (4.4)$$

где D_k - диаметр коллектора, см.

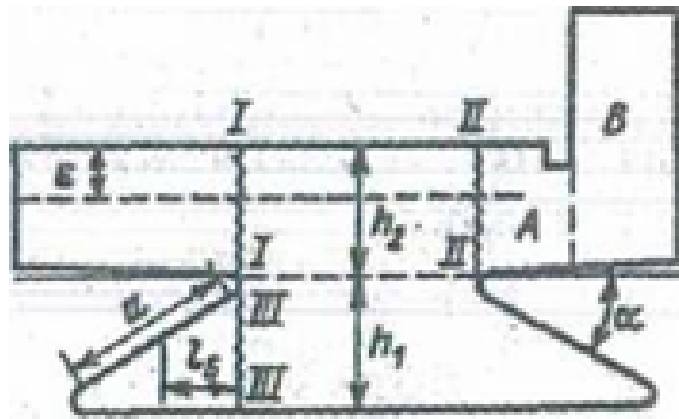


Рисунок 4.3

Подобным образом также подсчитывают для сечения II-II напряжение (с учетом петушков).

Уголок хвоста при рассчитывании напряжения от растягивающих и сжимающих сил в сечении III-III, Па, учитывают как балку, забитую (т.е. заделанную) в этом сечении и нагруженную сосредоточенной силой:

$$\sigma_X = \frac{3 \cdot (C_X + F_{p.X}) l_6}{b_{K.X} \cdot h_1^2}; \quad (4.5)$$

где $b_{K.X}$ – толщина пластины в средней части хвоста, м:

$$b_{K.X} = \frac{\pi \cdot (D_k - 2h_2 - h_1)}{K} - b;$$

h_1, l_6 - размеры, м, по рисунку 4.3.

Радиальную F_{rx} и Центробежную C_x эти элементы силы определяют согласно (3). и (5). Но также вместо веса шк1 обязана браться абсолютная масса пластинки коллектора и взамен S_{k1} - рассчитанная площадь поверхности края пластинки. Радиус инерции считается равным $R_{01} = (D_k - h_k)/2$. Напряжения σ_x и σ_k не должны превышать 120 МПа. Напряжение сжатия в манжетах миканита, по отношению к 1 м² площади прилегания манжеты к конусу с углом α , определяют по формуле:

$$\sigma_M = \frac{C_X + F_{p.x}}{2b_{k.x} \cos \alpha}; \quad (4.6)$$

Тензор напряжения не должно превышать 50 МПа.

По данным осевой давлению, которые создаются нажимной шайбой, определяют болты сжатия:

Напряжение в болтах на растяжение, Па:

$$\sigma_b = \frac{(C_x + F_{p.x}) \cdot K \cdot \operatorname{tg} \alpha}{1.56 \cdot d_b^2 \cdot m_b}; \quad (4.7)$$

где d_b – диаметр болта, м, m_b – число болтов.

Значение σ_b не должно превосходить 300 МПа.

Напряжение на срез испытывают, когда фланцы сжимают кольцевой гайкой, витков резьбы гайки от силы прессовки, Па:

$$\sigma_b = \frac{(C_x + F_{p.x}) \cdot K \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2 \cdot \pi \cdot D_r \cdot m_r}; \quad (4.8)$$

Тензор напряжения обязан не превышать 80 МПа.

Из-за разного растяжения стали и меди при нагревании коллектора образуются добавочные напряжения. Данные напряжения считают путем произведения определенных выше напряжения на коэффициент 1,1...1,2.

Исходные данные:

$$\begin{aligned} D_k &:= 561 \cdot 10^{-3} \text{ м} & I_3 &:= 48 \text{ м} & b_H &:= 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \\ h_k &:= 76 \cdot 10^{-3} \text{ м} & I_5 &:= 41 \cdot 10^{-3} \text{ м} & S_{K1} &:= 2.8 \cdot 10^{-4} \text{ м}; \\ h_1 &:= 45 \cdot 10^{-3} \text{ м} & I_6 &:= 61 \cdot 10^{-3} \text{ м} & S_{K2A} &:= 0.92 \cdot 10^{-4} \text{ м}; \\ h_2 &:= 31 \cdot 10^{-3} \text{ м} & K &:= 696 & S_{K2B} &:= 2.6 \cdot 10^{-4} \text{ м}; \\ \varepsilon &:= 9 \cdot 10^{-3} \text{ м} & a &:= 27 \cdot 10^{-3} \text{ м}; & n_{max} &:= 1908 \text{ об/мин}; \\ H_r &:= 15 \cdot 10^{-3} \text{ м}; & D_r &:= 142 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$p_0 := [60 + 5 \cdot \left(\frac{n_{max}}{1000} \cdot \frac{D_k}{10}\right)^{3/2}] \cdot 10^5; \quad p_0 = 6.018 \cdot 10^6 \text{ Па}; \quad (4.10)$$

Сечение:

$$F_{K1} := 2 \cdot p_0 \cdot S_{K1} \cdot \frac{\pi}{k}; \quad F_{K1} = 15.211 \text{ Н}; \quad (4.11)$$

$$b_{K1} := \frac{\pi \cdot (D_k - h_2 - \varepsilon)}{K} - 2 \cdot 10^3; \quad b_{K1} = 3.517 \cdot 10^{-4} \text{ м}; \quad (4.12)$$

Масса (выступной) консольной части:

$$m_{K1} := 8900 \cdot S_{K1} \cdot b_{K1}; \quad m_{K1} = 8.764 \cdot 10^{-4} \text{ кг}; \quad (4.13)$$

Радиус инерции выступной части:

$$R_{01} := (D_k - h_2 - \varepsilon) / 2; \quad R_{01} = 0.261 \text{ м}; \quad (4.14)$$

Центробежная сила:

$$C_{K1} := 11 \cdot m_{K1} \cdot R_{01} \cdot \left(\frac{n_{\max}}{1000}\right)^2 \cdot 10^3; \quad C_{K1} = 9.142 \text{ Н}; \quad (4.15)$$

Тензор напряжения изгиба по:

$$\sigma_{K1} := \frac{3}{2} \cdot \frac{I_3(C_{K1}+F_{K1})}{b_{K1} \cdot (h_2-\varepsilon)^2}; \quad \sigma_{K1} = 1.03 \cdot 10^{10}; \quad (4.16)$$

Сечение (с учетом петушков):

$$F_{K2} := 2 \cdot p_0 \cdot S_{K2A} \cdot \frac{\pi}{k}; \quad F_{K2} = 4.998 \text{ Н}; \quad (4.17)$$

Центробежную силу рассчитываем для 2-ух участков консольной выступной части:

$$\begin{aligned} m_{K2} &:= 8900 \cdot S_{K2A} \cdot b_{K1} & m_{K2} &= 2.88 \cdot 10^{-4} \text{ кг}; \\ C_{K2A} &:= 11 \cdot m_{K2} \cdot R_{01} \cdot \left(\frac{n_{\max}}{1000}\right)^2 \cdot 10^3 & C_{K2A} &= 3.004 \text{ Н} \\ m_{K2B} &:= 8900 \cdot S_{K2B} \cdot b_{K1} & m_{K2B} &= 8.138 \cdot 10^{-4} \text{ кг}; \\ C_{K2B} &:= 11 \cdot m_{K2B} \cdot R_{01} \cdot \left(\frac{n_{\max}}{1000}\right)^2 \cdot 10^3 & C_{K2B} &= 8.489 \text{ Н}; \\ \sigma_{K1} &:= \frac{3}{2} \cdot \frac{I_5[(C_{K2A}+C_{K2B})+F_{K2}]}{b_{K1} \cdot (h_2-\varepsilon)^2} & \sigma_{K1} &= 5.958 \cdot 10^6; \end{aligned} \quad (4.18)$$

Сечение:

$$\begin{aligned} F_{p.x} &:= 2 \cdot p_0 \cdot C_{K2A} \cdot \frac{\pi}{K} & F_{p.x} &= 1.632 \cdot 10^{-4} \text{ Н}; \\ b_{K.CP} &:= \pi \cdot (D_K - h_2 \cdot 2) / K - 2 \cdot 10^{-3} & b_{k.cp} &= 2.524 \cdot 10^{-4} \text{ м}; \\ m_{K.П.} &:= 8900 \cdot S_{K2B} \cdot b_{K.CP} & m_{K.П.} &= 5.84 \cdot 10^{-4} \text{ кг}; \\ R_{0K} &:= ((D_K - h_2 \cdot 2) \cdot 10^{-3}) / 2 & R_{oK} &= 2.495 \cdot 10^{-4} \text{ м}; \\ C_X &:= 11 \cdot m_{K.П.} \cdot R_{0K} \cdot \left(\frac{n_{\max}}{1000}\right)^2 \cdot 10^3 & C &= 5.835 \cdot 10^{-3} \text{ Н}; \\ b_{K.X} &:= \pi \cdot (D_K - h_2 - h_1) / K - 2 \cdot 10^{-3} & b_{K.X} &= 4.926 \cdot 10^{-5} \text{ м}; \end{aligned} \quad (4.19)$$

Напряжения, тензор, сжатия в манжетах:

$$\sigma_M := \frac{C_X + F_{p.x}}{2 \cdot b_{K.X} \cdot a \cdot \sqrt{\frac{3}{2}}}; \quad \sigma_M = 5.009 \cdot 10^{10}; \quad (4.20)$$

Тензор на срез резьбы гайки:

$$\sigma_r := \frac{(C_X + F_{p.x}) \cdot K \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}}{2 \cdot \pi \cdot D_r \cdot H_r}; \quad \sigma_r = 4.9 \cdot 10^9; \quad (4.21)$$

5 Преимущество использования изоляции на основе полиимидной пленки аддукта бензола (ПИАБ) в обмотке якоря

В настоящий период срок работы эл. оборудования непосредственно находится в зависимости от срока работы изоляции, разработка новейших видов эл. машин или реставрация старых не осуществимо в отсутствии высококачественных и надежных изолирующих материалов с очень высокими параметрами электропрочности, нагревостойкости и долговечности.

Поэтому формирование производств и изготовление новейших эл.технических материалов, которые смогут вытерпеть большую конкуренцию на мировом рынке и удовлетворять последним требованиям к производству ресурсов (энергосбережения) является важнейшим фактором для последующего прогресса Казахстана. Как демонстрирует практическая деятельность с целью технического производства материалы по общему счету завозят из зарубежья и СНГ. Применение изоляции разработанной на основании ароматизированных полиамидов считается перспективным вектором последующего прогресса изоляционных систем.

В сегодняшний день на территории РК созданы электроизоляционные лаки полиимиды - Абимиды, не уступающие по свойствам электрической изоляции иностранным аналогам, даже превосходят их по нескольким параметрам.

В АЭИ и Институте хим. наук АН РК разрабатывают и исследуют новые лаки с электрической изоляцией, которые используются для класса нагревостойкости при $t=200^{\circ}\text{C}$, к тому же эти работы идут много лет до сегодняшних дней. Матрицей с целью добычи таких лаков считается полиимиды ациклического строения.

Производство созданных ациклического строения полиамидов обладают преимуществом в технологичном плане перед полиамидоимидных и полипиромелитимидных лаков, обширно используемых в настоящий период. Это сопряжено с перспективой применения новейших лаков полиимида, в коих уровень имидизация полимеров доходит почти до 100% (у ароматизированных полигетероциклов применяются кислоты полиамида, кои в свою очередь переходят в полиимид при термической обработке в $100-300^{\circ}\text{C}$) и считаются наиболее концентрированными в сопоставлении ароматическим аналогам. Из-за этого снижается количество слоя, покрываемый на кабель то есть уменьшается число прохода. В итоге расход лака сокращается в 2,5-3 раза согласно выполнению требований по качеству. Помимо этого, данные лаки ациклического полиимида обладают высокой устойчивостью: при долгом хранении (от 6 до 12 мес.) в промежутке температур от -30 до $+50^{\circ}\text{C}$ их свойства не изменяются, в этот же период лакам типа Руре ML ПАК-ПМ (Ад9103) нужно жесткое условие хранения при интервале температур от -2 до $+5^{\circ}\text{C}$.

Исполнение сравнения электропрочности эмали провода показало, что при таком же пробое напряжения слой эмалированного провода, таким образом

и изоляционной пленки у нового полиимида значительно меньше. Это обстоятельство возможно применить при замены изоляции в двигателях. Приемлемое снижение толщины витковой и корпусной изоляции двигателя предоставляет шанс собственно снизить сечение паза, благодаря чему увеличивается коэффициент заполнения паза и параллельному снижению величины магнитной индукции в спинке и зубцах. Возникает возможность увеличения магнитного потока в двигателе, что приводит к повышению мощности электродвигателя.

Производство замены изолирующих материалов для якорной обмотки выполняется в отсутствии добавочных изменений геометрии зоны зубца. При том что, коэффициент заполнения паза повышается, что исходит от сопоставления двух типов изоляции, которые представлены в 2.2 таблице. Что следует из этого, толщина новой изоляции по широте и высоте паза становится меньше, и благодаря этому площадь занимаемая мелью повышается.

При расчетывании не учитывается снижение изоляции кабеля. Изоляция корпуса из полиимида составит 0,15. Обычно провода из меди марки ПСД, которые изолированы 2-ной стеклянной пряжкой ставят для обмотки статора. А толщина изолирующего провода составляет 0,25-0,3 мм с двух сторон (двусторонняя). Из-за этого экономическая выгодность выходит заведомо приуменьшенным.

Рассчитаем сечение пазовой изоляции с новой (ПИаБ толщиной слоя $h=0,78$ mm на одну сторону) и со старой (Микаленты толщиной слоя $h=0,78$ mm на одну сторону)

$$b_n := 49.5 \text{ мм}$$

$$b_n := 12.5 \text{ мм}$$

Таблица 5.1

Сечение паза без клина	$h_{n1} := h_n - 5$ $h_{n1} = 44.5$ мм $S_1 := b_n \cdot b_{n1}$ $S_1 = 556.25$ мм
Сечение паза без прокладок	$h_{n2} := h_{n1} - (3 \cdot 0.5)$; $h_{n2} = 43$ мм; $S_2 := h_{n2} \cdot b_n$; $h_2 = 537.5$ мм;
Сечение паза без покровной изоляцией	$b_{n1} := b_n - (2 \cdot 0.15)$ $b_{n1} = 12.2$ мм $h_{n3} := h_{n2} - (2 \cdot 0.15)$; $h_{n3} = 42.7$ мм; $S_3 := h_n \cdot b_{n1}$; $S_3 = 520.94$ мм

Расчет ширины и высоты паза с новенькой изоляцией корпуса (Пиаб толщиной слоя $h=0,078$ mm на 1-ну сторону):

$$\begin{aligned} b_{п2} &:= b_{п1} - 0.156 & b_{п2} &= 12.044; \\ h_{п4} &:= h_{п3} - 0.156 & h_{п4} &= 42.544; \end{aligned} \quad (5.1)$$

Сечение меди с проводниковой изоляцией:

$$S_{\text{меди}} := b_{п2} \cdot h_{п4} \quad S_{\text{меди}} = 512.4 \text{ мм}^2; \quad (5.2)$$

Сечение меди якорной обмотки:

$$g \cdot a := S_{\text{меди}}/8; \quad g \cdot a = 64.05 \text{ мм}^2; \quad (5.3)$$

Сопротивление провода со старенькой изоляцией находится по формуле:

$N:=696$ - количество витков обмотки;

$L_{\text{ср}}:= 1,029$ м - средняя длина витка;

$a:=3$ - количество пар ||-ных цепей якорной обмотки;

$$r_a := \frac{1}{44} \cdot \frac{N \cdot L_{\text{ср}}}{g_a \cdot (2 \cdot a)^2}; \quad r_a = 0.0098 \text{ Ом}; \quad (5.4)$$

Сопротивление провод(ника)а с новенькой изоляцией:

$$r_a := \frac{1}{44} \cdot \frac{N \cdot L_{\text{ср}}}{g_a \cdot (2 \cdot a)^2}; \quad r_a = 0.0071 \text{ Ом};$$

Потери мощности

Со старой:

$$P_{\text{заст}} := I^2 \cdot r_a; \quad P_{\text{заст}} = 8103.94 \text{ Вт}; \quad (5.6)$$

С новой:

$$P_{\text{занов}} := I^2 \cdot r_a; \quad P_{\text{занов}} = 5832.81 \text{ Вт}; \quad (5.7)$$

Разность потери мощностей (старой и новой):

$$P_{\text{зараз}} := P_{\text{заст}} - P_{\text{занов}}; \quad P_{\text{зараз}} = 2271.127 \text{ Вт}; \quad (5.8)$$

Расчет экономической эффективности от уменьшения потери мощности:

$K:= 10$ лет срок работы(службы) машины;

$K_{\text{исп}}:= 0,5$ коэффициент использования;

$C:= 3,5$ тенге цена за кВт/ч;

$C_p:= P_{\text{зараз}} \cdot 10^{-3} \cdot 365 \cdot K \cdot 24 \cdot K_{\text{исп}} \cdot C$;

$C_p = 348163,799$ тг.

Таблица 5.2 - Спецификация паза с использованием изоляции на базе ПЭТФ

№	Изоляция и медь	Ширина (мм)	Высота (мм)
1	Медь	4x2,36	4x10
2	Собственная изоляция	4x0,3	4x0,3
3	Корпусная изоляция	1,56	1,56
4	Покровная изоляция	2x0,15	2x0,15
5	Прокладка (миканит)	-	3x0,5
6	Клин	-	5
7	Всего	12,5	49,56

Таблица 5.3 - Спецификация паза с использованием изоляций на базе ПИАБ(полиимид аддукт бензол)

№	Изоляция и медь	Ширина (мм)	Высота (мм)
1	Медь	4x2,36	4x10
2	Собственная изоляция	4x0,3	4x0,3
3	Корпусная изоляция	1,56	1,56
4	Покровная изоляция	2x0,15	2x0,15
5	Прокладка (миканит)	-	3x0,5
6	Клин	-	5
7	Всего	12,5	49,56

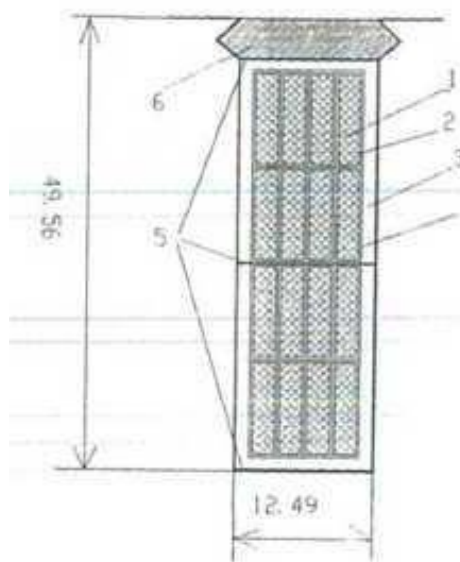


Рисунок 5.1 - Пазы с использованием изоляции на базе ПЭТФ (полиэтиленотерефталат)

Экономическая часть:

6. Расчет и анализ технико-экономических показателей по серийному двигателю Нб-418к и спроектированному.

Смета затрат на тему по разработке и исследованию нового двигателя

Смета затрат включает в себя следующие статьи:

1. Зарплата основных исполнителей с начислениями
2. Стоимость основных материалов, полуфабрикатов.
3. Специальные расходы
4. Амортизация лабораторного оборудования
5. Стоимость потребляемой электроэнергии
6. Общие расходы

6.1 Зарплата основных исполнителей с начислениями

Зарплата основных исполнителей

$$U_{зп} = \sum t_i \cdot Z_i \cdot \eta_{доп} \cdot \eta_c ;$$

t_i, Z_i - затраты времени и тарифная ставка участника темы
 $\eta_{доп}, \eta_c$ - коэффициенты, учитывающие доп зарплату и отчисления в соцстрах ($\eta_{доп} + \eta_c$) = 1.356

Часовая ставка:

$$Z_{ч} = \frac{O}{f_{эф}}$$

O - месячный оклад

$f_{эф}$ - месячный фонд времени

$$f_{эф} = D_p \cdot d;$$

$D_p = 21,2$ - среднее количество рабочих дней в месяце

$d = 8,2$ ч - продолжительность рабочего дня

$f_{эф} = 174$ ч;

№	Наименование работ	Квалификация	Колич. испол.	Длит. работ, часов	Оплата за 1 час тенге	Сумма, тенге.
1.	Подбор и изучение отечественной и зарубежной литературы	Переводчик	1	30	111,72	3351,78
		инженер-конструктор 3к	1	30	116,37	3491,1
2.	Изучение и анализ патентных материалов	инженер-конструктор 3к	1	20	116,37	2327,4
3.	Расчет предполагаемой экономической эффективности	экономист	1	20	125,71	2514,24
4.	Выбор принципиальной схемы	инженер-конструктор 1к	1	10	158,27	1582,74
5.	Выбор главных размеров	инженер-конструктор 3к	1	30	116,37	3491,1
6.	Электромагнитный расчет	инженер-конструктор 3к	1	120	116,37	13964,4
7.	Механический расчет	инженер-конструктор 3к	1	50	116,37	5818,5
8.	Вентиляционный расчет	инженер-конструктор 3к	1	20	116,37	2327,4
9.	Тепловой расчет	инженер-конструктор 3к	1	3	116,37	349,11
10.	Графическая часть	чертежник	2	50	77,598	3879,9
11.	Оформление заказа на изготовление опытного образца	Нач. бюро	1	5	186,19	930,96
12.	Разработка технологии изготовления опытного образца	инженер-конструктор 1к	1	35	158,27	5539,59
13.	Подготовка материалов для опытного образца	инженер-конструктор 3к	1	50	116,37	5818,5
14.	Изготовление опытного образца	техник	3	30	111,72	3351,78
15.	Разработка методики испытаний опытного образца	инженер-конструктор 2к	1	20	139,64	2792,88
16.	Проведение испытаний	инженер-конструктор 3к	1	20	116,37	2327,4
17.	Обработка результатов испытаний	инженер-конструктор 3к	1	20	116,37	2327,4
18.	Корректировка расчетных данных	инженер-конструктор 3к	1	20	116,37	2327,4
19.	Расчет экономической эффективности	Экономист	2	20	125,71	2514,24
20.	Оформление отчета по теме	Машинист	1	50	111,72	5586,3
		инженер-конструктор 1к	1	20	158,27	3165,48
		Нач. бюро	1	5	186,19	930,96
Итого:						80710,56

Основная зарплата исполнителей

$$I_{\text{зпочн}} = 80710,56 \text{ тг. ;}$$

Зарплата исполнителей с начислениями

$$I_{\text{зписп}} = 1,356 \cdot I_{\text{зпочн}}; \quad I_{\text{зписп}} = 109443,5;$$

Стоимость опытного образца, изготовленного на заводе

$$I_{\text{опобр}} = 1,5 \cdot I_{\text{промобр}};$$

Общие расходы

$$I_{\text{общ}} = I_{\text{зпочн}} \cdot 0,5; \quad I_{\text{общ}} = 40355,28;$$

Таблица 6.2 - Расчета затрат по теме

№	Наименование статей затрат	Сумма, тенге	Уд. вес %
1	Основная зарплата исполнителей	80710,56	7,4
2	Начисления на зарплату	28733,8	2,6
3	Стоимость опытного образца	936036	86,2
4	Общие расходы	40355,28	3,7
	Итого	1085835,64	100

6.2 Определение затрат на изготовление электродвигателя

Стоимость основных материалов

$$I_{\text{м}} = (1+K_{\text{тр}})\Sigma G_{\text{чер}}Ц_{\text{м}}-I_{\text{отх}};$$

$$I_{\text{отх}} = \Sigma(G_{\text{чер}}-G_{\text{чист}})Ц_{\text{отх}};$$

Таблица 6.3 - Расчета затрат на материалы и покупным расходам

Наименование материала	Ед изм	НБ-418к				Спроектированный			
		Кол	К _{исп}	Цена	Сумма	Кол	К _{исп}	Цена	Сумма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сталь якоря	м	142	0,42	113,4	38340	135	0,42	148,5	47732,1
Сталь гл. полюсов	кг	78,6	0,5	64,8	10186,5	86	0,5	64,8	12383,9
Сталь вала, втулок и т.д.	кг	95	0,8	59,4	7053,75	95	0,8	59,4	7053,75
Сталь корпуса подш. щитов и т.д.	кг	276,6	0,6	162	74682	215	0,6	162	43537,5
Прочие стальн. материалы	кг	3,6	0,8	108	486	4	0,8	108	540
Медь ОЯ	кг	26,8	0,95	982,8	27725,3	18,9	0,95	982,8	19583,6
Медь ОВ	кг	46,8	0,97	615,6	29701,1	36,6	0,97	615,6	23227,8
Медь Од	кг	33,4	0,97	561,6	19337,6	9,4	0,97	561,6	5442,33
Медь Ко	кг					18,3	0,95		11479,8
Медь коллектора	кг	13,5	0,7	572,4	11039,2	9,5	0,7	572,4	7768,27
Прочие цветные материалы	кг	17,13	0,95	707,4	12755,5	18	0,95	707,4	13403,4
Слюдопласт	кг	9,23	1	4239	39147,2	10	1	4239	42390
Миканит	кг	0,46	0,7	15930	10468,3	0,5	0,7	15930	11378,5
Стеклолента	м	1246	1	10,8	13456,8	1300	1	10,8	14040
Стеклоткань	п/м	4,35	1	421,2	1832,22	4,5	1	421,2	1895,4
Составная изоляция	кг	0,92	1	880,2	809,784	0,8	1	880,2	704,16
Пленка	кг	0,26	1	2430	631,8	0,3	1	2430	729
Лакокрасочные материалы	кг	8,2	1		3699	9	1		4050
Прочие материалы	кг				21600	135			16200
Итого по материалам					322952,1	283539,7			
Покупные изделия									
Шарикоподшипник	шт	1		1360,8	1360,8	1		1360,8	1360,8
Роликоподшипник	шт	1		1555,2	1555,2	1		1555,2	1555,2
Щетки	шт	8		86,4	691,2	6		102,6	615,6
Втулка	гр	1		43,2	43,2	1		43,2	43,2
Втулка	гр	1		205,2	205,2	1		205,2	205,2
Итого по покупным					3855,6	3780			

	НБ-418к	Спроектированный
Транспротно-заготовительные расходы	12918,1	11341,57
Покупные изделия	3855,6	3780
Возвратные доходы	459	1080
Итого по материалам	339266,7	297581,3

6.3 Специальные расходы

Зарплата производственных рабочих с начислениями

По данным завода-изготовителя прямая зарплата производственных рабочих на один двигатель

$$I_{\text{пзп}} = 38302 \text{ тг. ;}$$

$$I_{\text{пзппр}} = 39420 \text{ тг. ;}$$

$$I_{\text{зп}} = I_{\text{пзп}} \cdot n_{\text{доп}} \cdot n_{\text{сс}} ;$$

Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования

$$I_{\text{с}} = I_{\text{пзп}} \cdot \frac{n_{\text{соб}}}{100} ;$$

Цеховые расходы

$$I_{\text{зав}} = I_{\text{пзп}} \cdot \frac{n_{\text{зав}}}{100} ;$$

Производственная себестоимость

$$C_{\text{пр}} = I_{\text{м}} + I_{\text{пн}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{соб}} + I_{\text{ц}} + I_{\text{зав}} ;$$

Внепроизводственные расходы

$$I_{\text{вн}} = C_{\text{пр}} + \frac{n_{\text{вн}}}{100} ;$$

Полная себестоимость

$$C = C_{\text{пр}} + I_{\text{вн}} ;$$

Накопления

$$I_{\text{нак}} = C \cdot \frac{p_{\text{н}}}{100} ;$$

Оптовая цена

$$C_{\text{опт}} = C + I_{\text{нак}} ;$$

Таблица 6.4 - Результатов расчета оптовой цены двигателей

№	Наименования статей	Сумма, тенге		Уд. вес %	
		Нб-418к	Спроект.	Нб-418к	Спроект.
1	Основные материалы	339265,8	297577,8	48,7	45,2
2	Покупные изделия	3855,6	3780	0,6	0,6
3	Прямая зарпл. произв. рабочих Ипзп	38302,2	39420	5,5	6
4	Начисления на зарплату (n=1,356)	13635,59	14033,52	2	2,1
5	Расходы по содержанию обор. (280,2% от Ипзп)	107552,6	110691,4	15,4	16,8
6	Цеховые расходы (146% от Ипзп)	55921,21	57553,2	8	8,7
7	Общезаводские расходы (152% от Ипзп)	58219,34	59918,4	8,4	9,1
	Итого производственная себестоимость Спр	616752,3	582974,3		
8	Внепроизводственные расходы (0,83% от Спр)	5119,038	4838,67	0,7	0,7
	Итого полная себестоимость Сполн	621871,3	587813		
9	Накопления (12% от Сполн)	74624,54	70537,55	10,7	10,7
	Итого оптовая цена Цопт	696495,9	658350,5	100	100

6.4 Амортизация лабораторного оборудования

Расчет капитальных затрат завода-изготовителя

$$K_{и} = K_{осв} + K_{спосн} + K_{споб};$$

$K_{осв}$ - затраты на разработку нового изделия, изготовление и испытание опытного образца

$K_{споб}$ - стоимость специального технологического оборудования

$K_{спосн}$ - стоимость специального технологического оснащения

$K_{осв} = 1085835$ тг

Удельные затраты на один двигатель

$$K_{иуд} = \frac{K_{и}}{A};$$

A- выпуск двигателей

Затраты на изготовление электродвигателя

$$З = E_n \cdot K_{\text{иуд}} + C_{\text{полн}} ;$$

Затраты на эксплуатацию

$$C_э = I_a + I_{\text{эн}} + I_{\text{обс}} + I_{\text{рем}} ;$$

Амортизационные отчисления

$$I_a = K \cdot \frac{N_a}{100} ;$$

K - стоимость двигателя

N_a - норма амортизационных отчислений на полное восстановление

$N_a = 5,3\%$ - для двигателя с $P_2 > 100$ кВт

6.5 Стоимость потребляемой электроэнергии

Стоимость потерь электроэнергии

$$I_{\text{эн}} = \left(\frac{P_H}{\eta} - P_H \right) \cdot T_{\text{раб}} \cdot C_{\text{эн}} \cdot K_з ;$$

$T_{\text{раб}} = 6000$ ч - время работы двигателя в течение года

$K_з = 0,8$ - коэффициент загрузки

$C_{\text{эн}} = 7,2$ - стоимость энергии

Годовые эксплуатационные затраты

$$C_э = I_a + I_{\text{эн}} ;$$

Расчет приведенных затрат

$$З = E_n \cdot K_{\text{иуд}} + C_{\text{и}} + C_э \cdot E_{\text{и}} + K_э ;$$

6.6 Общие расходы

Расчет годового экономического эффекта от производства и использования нового двигателя

$$\Theta = \left[31 \cdot \frac{B1}{B2} \cdot \frac{p1+Eн}{p2+Eн} + \frac{(И1-И2)+Eн \cdot (K1-K2)}{p2+Eн} - 32 \right] \cdot A2 ;$$

И1,И2 - текущие издержки у потребителя при использовании базового и нового изделий

K1,K2 - сопутствующие капиталовложения

31,32 - приведенные затраты на изготовление

$B2/B2 = P_{проект}/P_{сер}$ коэффициент учета роста производительности средств труда

Расчет предельных цен и надбавки к цене

$$H_{п} = \frac{p_{н}}{100} \cdot I_{нак} ;$$

$$Ц = Ц_{пп} + H_{п} ;$$

Таблица 6.5 - Расчета затрат и экономического эффекта

№	Наименование статей	Сумма, тенге	
		Нб-418к	Спроект.
1	Капитальные затраты завода-изготовителя Ки	14040000	17601840
2	Удельные затраты Киуд	3342,87	4190,94
3	Затраты на изготовление З	621869,4	587811,6
4	Амортизационные отчисления Иа	38136,74	34117,2
5	Стоимось потерь электроэнергии Иэн	403915,4	414720
6	Годовые эксплуатационные затраты Сэ	442052	448841,6
7	Приведенные затраты	3569385	3580718
8	Годовой экономический эффект Э	675385,5	
9	Надбавка к цене Нп		29959,2
10	Предельная цена Ц		673763,4

Сравнительная таблица технико-экономических показателей спроектированного и серийного нб-418к тяговых двигателей

Таблица 6.6 - Техничко-экономические показатели по двигателям

№	Техничко-экономические показатели	Един. изм.	Серийный двигатель Нб-418к	Спроектированный двигатель
1	Номинальная мощность	кВт	790	810
2	Номинальное напряжение	В	950	950
3	Номинальная частота вращения	Об/мин	890	890
4	КПД	%	92,5	93,6
5	Расход эл.-тех. стали	кг	220,6	221
6	Расход меди	кг	152	131
7	Масса двигателя	кг	900	820
8	Удельная мощность	Вт/кг	877,95	987,75
9	Стоимость материалов	тг.	351000	307800
10	Полная себестоимость	тг.	621869,4	587811,6
11	Оптовая цена	тг.	696600	658800
12	Экономический эффект от внедрения на один двигатель	тг.	675385	
13	Надбавка к цене	тг.		30132

7 Безопасность жизнедеятельности

7.1 Анализ условий труда

В дипломной работе спроектирован тяговый двигатель постоянного тока.

Проектируемый тяговый двигатель постоянного тока марки НБ-418к6 ремонтируется на «Алматинском электро вагоноремонтном заводе» в якорном участке цеха. Цех состоит из 7 участков, каждый участок оснащен своим технологическим оборудованием и инструктором, и выполняет пооперационную работу. План и размеры цеха представлены на рисунке 7.1.

Цех и его участки, а также правила выполнения работ по ремонту электрических машин соответствуют требованиям" ГОСТ 32.34-83 ССБТ «Ремонт подвижного состава и производство запасных частей, Требования безопасности».

Обязательным является соблюдение правил техники безопасности при работе на всех участках и отделениях электромашинного цеха обязательно как для рабочих, так и для инженерно - технического персонала. Также производственное помещение цеха соответствуют требованиям действующих норм и правил.

Освещение на должном уровне постоянно являлось важным фактором для благоприятной жизнедеятельности человека. Более 90% информации окружающей среды люди обретают благодаря глазу, способом обрабатывания зрением. Поэтому при проектировке систем освещения необходимо применить эффективный метод расчета освещения. Благодаря хорошему освещению возникает приятная положение, способная успокаивать нервную систему, и вероятно поднять настроение. Улучшение освещенности собственно оптимизирует работоспособность, в том числе и в тех случаях, когда процедура работы не находится в зависимости от визуального восприятия.

При проектировке сооружения и здания нужно рассматривать освещение помещения, где всегда будут ходить люди. Необходимо это в связи с напряженным визуальным восприятием при рабочем процессе, и с деятельностью работников в данных помещениях.

Расчет освещенности в цехе выполняется для увеличения производительности данного предприятия, также с целью повышения условия работы сотрудников предприятия, улучшения их уровня удобства при рабочем процессе, повышения трудоспособности и безопасности.

Якорный участок цеха электровагоноремонтного завода для которого выполняется расчет освещенности относят к типу локализованного и общего однородного освещения. Локализованная освещенность более рационально подходит к помещениям, где рабочие места обладают огромным габаритом и размещены группами или рядами, когда по характерам работы нужно довольно качественное освещение.

Общее локализованная освещенность обладает конкретным преимуществом перед общим однородным, потому что при данном снижается потребление мощности осветительными техниками. В некоторых обстоятельствах локальное освещение исключает затенение рабочих мест от оборудования и самих же работников.

Поэтому к такому типу освещения выбирается точечный метод расчета освещения.

Точечный метод расчета освещенности используется для рассчитывания локализованного и общих однородных освещений, вне зависимости от размещения освещаемой плоскости при непосредственном свете светильника. При этом способе освещение устанавливается для любой точки учитываемой плоскости, по отношению ко всем источникам света.

Данный способ осуществляет определение освещенности во всех точках поверхности, такие как наклонные, вертикальные, горизонтальные.

Данный метод дает возможность найти в любой точке помещения освещенность как в горизонтальной, так и в вертикальной либо наклонной плоскостях.

Как правило точный метод рассчитывания освещенности выполняется для наружных и локальных освещений, если доля осветительного устройств загромождаются расположенными в определенном месте оборудованиями, еще с целью вычисления освещения промышленных предприятий в коих присутствует темные потолки и стенки. К примеру: машинные, сварочные, литейные цехи, значительная доля металлургических цехов предприятий и т.п.

Недостаток отражающей возможности бывают в местах с большим масштабом и периметром и в случаях, если полы, потолки и стенки обладают большую поглощаемость, то есть при маленькой отражательной способности (выше сказанные цеха).

Многоточечный метод отличается от способа с коэффициентом использования тем что реализует определение освещенности каждой точки активной плоскости, произвольно находящейся в просторе помещения. Расчет освещенности точечным способом выполняет тогда, когда нет возможности применить м.к.и., к примеру при расчетах локального освещения, и разного рода поверхностей как вертикальные, наклонные, горизонтальные. Данный метод частенько производят в проверочных целях, если нужно оценивать практическое распределение освещения.

Кроме того нужно выделить выбор источников света для нашего расчета освещенности участка цеха. Источники света выбираются в зависимости от параметров и условий к освещению нужного места. Значимой характеристикой считается цветопередача и экономность световых источников. Так или иначе, во многих промышленных помещениях цветопередача не считается основным параметром, нежели экономичность, что находится в зависимости от финансового состояния владельца компании. Данному цеху цветопередача не является главным параметром по объему и типу помещения. В последствии это

приводит предприятие к применению ламп типов ДРЛ. Поэтому в предприятиях где высота начинается от 6 или 8 метров, как правило используют лампы газоразрядные высокого давления типов ДРЛ.

ДРЛ - это дуговая ртутная люминофорная лампа высокого давления. Эти лампы обширно используют с целью освещения огромной площади (улицы, участки, цеха заводов, промышленные площади и т.д.), при необходимости большой светоотдачи, и при ненужности строгой необходимости к цветопередаче.

Технические характеристики:

Наименование	Напряжение на лампе, В	Мощность, В	Длина, мм (L)	Диаметр, мм (D)	Тип цоколя	Световой поток, лм	Срок службы, ч.
ДРЛ 250	130	250	228	91	E40	13000	12000

7.2 Расчет освещения якорного участка

Исходные данные для расчетов приведены в таблицах 7.7 и 7.8. Расположение светильников и рабочей точки показаны на рисунке 7.1

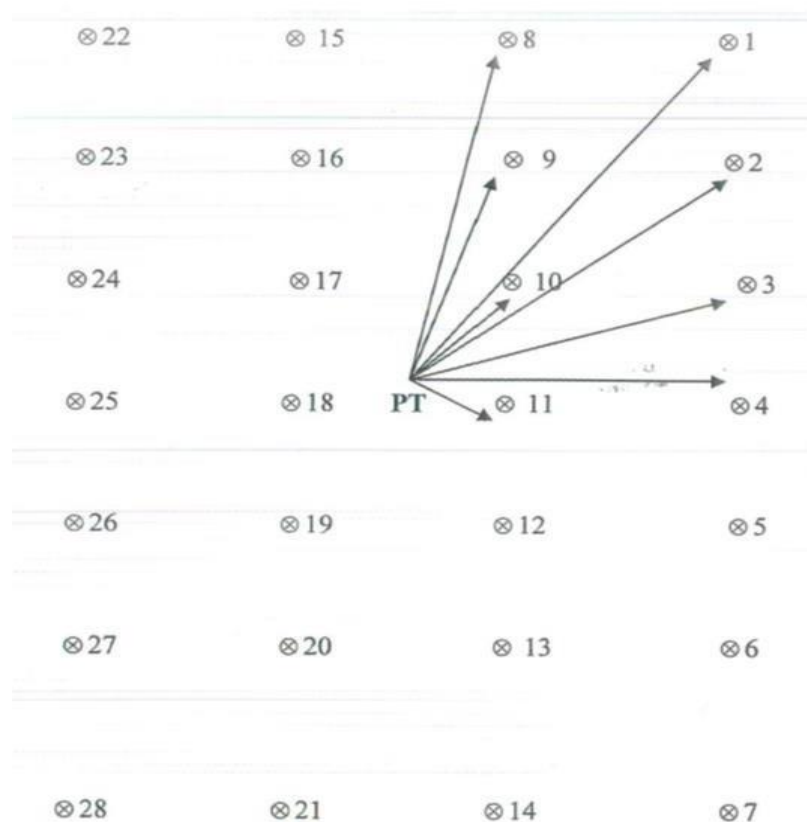


Рисунок 7.1

Таблица 7.7

Тип помещения	V, М ³	Кол-во Святильни ков,шт	Тип лампы	Разряд зрит. работы	Высота раб. поверхности, h _р , м	Расст-е от святильника до перекрытия, h _с . М
Якорный цех	27x48x12	28	ДРЛ-250	Ш, б	1	1

Таблица 7.8 - Светораспределение святильника

Сила света I в направлении угла α										
0	5	15	25	35	45	55	65	75	85	90
431	390	380	340	305	297	185	101	80	40	7

Расчет:

Освещенность на рабочем месте точечным методом определяется по формуле [19]:

$$E = \frac{\Phi \cdot \mu \cdot \Sigma e_r}{1000 \cdot K_3}, \quad (7.1)$$

где Φ - световой поток лампы;

μ - коэффициент, учитывающий действие «удаленных» святильников (принимается 1.1 - 1.2);

Σe_r - суммарная освещенность, создаваемая всеми источниками;

K_3 - коэффициент запаса $K_3 = 1.5$.

Световой поток определяется по справочным данным. Для этого необходимо выбрать источник света; ДРЛ-250 - святильник с дугоразрядной лампой 250 Вт. Световой поток лампы $\Phi = 13000$ лм (табл. в Л. 19 стр. 28).

Суммарная освещенность рассчитывается по формуле [19]:

$$\Sigma e_r = \frac{I \cdot (\cos \alpha)^3}{h^2}, \quad (7.2)$$

где h - высота подвеса над рабочей поверхностью; рассчитывается по формуле [19]:

$$\begin{aligned} h &= H - h_{рп} - h_c, \\ h &= 12 - 1 - 1 = 10 \text{ м} \end{aligned} \quad (7.3)$$

Расчет освещенности в т. А

Расстояние от святильников 1,7,22,28 до исследуемой точки:

$$d_1 = \sqrt{18^2 + 7.5^2} = 19.5 \text{ м}; \quad (7.4)$$

Угол падения света составит [19]:

$$tg(\alpha_1) = \frac{d_1}{h} = \frac{19.5}{10} = 1.95; \quad (7.5)$$

Сила света по исходным данным составит:

$$I = 355 \text{ кд}. \quad (7.6)$$

Определяем e_r :

$$e_r = \frac{355 \cdot (\cos(62.8))^3}{10^2} = 0.35 \text{ лк}. \quad (7.7)$$

Условная освещенность, создаваемая 4 светильниками (1,7,22,28):

$$e_r \cdot 4 = 4 \cdot 0.35 = 1.4 \text{ лк}. \quad (7.8)$$

Расстояние от светильников 2,6,23,27 до исследуемой точки:

$$d_2 = \sqrt{12^2 + 7.5^2} = 14.15 \text{ м}; \quad (7.9)$$

Угол падения света составит [19]:

$$tg(\alpha_2) = \frac{d_2}{h} = \frac{14.15}{10} = 1.41; \quad (7.10)$$

Сила света по исходным данным составит:

$$I = 370 \text{ кд}. \quad (7.11)$$

Определяем e_r :

$$e_r = \frac{370 \cdot (\cos(54.7))^3}{10^2} = 0.71 \text{ лк}. \quad (7.12)$$

Условная освещенность, создаваемая 4 светильниками (2,6,23,27):

$$e_r \cdot 4 = 4 \cdot 0.71 = 2.84 \text{ лк}. \quad (7.13)$$

Расстояние от светильников 3,5,24,26 до исследуемой точки:

$$d_3 = \sqrt{6^2 + 7.5^2} = 9.6 \text{ м}; \quad (7.14)$$

Угол падения света составит [19]:

$$tg(\alpha_3) = \frac{d_3}{h} = \frac{9.6}{10} = 0.96; \quad (7.15)$$

Сила света по исходным данным составит:

$$I = 375 \text{ кд.} \quad (7.16)$$

Определяем e_r :

$$e_r = \frac{375 \cdot (\cos(43.8))^3}{10^2} = 1.4 \text{ лк.} \quad (7.17)$$

Условная освещенность, создаваемая 4 светильниками (2,6,23,27):

$$e_r \cdot 4 = 4 \cdot 1.4 = 5.6 \text{ лк.} \quad (7.18)$$

Расстояние от светильников 4,25 до исследуемой точки:

$$d_4 = \sqrt{(7.5)^2} = 7.5 \text{ м;} \quad (7.19)$$

Угол падения света составит [19]:

$$tg(\alpha_4) = \frac{d_4}{h} = \frac{7.5}{10} = 0.75; \quad (7.20)$$

Сила света по исходным данным составит:

$$I = 388 \text{ кд.} \quad (7.21)$$

Определяем e_r :

$$e_r = \frac{388 \cdot (\cos(36.86))^3}{10^2} = 1.98 \text{ лк.} \quad (7.22)$$

Условная освещенность, создаваемая 4 светильниками (4,25):

$$e_r \cdot 4 = 4 \cdot 1.4 = 3.96 \text{ лк.} \quad (7.23)$$

Расстояние от светильников 8,14,15,21 до исследуемой точки:

$$d_8 = \sqrt{18^2 + 2.5^2} = 18.17 \text{ м;} \quad (7.24)$$

Угол падения света составит [19]:

$$tg(\alpha_8) = \frac{d_8}{h} = \frac{18.17}{10} = 1.817; \quad (7.25)$$

Сила света по исходным данным составит:

$$I = 366 \text{ кд.} \quad (7.26)$$

Определяем e_r :

$$e_r = \frac{366 \cdot (\cos(61.17))^3}{10^2} = 0.41 \text{ лк.} \quad (7.28)$$

Условная освещенность, создаваемая 4 светильниками (8,14,15,21):

$$e_r \cdot 4 = 4 \cdot 0.41 = 1.64 \text{ лк.} \quad (7.29)$$

Расстояние от светильников 9,13,16,20 до исследуемой точки:

$$d_9 = \sqrt{12^2 + 2.5^2} = 12.25 \text{ м;} \quad (7.30)$$

Угол падения света составит [19]:

$$tg(\alpha_9) = \frac{d_9}{h} = \frac{12.25}{10} = 1.225; \quad (7.31)$$

Сила света по исходным данным составит:

$$I = 382.25 \text{ кд.} \quad (7.33)$$

Определяем e_r :

$$e_r = \frac{382.25 \cdot (\cos(50.77))^3}{10^2} = 0.96 \text{ лк.} \quad (7.34)$$

Условная освещенность, создаваемая 4 светильниками (9,13,16,20):

$$e_r \cdot 4 = 4 \cdot 0.96 = 3.84 \text{ лк.} \quad (7.35)$$

Расстояние от светильников 10,12,17,19 до исследуемой точки:

$$d_{10} = \sqrt{6^2 + 2.5^2} = 6.5 \text{ м;} \quad (7.36)$$

Угол падения света составит [19]:

$$tg(\alpha_{10}) = \frac{d_{10}}{h} = \frac{6.5}{10} = 0.65; \quad (7.37)$$

Сила света по исходным данным составит:

$$I = 386.5 \text{ кд.} \quad (7.38)$$

Определяем e_r :

$$e_r = \frac{386.5 \cdot (\cos(33))^3}{10^2} = 2.28 \text{ лк.} \quad (7.39)$$

Условная освещенность, создаваемая 4 светильниками (1,2,3,4):

$$e_r \cdot 4 = 4 \cdot 2.28 = 9.12 \text{ лк.} \quad (7.40)$$

Расстояние от светильников 11,18 до исследуемой точки:

$$d_{11} = \sqrt{(2.5)^2} = 2.5 \text{ м;} \quad (7.41)$$

Угол падения света составит [19]:

$$tg(\alpha_{11}) = \frac{d_{11}}{h} = \frac{2.5}{10} = 0.25; \quad (7.42)$$

Сила света по исходным данным составит:

$$I = 410.5 \text{ кд.} \quad (7.43)$$

Определяем e_r :

$$e_r = \frac{410.5 \cdot (\cos(14))^3}{10^2} = 3.75 \text{ лк.} \quad (7.45)$$

Условная освещенность, создаваемая 4 светильниками (1,2,3,4):

$$e_r \cdot 4 = 4 \cdot 3.75 = 7.5 \text{ лк.} \quad (7.46)$$

Определяем суммарную условную освещенность:

$$\Sigma e_r = 1.4 + 2.84 + 5.6 + 3.96 + 1.64 + 3.84 + 9.12 + 7.5 = 35.9 \text{ лк.}$$

(7.47)

Рассчитываем освещенность на рабочем месте:

$$E_r = \frac{13000 \cdot 1.2 \cdot 35.9}{1000 \cdot 1.5} = 373.36 \text{ лк.} \quad (7.48)$$

Освещенность на рабочем месте считается достаточной, если выполняется условие [19]:

$$E_r \geq E_n \quad (7.49)$$

Для разряда зрительной работы III, б, $E_n = 300$ лк.

В данном случае условие выполняется, $E_r = 373.36 \text{ лк} > 300 \text{ лк}$.
Световой поток лампы в каждом светильнике имеет поток [19]:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E_n \cdot K_3}{\mu \cdot \Sigma e_r},$$
$$\Phi = \frac{1000 \cdot 300 \cdot 1.5}{1.2 \cdot 35.9} = 10445 \text{ лм.} \quad (7.50)$$

В результате расчета освещения определено, что существующая освещенность на рабочем месте удовлетворяет и является оптимальным принятым требованиям, поэтому нет необходимости заменить лампы в светильник.

Заключение

Данная дипломная работа выполнена на тему "Проектирование тягового двигателя постоянного двигателя".

Таким образом, в данной дипломной работе произведен расчет тягового электродвигателя постоянного тока с параметрами: мощностью $P_{ном} = 790$ кВт, напряжением $U = 950$ В, частотой вращения $n = 890$ об/мин. В основных расчетах произведен электромагнитный расчет, расчет потерь в двигателе и также тепловой и вентиляционный расчет. Такие двигатели рассмотренные в этой работе устанавливаются на электровозы, которые эксплуатируются в Казахстане.

С целью проектирования данного двигателя расчеты были выполнены в программе MathCad 15.

Экономический эффект от внедрения спроектированного тягового двигателя составит 675 тысяч тенге на один двигатель. У спроектированного двигателя снизились массо-габаритные показатели, что привело к снижению суммарного веса двигателя на 10% по сравнению с серийным

Применение компенсационной обмотки и переход к шестиполусной магнитной системе позволило значительно снизить расход меди на 15%, станина уменьшилась по толщине 1,5 раза, что и обусловило такое снижение массы двигателя. А с учетом того, что выходная мощность выросла удельная мощность двигателя повысилась почти на 50%. В спроектированном двигателе увеличился КПД на 1%, что позволило уменьшить стоимость потерь электроэнергии за год на 5%.

Все вышеперечисленное и обусловило указанный экономический эффект.

В части по безопасности жизнедеятельности основным расчетом является расчет освещения данного помещения, в данном случае якорного участка. Методом для расчета цеха был выбран точечный метод по соответствующему типу. По произведенному расчету установлено что освещенность на рабочем месте $E_r = 373.36$ лк превышает нормированные показатели освещенности $E_n = 300$ лк и считается достаточной и соответствует нормам. В данном случае условие выполняется, $E_r = 373.36$ лк $>$ 300 лк. Световой поток лампы в каждом светильнике имеет поток : $\Phi = 10445$ лм.

На основе полученных расчетов приходим к выводу, что в данном помещении при определенных условиях работы полностью удовлетворяет установление 28 светильников и лампы типа ДРЛ-250. В результате расчета освещения определено, что существующая освещенность на рабочем месте удовлетворяет и является оптимальным принятым требованиям, поэтому нет необходимости заменить лампы в светильниках.

Список литературы

1. Иоффе А.Б. Тяговые электрические машины., М.-Д.: Госэнергоиздата, 1957..
2. Захарченко Д.Д. и др. Тяговые электрические машины и трансформаторы: Учебник для вузов ж.-д. трансп. - М.: Транспорт, 1979.
3. Вольдек А.И. Электрические машины. Издательство «Энергия» ленинградское отделение, 1974.
4. Проектирование электрических машин. Под ред. И.П. Копылова. М.: Высш. школа, 2002.
5. Проектирование электрических машин. Под ред. И.П. Копылова. М.: Высш. школа, 1980.
6. Тяговые электрические машины. Методические указания для выполнения курсовой работы (для студентов специальности 3306 - Электрический транспорт) - Алматы: АИЭС, 1998.
7. Тепловозы типа ТЭ-10М. Руководство по эксплуатации и обслуживанию. М.: Транспорт, 1985.
8. Электрические машины и электрооборудование тепловозов. Под ред. Е.Я. Гаккель. М.: Транспорт, 1974.
9. Осьмаков А.А. Технология и оборудование производства электрических машин. М.: Высш. шк., 1980.
10. Тяговые электрические машины. Методические указания для выполнения курсовой работы (для студентов специальности 3306 - Электрический транспорт) - Алматы: АИЭС, 2000.
11. Б.А. Егоров Производство и ремонт коллекторов электрических машин. Издательство «Энергия» ленинградское отделение, 1968.
12. Организация и планирования производства. Методические указания к выполнению курсовой работы. Алматы: АИЭС, 1998.
13. Долин П. А. Справочник технике безопасности. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 824 с.
14. А.А. Жакупов, Р.С. Хижняк. Методические указания к выполнению экономической части выпускных работ (для бакалавров, обучающихся по направлению «Электроэнергетика»). – Алматы: АИЭС, 2011.
15. Безопасность жизнедеятельности. Метод, указания к выполнению раздела в дипломных проектах (для студентов всех по направлению «Электроэнергетика»). - Алматы: АИЭС, 2002.
16. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г.М. Кноринга. Л.: Энергия, 1976. - 384с.
17. СНиП РК 2.04-02-2011. Естественное и искусственное освещение.
18. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. «Электрическая часть электростанций и подстанций». Справочник - М. Энергоатомиздат, 1989 г.
19. ГОСТ 12.1.030 - 81 ССБТ. - Электробезопасность.

