

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
Государственная образовательная организация
высшего профессионального образования
«Донецкий институт железнодорожного транспорта»
(ГОО ВПО ДониЖТ)**

Кафедра «Подвижной состав железных дорог»

**РАСЧЁТ ПЕРЕДАЧИ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВОЗА С
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

по дисциплине

«ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ ЛОКОМОТИВОВ»

Донецк – 2016

Рябко К.А.

Расчёт передачи мощности тепловоза с электрической передачей: учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта / Рябко К.А., Паламарчук Н.В., Горобченко А.Н., Кривошея Ю.В., Рябко Е.В. Донецкий гос. ин-т ж.д. транспорта. – Донецк, 2016. – 31 с. : ил. Библиогр. : 5 назв.

Описан порядок и методика расчёта передачи мощности тепловозов с электрической передачей и тяговыми двигателями постоянного тока. Изложены основные положения расчёта тяговых электрических двигателей и построения характеристик передачи мощности.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов специальности 23.05.03 - «Подвижной состав железных дорог», которые изучают курс «Электрические передачи локомотивов» очной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании кафедры «Подвижной состав железных дорог» 26 августа 2016 г., протокол № 01.

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к печати на методическом совете факультета «Управление на железнодорожном транспорте» протокол №2 от 29.09.2016.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	4
Исходные данные	6
1 Определение основных параметров передачи	8
2 Внешняя вольт-амперная характеристика тягового генератора	9
3 Электрические параметры тягового электродвигателя	13
4 Определение передаточного числа тягового редуктора	14
5 Разработка силовой схемы тепловоза и схемы регулирования мощности тягового генератора	18
6 Расчет приведенного объема тягового электродвигателя	18
7 Расчет обмотки якоря и размеров паза	19
8 Выбор количества и размеров щеток, определение рабочей длины коллектора	25
Список рекомендуемой литературы	27
Приложение А	
Справочные данные электрооборудования локомотивов	28

ВВЕДЕНИЕ

Передачей мощности на тепловозе называется устройство, которое превращает энергию первичного источника (двигателя внутреннего сгорания) в силу тяги и скорость движения поезда.

Сила тяги локомотива и его скорость могут изменяться в пределах:

$$0 \leq F_k \leq F_{k \max}; \quad 0 \leq V \leq V_{\max}$$

Максимальное значение силы тяги ограничено сцеплением колеса с рельсом:

$$F_{k \max} = \Psi P_{\text{лок}}$$

где Ψ - коэффициент сцепления колеса с рельсом;

$P_{\text{лок}}$ - сцепная масса локомотива.

Скорость локомотива ограничена конструкцией ходовой части и допустимой скоростью движения поезда на данном участке пути.

Максимальная касательная мощность локомотива ограничена мощностью первичного источника энергии и конструкцией оборудования передачи мощности:

$$0 \leq N_k = F_k V \leq N_{k \max}$$

В общем случае передача мощности должна допускать реализацию силы тяги, скорости и касательной мощности до максимально возможных значений.

Из всех видов передач мощности в локомотивах наибольшее применение получили электрические передачи. В свою очередь они бывают на постоянном, переменном-постоянном и переменном-постоянно-переменном токе.

В передаче постоянного тока механическая энергия дизеля в тяговом генераторе превращается в электрическую энергию постоянного тока и подводится к тяговым двигателям постоянного тока, где она превращается в механическую работу движения поезда. В качестве тяговых двигателей применяются коллекторные электродвигатели с серийным (последовательным) возбуждением. Последнее обусловлено тем, что только такой тип электродвигателей имеет мягкую или транспортную характеристику – значительную зависимость крутящего момента от частоты вращения якоря и тем самым силы тяги от скорости движения поезда.

В связи с тем, что коллекторные машины имеют существенные недостатки, которые определяют их низкую надежность и долговечность, сложную конструкцию и значительные расходы меди на их изготовление, с 1967 года и по настоящее время на тепловозах начали применять передачи мощности на переменном-постоянном токе. В данном типе передачи тяговый генератор представляет собой синхронную 12-ти полюсную электрическую машину с двумя трёхфазными обмотками на статоре. Синхронный генератор имеет высокую

надежность, долговечность, более прост конструктивно, меньшую материалоемкость и более высокий коэффициент полезного действия (КПД).

Поскольку тяговые двигатели применяются такие же, как и в передаче постоянного тока, то для выпрямления переменного тока между генератором и двигателями находится статический преобразователь переменного тока в выпрямленный – выпрямитель на полупроводниках-вентильях. Данный аспект несколько усложняет конструкцию тяговой передачи.

В последние годы, как в нашей стране, так и за рубежом большое внимание уделяют разработке и вводу в эксплуатацию передач на переменном-постоянно-переменном токе. В этих передачах тяговый генератор синхронный, а тяговые двигатели - асинхронные. Для регулирования силы тяги и скорости движения между тяговым генератором и двигателями находятся выпрямитель и инвертор на полупроводниках-тиристорах.

Выполнение данного курсового проекта предусматривает формирование навыков в проектировании основных элементов передач мощности тепловозов, построении характеристик электрического оборудования. В ходе проектирования происходит подготовка к разработке расчетной части дипломного проекта по тематике проектирования и расчета основных параметров передач мощности новых и перспективных тепловозов.

Курсовой проект должен содержать введение, 8 разделов, заключение по проекту в целом, а также два листа графической части. Первый лист графической части должен содержать чертеж принципиальной электрической схемы силовых цепей и цепей системы регулирования мощности тягового генератора. На втором листе – чертеж с продольным разрезом рассчитанного тягового электрического двигателя с указанием основных размеров и элементов двигателя. Формат листов графической части разрешается выбирать в зависимости от размеров схемы – от формата А3 до формата А1.

Пояснительная записка должна быть выполнена в соответствии с требованиями действующих ГОСТов и СТП на персональном компьютере. При выполнении записки необходимо установить следующие параметры: тип шрифта – Times New Roman, размер – 14, межстрочный интервал – 1,5. На каждом листе, кроме титульного и листа содержания, должна быть рамка с основной надписью по форме 2а (высотой 15 мм), а на листе содержания – рамка с основной надписью по форме 2 (высотой 40 мм). В конце работы должен быть приведен список использованных источников.

Варианты задания, соответствующие разделам курсовой работы, выдаются преподавателем в соответствии с порядковым номером студента в журнале или шифром зачетной книжки, в некоторых случаях возможна выдача задания не соответствующего таблице.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В ходе выполнения курсового проекта по дисциплине «Передачи мощности и электрооборудование тепловозов» необходимо выполнить расчет передачи мощности тепловоза по исходным данным, приведенным ниже. При этом необходимо учитывать, что подлежит разработке передача мощности одной секции тепловоза, имея в виду, что вторая секция по параметрам аналогична.

Организация выполнения проекта. Проект выполняется в пределах одного учебного семестра, выполнение проекта начинается с выдачи задания преподавателем. Варианты задания выбираются индивидуально для каждого студента из таблиц 1.1 и 1.2 по учебному шифру.

Для своевременного выполнения проекта и успешной его защиты необходимо детально осмыслить все этапы, из которых состоит проект.

Выполнение проекта целесообразно разделить на два блока. Первый блок предусматривает выполнение общих расчетов передачи мощности тепловоза (с первого по четвертый разделы проекта) и подытоживается выполнением первого листа графической части с упрощенной принципиальной электрической схемой силовых электрических цепей питания тяговых электрических двигателей от тягового генератора, а также цепей возбуждения тягового генератора (пятый раздел). Второй блок объединяет расчет параметров тягового электрического двигателя (с шестого по восьмой разделы), а также выполнение чертежа продольного разреза тягового электродвигателя.

По каждому блоку проводится отчет каждого студента у преподавателя, который контролирует ход подготовки проекта, правильность выполнения расчетов и графической части.

В период между отчетами и консультациями у преподавателя студент обязан проводить самоконтроль основных результатов расчетов в соответствии с рекомендациями, предоставленными преподавателем при выдаче задания на проект и на консультациях по выполнению проекта. При проведении расчетов для контроля правильности полученных значений параметров следует ориентироваться на величины соответствующих параметров оборудования локомотивов-прототипов, которые приведены в таблицах приложения А.

К основным ошибкам, которые допускают студенты во время выполнения проекта, следует отнести несоблюдение требований нормоконтроля в пояснительной записке и графической части, несоответствие размерностей величин, которые подставляются в формулы и получены в результате расчетов, ссылок на литературные источники.

Проект должен выполняться в последовательности, которая приведена в данном учебно-методическом пособии, поскольку результаты, полученные в предыдущих разделах, являются исходными для выполнения последующих разделов.

Исходные данные для выполнения проекта выбираются из таблицы 1.1 по учебному шифру или в соответствии с порядковым номером студента.

Таблица 1.1 – Исходные данные

Наименование исходных данных	Номер варианта (последняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тип тепловоза	грузовой	грузовой	пассажирский	маневровый	грузопассажирский	маневровый	грузовой	грузовой	пассажирский	маневровый
Осевая формула	3_0-3_0	3_0-3_0	$2 \times (3_0-3_0)$	3_0-3_0	$2 \times (3_0-3_0)$	3_0-3_0	3_0-3_0	$2 \times (3_0-3_0)$	3_0-3_0	$2_0+2_0-2_0+2_0$
Эффективная мощность дизеля, $N_э$, л.с.	4000	3000	2×2000	1000	2×2500	1200	3500	2×2000	4000	2000
Сцепная масса, $P_{сц}$, т	134	130	2×100	120	2×114	122	132	2×126	130	180
Количество тяговых электродвигателей, C	6	6	2×6	6	2×6	6	6	2×6	6	4×4
Диаметр движущих колес, D_k , мм	1250	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050
Максимальная скорость тепловоза	Выбирается из таблицы 1.2									

Таблица 1.2 – Максимальная (конструкционная) скорость тепловоза, км/ч

Последняя цифра шифра	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	120	115	100	105	110	120	125	110	90	95
2	105	110	110	115	100	95	105	100	90	95
3	150	155	170	140	145	160	165	170	160	150
4	85	70	90	95	80	75	90	80	80	85
5	130	120	120	125	120	125	125	120	130	125
6	90	95	75	80	85	80	90	70	85	70
7	120	110	105	110	115	105	100	120	95	100
8	120	105	105	110	115	110	100	115	120	100
9	160	165	140	150	155	170	160	150	150	145
0	150	155	135	140	145	160	165	170	125	130

1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ

Электрическая мощность тягового генератора.

Электрическая мощность тягового генератора (ТГ) равняется величине эффективной мощности дизеля за исключением мощности отбираемой на привод вспомогательных агрегатов локомотива с учетом коэффициента полезного действия (КПД) тягового генератора:

$$P_z = (N_3 - \Delta N_{ва}) \cdot \eta_z, \text{ кВт}, \quad (1.1)$$

где $\Delta N_{ва}$ – расход мощности на привод вспомогательных агрегатов;
 η_z – КПД тягового генератора, $\eta_z = 0,92 \div 0,95$.

Обычно

$$\Delta N_{ва} = (0,1 \div 0,12) \cdot N_3. \quad (1.2)$$

Электрическая мощность тяговых двигателей.

Электрическая мощность тягового генератора равномерно распределяется между тяговыми электродвигателями, то есть:

$$P_{тд} = \frac{P_r}{c}, \quad (1.3)$$

где c – количество тяговых двигателей на тепловозе.

Как правило, все колесные пары локомотива являются обмоторенными. Поэтому их количество определяется по колесной формуле локомотива (таблица 1.1).

Касательная мощность тепловоза определяется из выражения:

$$N_k = c \cdot P_{тд} \cdot \eta_{тд} \cdot \eta_{зн}, \text{ кВт}, \quad (1.4)$$

где $\eta_{тд} = 0,91 \div 0,92$ – КПД тягового двигателя постоянного тока;
 $\eta_{зн} = 0,97 \div 0,98$ – КПД зубчатой передачи.

Расчетная (длительная) сила тяги тепловоза (сила тяги на расчетном подъеме) определяется из условия реализации коэффициента тяги на расчетном подъеме:

$$F_{кр} = P_{сц} \cdot \psi_{кр} \cdot g, \text{ кН}, \quad (1.5)$$

где $P_{сц}$ – сцепная масса локомотива, т;
 $\psi_{кр}$ – коэффициент сцепления:
 $\psi_{кр}=0,19\div 0,24$ – для грузовых локомотивов;
 $\psi_{кр}=0,14\div 0,16$ – для маневровых локомотивов;
 $\psi_{кр}=0,14\div 0,15$ – для пассажирских локомотивов;
 g – ускорение силы тяжести.

Скорость на расчетном подъеме:

$$V_p = \frac{N_k}{F_{кр}}, \text{ м/с} \quad (1.6)$$

Для тепловозов разного рода службы значения скорости на расчетном подъеме находятся приблизительно в приведенных пределах:

- маневровые тепловозы – $V_p=10\div 12$ км/ч;
- грузовые тепловозы – $V_p=25\div 32$ км/ч;
- пассажирские тепловозы – $V_p=50\div 60$ км/ч.

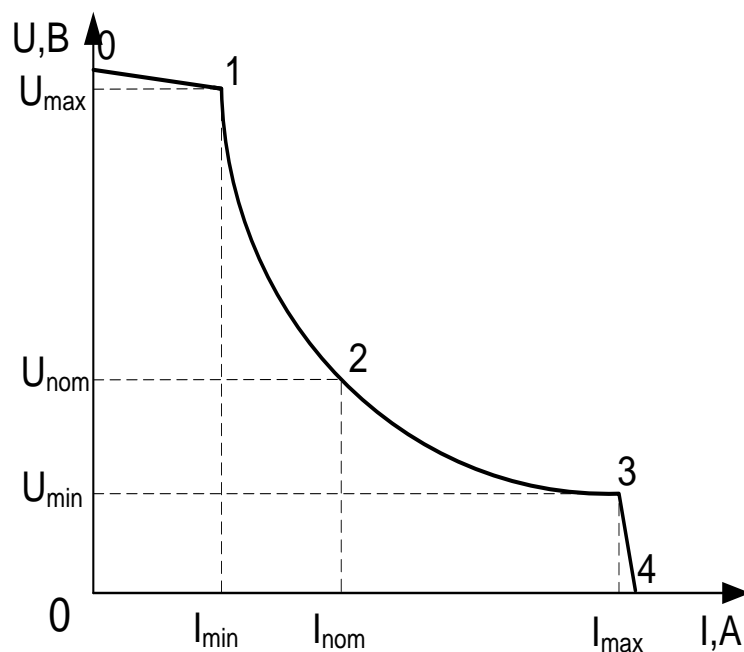
Более высокие значения скоростей устанавливают для локомотивов большей мощности.

2 ВНЕШНЯЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЯГОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Вольт-амперная характеристика определяет зависимость между напряжением и током генератора. Поскольку мощность дизеля на определенной позиции контролера машиниста неизменна, то в первом приближении можно принять, что мощность генератора должна быть постоянной:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 = const. \quad (2.1)$$

То есть вольт-амперная характеристика генератора должна иметь гиперболический вид, ее также называют автоматической (рисунок 2.1).



участок 0-1 – ограничение максимального напряжения; участок 1-2-3 – рабочая часть характеристики; участок 3-4 – ограничение максимального тока
 Рисунок 2.1 – Внешняя вольт-амперная характеристика генератора

Максимальное напряжение тяговых генераторов находится в интервале $U_{2max} = 550 \div 800\text{В}$, тогда из формулы (2.1) минимальное значение тока, который отвечает максимальному напряжению, определим по формуле:

$$I_2 = \frac{P_2}{U_{2max}}, \text{ А.} \quad (2.2)$$

Номинальное напряжение генератора связано с максимальным коэффициентом регулирования генератора по напряжению:

$$\kappa_2 = \frac{U_{2max}}{U_{2nom}}. \quad (2.3)$$

Коэффициент κ_2 находится в пределах $1,4 \div 1,6$, соответственно:

$$U_{2nom} = \frac{U_{2max}}{\kappa_2}, \text{ В,} \quad (2.4)$$

а ток генератора:

$$I_{2nom} = \frac{P_2}{U_{2nom}}, \text{ А.} \quad (2.5)$$

Максимальный ток генератора с номинальным связан коэффициентом регулирования генератора по току:

$$c_2 = \frac{I_{2 \max}}{I_{2 \text{ ном}}} = 1,8 \div 2,2, \quad (2.6)$$

соответственно:

$$I_{2 \max} = c_2 \cdot I_{2 \text{ ном}}, \text{ А.} \quad (2.7)$$

$$U_{2 \min} = \frac{P_2}{I_{2 \max}}, \text{ В.} \quad (2.8)$$

После определения координат этих трех характерных точек (минимального, номинального и максимального тока) осуществляется построение вольт-амперной характеристики генератора. Построение характеристики следует проводить на миллиметровой бумаге или в САПР с соблюдением масштаба.

Степень регулирования электропередачи по скорости тепловоза характеризуется коэффициентом регулирования, который является отношением максимальной скорости тепловоза к скорости тепловоза длительного режима (расчетной), то есть:

$$C_v = \frac{v_{\max}}{v_p}. \quad (2.9)$$

Для реализации коэффициента регулирования передачи по скорости $C_v > 2,1$ регулирование тягового генератора по напряжению в диапазоне, который определяется коэффициентом регулирования $k_2 \leq 1,6$, недостаточно. Для обеспечения работы электропередачи при постоянной мощности в необходимом диапазоне скоростей движения тепловоза, при сохранении диапазона регулирования тягового генератора по напряжению применяют два метода: ослабление возбуждения тяговых электродвигателей (ослабление поля) и переключения в схеме соединения тяговых электродвигателей к тяговому генератору.

В курсовом проекте целесообразно применить первый способ (ослабление возбуждения), который является наиболее распространенным и простым методом расширения диапазона регулирования электропередачи по скорости тепловоза.

С учетом части диапазона скорости тепловоза, в котором должна реализовываться полная мощность дизеля, для маневровых тепловозов

допускается определять расчетный коэффициент регулирования электропередачи по скорости по формуле:

$$C_v = \frac{0,7 \cdot v_{max}}{v_p}, \quad (2.10)$$

а для грузовых – по формуле:

$$C_v = \frac{0,9 \cdot v_{max}}{v_p}. \quad (2.11)$$

Пассажирские тепловозы должны реализовывать полную мощность во всем диапазоне скоростей движения, от расчетной к конструкционной (максимальной).

Для проверки возможности обеспечения диапазона регулирования электропередачи по скорости путем ослабления возбуждения тяговых электродвигателей определяют минимальное значение коэффициента ослабления возбуждения тяговых электродвигателей α_{min} , который является отношением тока возбуждения (тока главных полюсов) к току якоря. Величина этого коэффициента определяется формулой:

$$\alpha_{min} = 1,44 \cdot \frac{\kappa_2^3}{C_v} = \alpha_2 \quad (2.12)$$

и не должна быть менее 0,25 по условию обеспечения удовлетворительной коммутации тяговых электродвигателей при высоких скоростях движения.

Если $\alpha_{min} < 0,5$, то применяют две степени ослабления возбуждения, то есть вводится промежуточная степень возбуждения, коэффициент которой определяют по формуле:

$$\alpha_1 = \sqrt{\alpha_2}. \quad (2.13)$$

В конечном результате следует принимать вариант, в котором обеспечивается $\alpha_{min} = 0,25 \div 0,40$ при минимальном коэффициенте регулирования тягового генератора по напряжению в диапазоне $\kappa_2 = 1,4 \div 1,6$. Уменьшение диапазона регулирования тягового генератора по напряжению позволяет уменьшить габариты и массу генератора.

3 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Электрические параметры тягового электродвигателя зависят от схемы их соединения. Для тепловозов малой мощности (меньше 1000 кВт) используется последовательно-параллельная схема соединения. Для шестиосных тепловозов - это последовательное соединение трех двигателей в две параллельных ветви (рисунок 3.1).

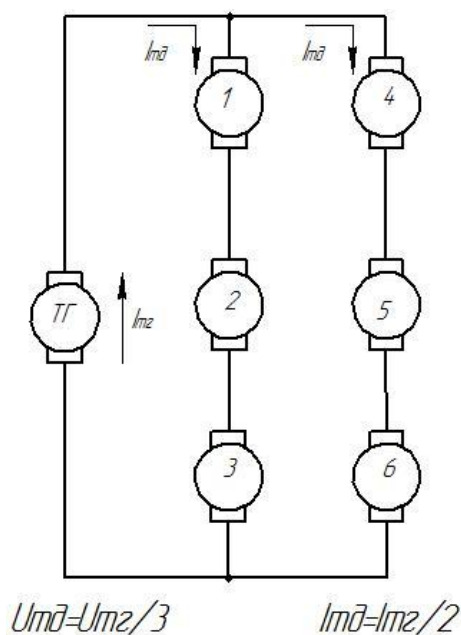


Рисунок 3.1 - Последовательно-параллельная схема соединения тяговых двигателей

Для тепловозов мощностью больше 1000 кВт, но меньше 2000 кВт, используется последовательно-параллельная схема (рисунок 3.2) – три параллельных ветви по два последовательно подключенных двигателя в каждой.

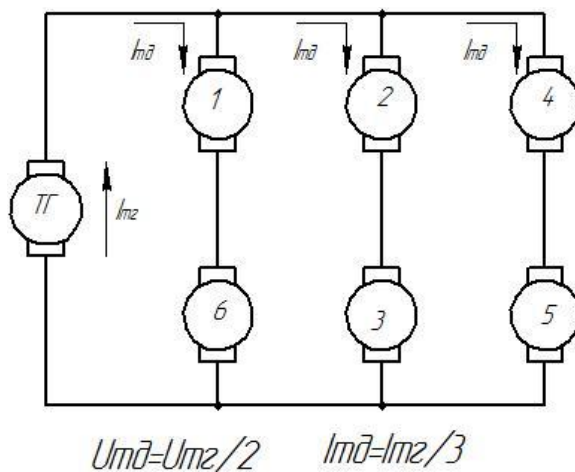


Рисунок 3.2 – Последовательно-параллельная схема соединения тяговых двигателей

Для тепловозов мощностью больше 2000 кВт используется параллельная схема соединения (рисунок 3.3) – все двигатели подключены на напряжение генератора.

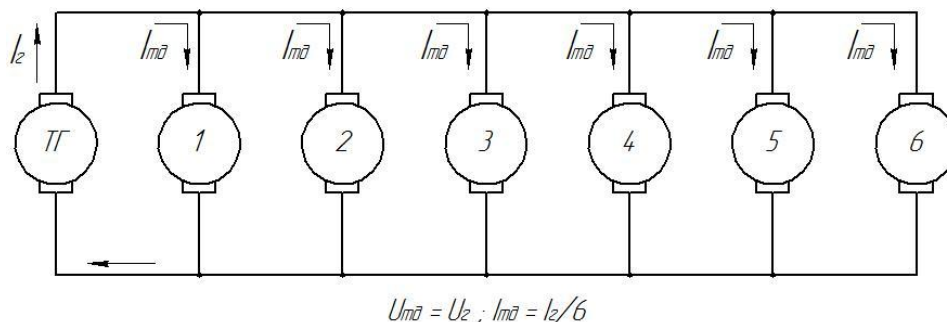


Рисунок 3.3 – Параллельная схема соединения тяговых двигателей

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА ТЯГОВОГО РЕДУКТОРА

В курсовом проекте следует принять опорно-осевое подвешивание тяговых электродвигателей. При одной и той же мощности двигателя можно получить на его валу разные значения вращающего момента в зависимости от выбранной частоты вращения якоря. Однако при чрезмерном увеличении вращающего момента двигатель будет тихоходен, в результате чего его габариты увеличиваются.

При опорно-осевом подвешивании двигателя его размеры ограничиваются расстоянием между внутренними гранями бандажей колес колесных пар и наименьшим допустимым расстоянием от корпуса двигателя к головке рельса, a (рисунок 4.1). Для увеличения этого расстояния (и соответственно увеличения возможных габаритов двигателя), ось двигателя размещают выше оси колесной пары. Для тепловозных двигателей размер x (рисунок 4.1) выбирают в пределах $20 \div 40$ мм.

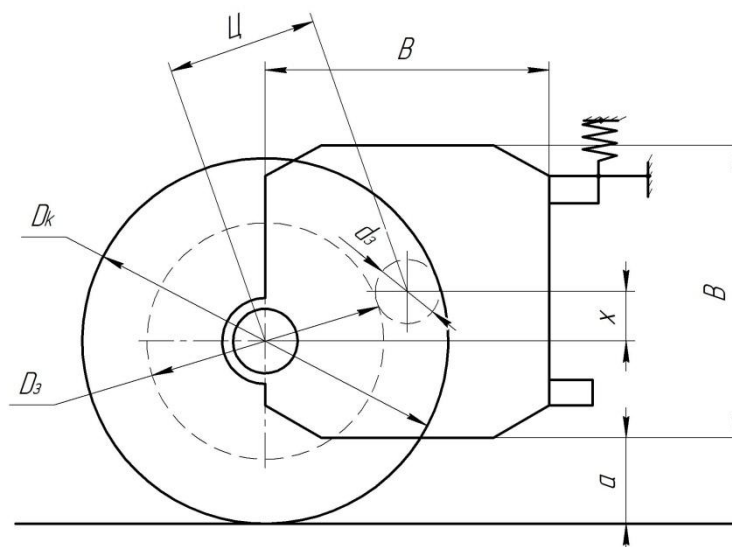


Рисунок 4.1 – Схема опорно-осевого подвешивания тяговых электродвигателей

Частота вращения тягового электродвигателя в длительном режиме работы n_n , об/мин, и соответствующая расчетная скорость тепловоза v_p связаны соотношением:

$$n_n = 5,3 \cdot 10^3 \frac{i \cdot v_p}{D_k}, \quad (4.1)$$

где i – передаточное число тягового редуктора;

D_k – диаметр колес колесной пары по кругу катания, мм.

Передаточное число тягового редуктора определяется по формуле:

$$i = \frac{D_3}{d_3} = \frac{Z_3}{z_3}, \quad (4.2)$$

где D_3, d_3 – соответственно диаметры делительных окружностей зубчатого колеса и шестерни;

Z_3, z_3 – соответственно их число зубьев.

Значение передаточного числа следует выбирать как можно больше, так как при этом будет достигаться наибольшая частота вращения n_n и при заданной мощности двигателя P_d наименьший момент M_n , а соответственно наименьшие размеры и масса двигателя.

В соответствии с обозначениями (рисунок 4.2):

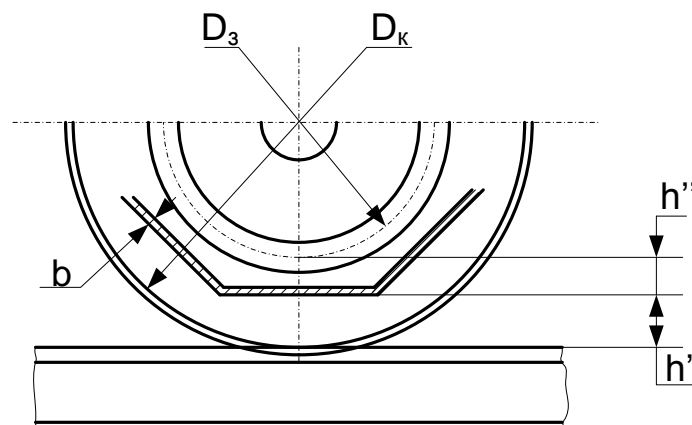


Рисунок 4.2 – Эскиз к определению размеров зубчатой передачи тягового редуктора

$$D_3 = D_k - 2(h' + h''). \quad (4.3)$$

Необходимо, чтобы $h' \geq 120$ мм. Величина $h'' = 20 \div 25$ мм.

Величину d_3 можно получить, оценив предварительно передаточное число тягового редуктора:

$i=4,2 \div 4,9$ – для грузовых тепловозов при $D_k=1050\text{мм}$;

$i=4,7 \div 5,3$ – для грузовых тепловозов при $D_k=1250\text{мм}$;

$i=2,3 \div 3,5$ – для пассажирских тепловозов;

$i=4,5 \div 4,9$ – для маневровых тепловозов.

Определившись с передаточным числом тягового редуктора i в зависимости от типа тепловоза и диаметра колес, находят:

$$d_3 = \frac{D_3}{i}. \quad (4.4)$$

Дальше выбирают модуль зацепления m зубчатых колес тягового редуктора в зависимости от момента на валу тягового электродвигателя в длительном режиме (при номинальном моменте) по следующим данным:

$M_n, \text{Н м}$	1000	2000	4000 и более
$m, \text{мм}$	8-10	9-11	10-12

Номинальный момент определяют по расчетному значению силы тяги и предварительно найденному передаточному числу тягового редуктора:

$$M_n = \frac{F_p \cdot D_k \cdot 10^{-3}}{2 \cdot i \cdot \eta_{зп} \cdot c}, \quad (4.5)$$

где c – количество тяговых электродвигателей.

Числа зубьев $Z_3 = \frac{D_3}{m}$ и $z_3 = \frac{d_3}{m}$ должны быть целыми и по возможности взаимно простыми. В дальнейшем уточняют значение передаточного числа $i = \frac{Z_3}{z_3}$.

При этом число зубьев шестерни должно быть не менее 17.

Централь при обычно применяемой коррекции зубьев (для колеса $\varepsilon_k=0$, а для шестерни $\varepsilon_k=+0,5$) определяется из выражения:

$$\text{Ц} = \frac{m}{2} (Z_3 + z_3) + 0,5, \text{ мм}. \quad (4.6)$$

Централь при опорно-осевом подвешивании должна быть привязана к диаметру якоря двигателя (в миллиметрах), который предварительно определяют по формуле:

$$D_{я} = \kappa_{я} \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{д}}{n_{н}}}, \quad (4.7)$$

где $\kappa_{я} = 650 \div 750$ для двигателей с изоляцией класса нагревостойкости В;
 $\kappa_{я} = 600 \div 675$ для двигателей с изоляцией класса нагревостойкости F.

В определенном выше диапазоне возможных значений диаметров якоря двигателя необходимо выбрать нормализованную величину, которая обеспечивает штамповку листов железа якоря с минимальными отходами, а также вписывание двигателя в определенные габариты. Нормализованный ряд диаметров якорей: 245, 280, 327, 368, 423, 493, 560, 660, 740, 850, 990 мм.

Вписывание тягового двигателя в определенные для него габариты под тепловозом проверяется условием:

$$D_{я} \leq 1,15 Ц. \quad (4.8)$$

Правильность принятого значения $D_{я}$ проверяют по допустимым максимальным значением окружной скорости якоря $v_{я \max}$, которая достигается при максимальной (конструкционной) скорости движения локомотива:

$$v_{я \max} = \frac{\pi \cdot D_{я} \cdot n_{\max}}{60} \leq 65 \div 70 \text{ м/с}, \quad (4.9)$$

где $n_{\max} = n_{н} \cdot \frac{v_{\max}}{v_{\rho}}$.

Дальше определяют высоту (ширину) корпуса двигателя, мм:

$$B = \frac{D_{я}}{0,58 \div 0,64}. \quad (4.10)$$

Расстояние от корпуса двигателя до головки рельса (рисунок 4.1) определяется по формуле:

$$a = \left(\frac{D_{к}}{2} + x - \frac{B}{2} \right), \quad (4.11)$$

где x – разница высот оси колесной пары и ТЭД, $x = 20 \div 40$ мм.
 Это расстояние должно быть не менее 120 мм.

Окончательно определяют частоту вращения якоря в длительном режиме по формуле:

$$n_n = 5,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{i}{D_k} \cdot \nu_p, \text{ об/мин.} \quad (4.12)$$

5 РАЗРАБОТКА СИЛОВОЙ СХЕМЫ ТЕПЛОВОЗА И СХЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ТЯГОВОГО ГЕНЕРАТОРА

В предыдущих разделах была определена принципиальная схема соединения тяговых двигателей с тяговым генератором. В данном разделе следует начертить принципиальную силовую схему тяговой электрической передачи тепловоза. На схеме должны быть показаны якоря тяговых электрических машин, обмотки возбуждения, силовые контакты поездных контакторов, силовые контакты реверсора, силовые контакты контакторов и резисторы ослабления возбуждения тяговых электродвигателей.

Далее необходимо разработать принципиальную схему регулирования мощности тягового генератора и начертить ее. На схеме следует показать основные агрегаты, аппараты и элементы системы регулирования мощности. В пояснительной записке должна быть коротко описана работа схемы.

На силовой схеме и схеме возбуждения тягового генератора должны быть показаны системы защиты от боксования, последствий пробоя изоляции в силовой цепи и защиты от чрезмерных перегрузок тяговых электрических машин.

При выполнении данного раздела рекомендуется взять за основу электрическую схему одного из тепловозов-прототипов с электрической передачей.

6 РАСЧЕТ ПРИВЕДЕННОГО ОБЪЕМА ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Приведенный объем якоря в сантиметрах кубических, см³:

$$V_{я} = D_{я} \cdot L_{я} = \frac{6 \cdot P_{мд} \cdot 10^7}{\alpha \cdot A \cdot B_{\delta} \cdot n_n}, \quad (6.1)$$

где $L_{я}$ — длина сердечника якоря, см;

$P_{мд}$ — мощность тягового электродвигателя, кВт;

n_n — номинальная частота вращения якоря тягового двигателя, мин⁻¹;

α — коэффициент полюсного перекрытия;

A — линейная нагрузка якоря током, А/см;

B_{δ} — расчетная магнитная индукция в воздушном зазоре, Тл.

Для тепловозных тяговых электродвигателей:

$$\alpha = 0,67 \div 0,72; A = 450 \div 550 \text{ А/см}; B_{\delta} = 0,95 \div 1,05 \text{ Тл.}$$

Длина сердечника якоря в сантиметрах, см:

$$L_{\text{я}} = \frac{V_{\text{я}}}{D_{\text{я}}^2}; \quad (6.2)$$

Для тепловозных двигателей $L_{\text{я}} \leq 45,0 \div 48,0$ см.

Полюсное деление якоря в сантиметрах, см:

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_{\text{я}}}{2p}. \quad (6.3)$$

Зазор под центром полюса, мм:

$$\delta \geq (0,01 \div 0,015)D_{\text{я}}. \quad (6.4)$$

Зазор под краем полюса $\delta_{\text{к}} = 2\delta$.

7 РАСЧЕТ ОБМОТКИ ЯКОРЯ И РАЗМЕРОВ ПАЗА

Во всех вариантах курсового проекта следует применить простую петлевую двухслойную обмотку якоря и количество главных полюсов $2p = 4$. В этом случае количество параллельных ветвей обмотки якоря $2a$ равно количеству главных полюсов $2p$, т.е. $2a=4$, а ток параллельной ветви определяется по формуле:

$$i_{\text{я}} = \frac{I_{\text{дн}}}{2a} \leq 250 \text{ А}. \quad (7.1)$$

Количество проводников обмотки якоря (предварительно):

$$N = \frac{A \cdot \pi \cdot D_{\text{я}}}{i_{\text{я}}}. \quad (7.2)$$

Так как при двухслойной обмотке с каждой коллекторной пластиной связаны два проводника обмотки якоря, то количество коллекторных пластин определяется из соотношения:

$$k = \frac{N}{2}. \quad (7.3)$$

Найденное количество коллекторных пластин проверяется по допустимому среднему напряжению между ними при максимальном значении напряжения на зажимах электродвигателя:

$$U_{\text{ксп}} = \frac{2 \cdot p \cdot U_{\text{мд max}}}{k} \leq 16\text{В}, \quad (7.4)$$

где $U_{\text{мд max}}$ – максимальное значение напряжения двигателя, В.

Далее предварительно оценивается диаметр коллектора в миллиметрах, мм:

$$D_{\text{кол}} = (0,8 \div 0,81) \cdot D_{\text{я}} \quad (7.5)$$

И определяют коллекторное деление $t_{\text{к}}$, которое должно быть не менее 4мм:

$$t_{\text{к}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{кол}}}{k}, \text{ мм}. \quad (7.6)$$

Количество пазов якоря Z выбирают по кривой (рисунок 7.1). Из условия симметрии отношение $\frac{Z}{p}$ должно быть целым числом, а для уменьшения амплитуды пульсаций магнитного потока в воздушном зазоре электродвигателя – нечетным.

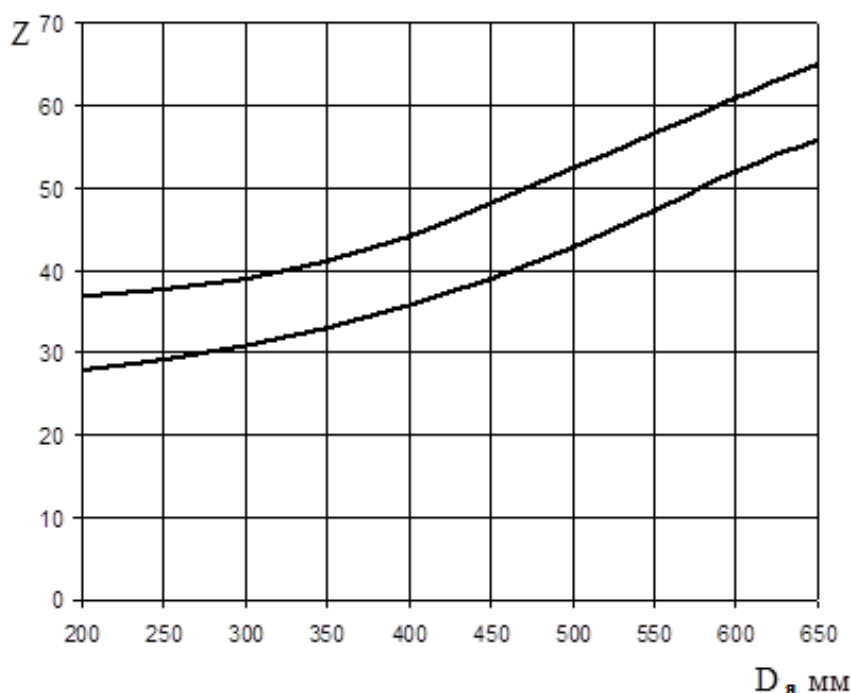


Рисунок 7.1 – Зависимость количества пазов якоря от его диаметра

Число коллекторных пластин на паз $n_k = \frac{k}{Z}$ должно быть целым (для тепловозных двигателей $n_k = 3 \div 4$). Число пазов уточняется проверкой объема тока в пазу $2n_k i_{я} \leq 1800 A$.

После того как все вышеперечисленные условия будут выполнены определяется число проводников обмотки якоря окончательно $N = 2K$.

Линейная нагрузка окончательно, А/см,

$$A = \frac{i_{я} \cdot N}{\pi \cdot D_{я}} . \quad (7.7)$$

Для определения сечения проводника обмотки якоря следует задаться величиной фактора нагрева, который является произведением линейной нагрузки на плотность тока в проводнике ($A \Delta_{я}$).

Для тепловозных тяговых машин:

$$(A \cdot \Delta_{я}) = (2500 \div 4000) \frac{A^2}{\text{см} \cdot \text{мм}^2} . \quad (7.8)$$

Откуда:

$$\Delta_{я} = \frac{(A \cdot \Delta_{я})}{A} . \quad (7.9)$$

Для тяговых двигателей тепловозов $\Delta_{я} = (5 \div 7) A/\text{мм}^2$.

Задавая значение $\Delta_{я}$, определяется площадь сечения проводника обмотки якоря в миллиметрах квадратных, мм^2 :

$$g_{я} = \frac{i_{я}}{\Delta_{я}} . \quad (7.10)$$

Рассчитанное сечение округляется до ближайшего значения (по стандарту).

Практически площадь сечения проводника может быть получена комбинацией любых двух размеров: высоты h_m и ширины b_m обмоточной прямоугольной меди (мм) в соответствии с приведенным рядом линейных размеров проводников:

0,90	1,45	2,26	3,53	5,50	7,40	11,00	16,00
1,01	1,56	2,44	3,80	5,90	8,00	11,60	16,80
1,08	1,68	2,63	4,10	6,40	8,60	12,50	18,00
1,16	1,81	2,83	4,40	6,50	9,30	13,50	19,50
1,25	1,95	3,05	4,70	6,90	10,0	14,50	22,00
1,35	2,10	3,28	5,10	7,00	10,8	15,60	25,00

Размещение проводников в пазу якоря и их изоляция выполняется, как показано на рисунке 7.2. Размеры меди проводников должны быть подобраны таким образом, чтобы отношение высоты паза к ширине (h_n/b_n) находилось в пределах $4 \div 5$. Если высота проводника выходит более $10 \div 12$ мм, то для уменьшения дополнительных затрат принимается два проводника, которые укладываются по высоте один над другим и соединяются одной коллекторной пластиной.

Во всех вариантах проекта следует использовать широко используемую в современных двигателях изоляцию класса нагревостойкости F , которая допускает максимальное превышение температуры обмотки якоря от температуры охлаждающего воздуха 140°C . В этом случае обмотка якоря выполняется из провода 1 (рисунок 7.2) типа ПЭТВСД с эмалеволокнистой витковой изоляцией 2 двухсторонней толщины $0,37 \div 0,50$ мм.

Корпусная изоляция 3 (рисунок 7.2) является основной, и её толщина зависит от напряжения по отношению к корпусу машины, т.е. от максимального напряжения тягового генератора. Эта изоляция изготавливается из стеклослюдяной ленты ЛСФЧ толщиной $0,07 \div 0,10$ мм. При напряжении относительно корпуса до 750 В наматывается три слоя изоляции в полуперекрытие, и в этом случае полная двухсторонняя толщина корпусной изоляции составляет:

$$0,1 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2 = 1,2 \text{ мм.}$$

Покровная изоляция 4 (рисунок 7.2) предназначена для защиты основной корпусной изоляции от механических повреждений. Независимо от уровня напряжения ее выполняют из стеклоленты толщиной $0,10$ мм одним слоем в полуперекрытие или толщиной $0,15$ мм – встык.

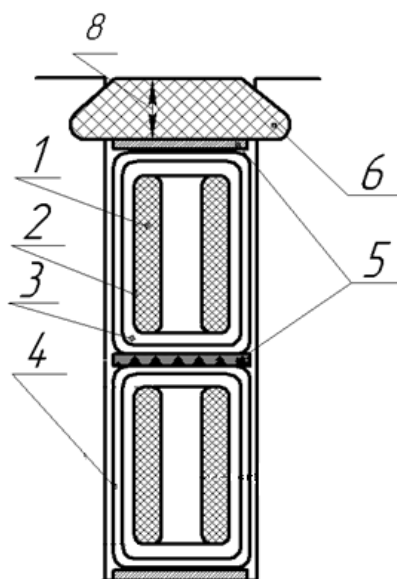


Рисунок 7.2 – Размещение проводников и их изоляция в пазу якоря

При определении места, которое будет занято изоляцией по высоте паза, учитывается еще прокладка 5 из миканита толщиной 0,5 мм, которая укладывается на дно паза, между верхней и нижней катушками, а также между верхней катушкой и клином 6. Кроме того предусматривается место для установки клина 6 по высоте $6 \div 8$ мм, но не менее 5 мм. Зазор на укладку по высоте паза принимается равным $0,15 \div 0,20$ мм, по ширине – $0,20 \div 0,30$ мм.

Таким образом, зная размеры проводников якорной обмотки и их количество, с учетом электрической изоляции одного от другого и от сердечника якоря, определяется высота h_n и ширина b_n паза.

Высота зубца принимается равной высоте паза, т.е. $h_z = h_n$.

Ширина зубца якорного сердечника в основании:

$$b_{z_2} = \frac{\pi \cdot (D_{я} - 2h_z)}{Z} - b_n, \text{ мм.} \quad (7.11)$$

Ширина зубца на высоте $1/3h_z$ от его основания:

$$b_{z_{1/3}} = \frac{\pi \cdot (D_{я} - 1,33h_z)}{Z} - b_n, \text{ мм.} \quad (7.12)$$

Полученные размеры указываются на эскизе, который приводится в проекте. Пример показан на рисунке 7.3.

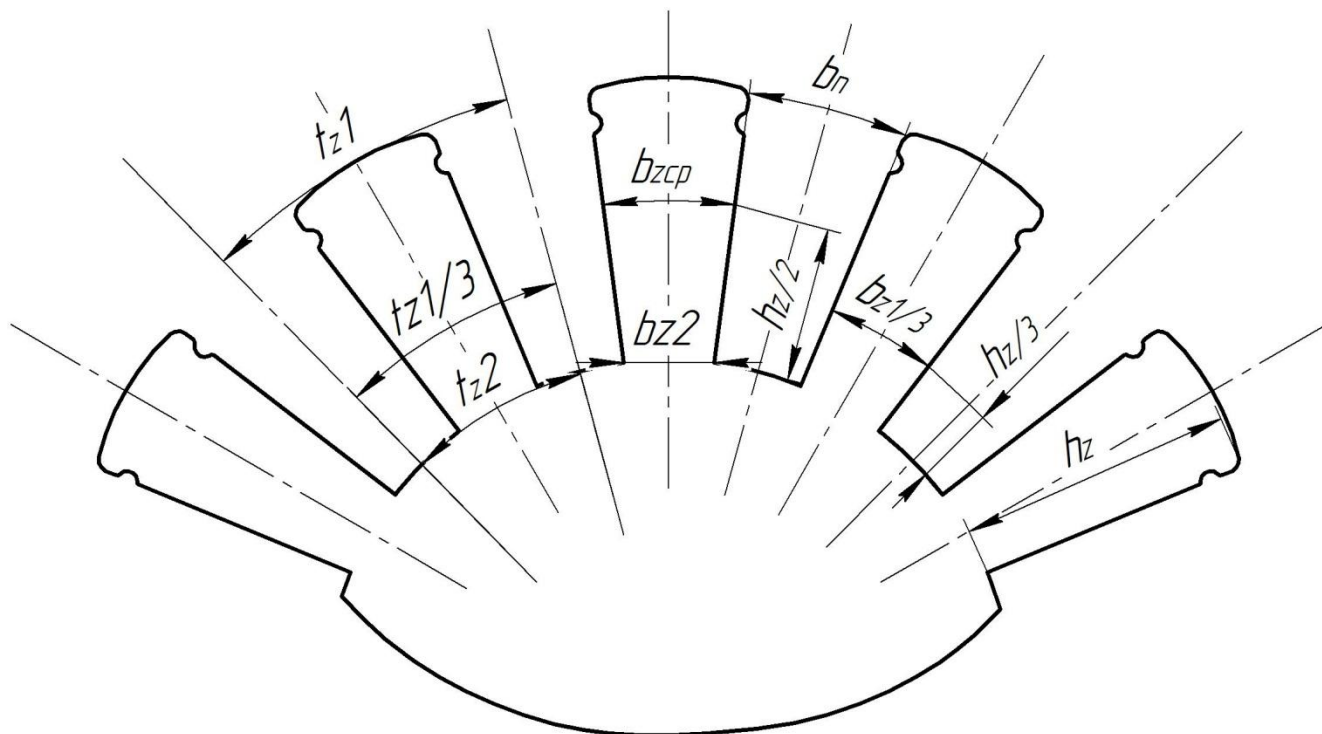


Рисунок 7.3 – Зубчатый слой якоря и его размеры

Зубчатые шаги в миллиметрах, мм:

а) по внешнему диаметру якоря:

$$t_{z_1} = \frac{\pi \cdot D_{\text{я}}}{Z}; \quad (7.13)$$

б) по дну паза:

$$t_{z_2} = \frac{\pi \cdot (D_{\text{я}} - 2h_z)}{Z}; \quad (7.14)$$

в) на 1/3 высоты паза от основания:

$$t_{z_{1/3}} = \frac{\pi \cdot (D_{\text{я}} - 1,33h_z)}{Z}. \quad (7.15)$$

Для окончательного суждения о правильности выбранных размеров проводника и паза якоря следует определить магнитную индукцию в сечении зубца, взятом на 1/3 высоты зубца от основания. Расчетное сечение зубцов для прохождения магнитного потока, м²:

$$Q_{z_{1/3}} = \alpha \cdot \frac{Z}{2p} \cdot b_{z_{1/3}} \cdot L_{\text{я}} \cdot k_c, \quad (7.16)$$

где $k_c = 0,97$ – коэффициент, учитывающий изоляцию листов пакета якоря из электрических сталей марок Э11, Э12, Э1300, Э1300А;
 α – коэффициент полюсного перекрытия.

Основной магнитный поток машины в веберах Вб:

$$\Phi_o = \frac{0,96U_{\text{дн}} \cdot 60a}{N \cdot p \cdot n_{\text{н}}}, \quad (7.17)$$

где $U_{\text{дн}}$ – напряжение тягового двигателя в длительном режиме (определяется в соответствии со схемой соединения двигателей и тягового генератора), В;

$0,96 U_{\text{дн}} = E$ – электродвижущая сила (ЭДС) машины в длительном режиме, В;

$n_{\text{н}}$ – частота вращения якоря в длительном режиме, об/мин.

Магнитная индукция в сечении зуба на $1/3$ высоты паза в $Tл$,

$$B_{z_{1/3}} = \frac{\Phi_o}{Q_{z_{1/3}}}. \quad (7.18)$$

Полученное значение не должно превышать $2,3 Tл$.

Сопротивление обмотки якоря при $20^\circ C$, в $Ом$:

$$r_{я20^\circ C} = \frac{l \cdot N}{57 g_{я} (2a)^2}, \quad (7.19)$$

где $1/57$ – удельное сопротивление обмоточной меди при $+20^\circ C$, $\frac{Ом \cdot мм^2}{м}$;

l – длина проводника, $м$ ($l = L_{я} + 1/3\tau$);

$g_{я}$ – площадь сечения проводника обмотки, $мм^2$.

Сопротивление обмотки якоря при $100^\circ C$:

$$r_{я100^\circ C} = 1,34 r_{я20^\circ C}. \quad (7.20)$$

8 ВЫБОР ЧИСЛА И РАЗМЕРОВ ЩЕТОК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ ДЛИНЫ КОЛЛЕКТОРА

Число щеткодержателей принимается равным числу главных полюсов ($2p_{щ} = 2p$).

Плотность тока под щеткой в современных тепловозных двигателях выбирается в пределах $\Delta_{щ} = 11 \div 15 \text{ А/см}^2$.

Площадь соприкосновения щеток одного щеткодержателя с коллектором в $см^2$:

$$Q_{щ} = \frac{I_{дн}}{\Delta_{щ} \cdot p_{щ}}. \quad (8.1)$$

Задаваясь величиной щеточного перекрытия $\gamma = \frac{b_{щ}}{t_k} = 2 \div 5$, определяем ширину щетки в $см$: $b_{щ} = \gamma t_k$.

Длина щетки в сантиметрах:

$$l_{щ} = \frac{Q_{щ}}{n_{щ} \cdot b_{щ}}, \quad (8.2)$$

где $n_{щ}$ – количество щеток в одном щеткодержателе.

Обычно щетки тяговых электродвигателей имеют ширину 10; 12,5; 16; 20; 25 мм и длину 32; 40; 50 мм. Количество щеток в одном щеткодержателе выбирают в пределах $n_{щ} = 2 \div 4$.

Полная длина коллектора в сантиметрах, см:

$$L_{к} = n_{щ} \cdot l_{щ} + 1,5. \quad (8.3)$$

Окончательно:

$$Q_{щ} = n_{щ} \cdot b_{щ} \cdot l_{щ}, \text{ см}^2; \quad (8.4)$$

$$\Delta_{щ} = \frac{I_{дн}}{Q_{щ} \cdot p_{щ}}, \text{ А/см}^2. \quad (8.5)$$

По условиям прочности коллектор проверяется на максимальную окружную скорость:

$$v_{k \max} = \frac{\pi \cdot D_{кол} \cdot n_{\max}}{60} \leq 55 \text{ м/с}, \quad (8.6)$$

где n_{\max} – частота вращения якоря двигателя при максимальной (конструкционной) скорости тепловоза, об/мин.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Луков Н.М., Стрекопытов В.В., Рудая К.И. Передачи мощности тепловозов: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. Н.М. Лукова. – М.: Транспорт, 1987. – 279 с.

2 Колесник И.К. Электропередачи тепловозов на переменном-постоянном токе / И.К. Колесник, Т.Ф. Кузнецов, В.И. Липовка и др.– М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 156 с.

3 Гаккель Е.Я., Рудая К.И. Проектирование и расчет электрической передачи тепловоза. – М.: Транспорт, 1972. – 152 с.

4 Проектирование тяговых электрических машин / Находкин М.Д., Василенко Г.В., Бочаров В.И., Козорезов М.А. / Под ред.. М.Д. Находкина. – М.: Транспорт, 1981. – 624 с.

5 Стрекопытов В.В., Грищенко А.В., Кручек В.А. Электрические передачи локомотивов: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. Стрекопытова В.В. – М.: Маршрут, 2003. – 310 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Справочные данные электрооборудования локомотивов

Таблица А.1 – Мощность, которую использует вспомогательное оборудование тепловозов, *кВт*

Наименование оборудования	Серия тепловоза						
	2ТЭ10В 2ТЭ10М	ТЭП60	ТЭП70	ТЭМ2	ТЭМ7	ТЭ109	2ТЭ116
Вентиляторы холодильника дизеля	121,4	132,5	166,9	37,5	56,6	107,5	183,2
Вентиляторы охлаждения тяговых электродвигателей	22,0	22,1	-	8,8	70,0	25,0	47,3
Вентилятор охлаждения тягового генератора	18,4	18,1	74,1	-	-	22,8	34,5
Компрессор	44,2	37,5	-	36,8	35,0	46,4	-
Двухмашинный агрегат	27,2	32,6	43,3	11,4	13,0	33,9	50,0
Прочее оборудование	5,5	1,3	-	-	19,0	11,8	-
Общая мощность всего вспомогательного оборудования	238,7	244,1	284,3	97,5	193,6	247,4	315,0
Доля от мощности дизеля, %	10,9	11,1	9,7	10,7	13,2	11,2	14,3
Примечание – Мощность приведена к коленчатому валу дизеля. Для каждого агрегата указана максимальная мощность.							

Таблица А.2 – Основные технические данные тяговых генераторов постоянного тока

Показатели		Ед. измерения	Тип генератора				
			ГПЗ11БУ	ГПЗ00БУ	ТД-802	ГПЗ11БУ	ГПЗ12У
Серия тепловоза			2ТЭ10В 2ТЭ10М	ТЭМ2	ЧМЭЗ	ТЭП60	2М62
Мощность		<i>кВт</i>	2000	780	885	2000	1270
Напряжение	длительное	<i>В</i>	465	645	377	462	356
	максимальное	<i>В</i>	700	870	565	635	570
Ток длительный		<i>А</i>	4320	1210	2350	4320	3570
Максимальная угловая скорость якоря		<i>рад/с</i>	89,0	78,5	78,5	78,5	78,5
КПД		<i>%</i>	93,8	94,0	-	95,4	94,5
Масса		<i>кг</i>	8700	4800	4700	9000	7400
Вращательный момент		<i>10³Н м</i>	224,7	9,94	11,27	20,96	16,18
Показатель массы	C_m	<i>кг/Н м</i>	0,387	0,483	0,417	0,429	0,457
	C_p	<i>кг/кВт</i>	4,35	6,15	5,31	4,72	5,83

Таблица А.3 – Основные технические данные тяговых синхронных генераторов

Показатели		Ед. измерения	Тип генератора		
			ГС501АУ1	ГС504А	ГС515У2
Серия тепловоза			2ТЭ116	ТЭП70	ТЭМ7
Мощность		<i>кВт</i>	2190	2750	1400
Напряжение	длительное	<i>В</i>	300	360	175
	максимальное	<i>В</i>	535	580	280
Ток длительный		<i>А</i>	2×2440	2×2400	2×2500
Максимальная угловая скорость якоря		<i>рад/с</i>	104,6	104,6	104,6
КПД		<i>%</i>	93,8	95,0	95,5
Масса		<i>кг</i>	6000	6500	4800
Вращательный момент		<i>10³Н м</i>	209,4	262,9	133,8
Показатель массы	<i>C_м</i>	<i>кг/Н м</i>	0,287	0,247	0,359
	<i>C_р</i>	<i>кг/кВт</i>	2,74	2,36	3,43

Таблица А.4 – Основные технические данные тяговых агрегатов тепловозов

Показатели		Ед. измерения	Тип тягового агрегата					
			А711У2		А713У2		А714УХЛ	
			ТГ	ВГ	ТГ	ВГ	ТГ	ВГ
Серия тепловоза			ТЭ120		ТЭП75		2ТЭ121	
Мощность		<i>кВт</i>	2800	400	4060	810	2800	630
Напряжение	длительное	<i>В</i>	350	400	525	215	366	400
	максимальное	<i>В</i>	575	-	770	-	580	-
Ток длительный		<i>А</i>	2×2480	2×258	2×2440	2×1160	2×2400	2×570
Максимальная угловая скорость		<i>рад/с</i>	104,6	104,6	115,1	115,1	104,6	104,6
КПД		<i>%</i>	-	-	-	-	-	-
Масса		<i>кг</i>	6500		9200		8200	
Вращательный момент		<i>10³Н м</i>	305,9		423,1		327,9	
Показатель массы	<i>C_м</i>	<i>кг/Н м</i>	0,212		0,217		0,250	
	<i>C_р</i>	<i>кг/кВт</i>	2,03		1,89		2,39	
Примечание – ТГ – тяговый генератор, ВГ – вспомогательный генератор								

Таблица А.5 – Основные параметры тяговых электродвигателей локомотивов

Тип ТЭД	Мощность, кВт	Напряжение, В		Ток, А			Частота вращения, рад/с	КПД макс, %	Масса, кг	Статичное давление охлаждающего воздуха, Па	Расход охлаждающего воздуха, м ³ /с	Централь, мм	Серия локомотива
		ном.	макс.	ном.	мин.	макс.							
Тепловозы													
ЭД108А	305	475	635	700	525	1100	195	91,5	3350	1180	1,17	520	ТЭП60
ЭД118А	305	463	700	720	476	1100	233	91,5	3100	1570	1,33	468,8	2ТЭ116, 2ТЭ10В, 2ТЭ10М
ЭД118Б	305	463	700	720	476	1100	240	91,6	3100			468,8	То же
ЭД121	413	542	750	830	600		243	91,8	2950	1374	1,67	502	ТЭП70
ЭД120АУ1	136	208	360	456	790	1160	198	83,0	3000		1,5		ТЭМ7
ТЭ006	123/134	197	283	750	522		275		2540				ЧМЭ3
Электровозы переменного тока													
НБ412К	675/755	1600	1850	450	515		175	94,0/93,4	4850	590	1,83	617,5	ВЛ60
НБ418К6	740/790	950	1180	820	880		214	94,8/94,5	4350	2160	1,75	594	ВЛ80
НБ407Б	720/755	1500	1925	510	535		172	-/94,1	5000	1230	1,42	632	ВЛ82
НБ514	780/835	980	-	843	905		97/95	94,5/94,1	4300				ВЛ85
АЛ4442Нр	820/850	800	-	1100	1140		127/125	93,7/93,6	2950				ЧС4
Электровозы постоянного тока													
ТЛ2К1	575/670	1500	1500	410	480			93,6/93,1	5000	-	13,58	617,5	ВЛ11
ТЛ3	700/750	1500	1500	-	-		85/83	93,5/-	5000				ВЛ15
НБ406	470/525	1500	1500	380	340		80/77	92,1/92,0	5400				ВЛ8
АЛ4846еТ	618/700	1500	1500	435	495		75/71	94,8/94,3	5250			726	ЧС2

Рябко Константин Александрович
Паламарчук Николай Владимирович
Горобченко Александр Николаевич
Кривошея Юрий Владимирович
Рябко Евгения Владимировна

**РАСЧЁТ ПЕРЕДАЧИ МОЩНОСТИ
ТЕПЛОВОЗА С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
для выполнения курсового проекта по дисциплине
«ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ ЛОКОМОТИВОВ»

Ответственный за выпуск Гончарова Д.С.
Технический редактор Пасько Л.С.

Подписано к печати 30.09.2016.
Формат 60×84/16. Бумага офисная. Гарн. Times New Roman.
Печать на ксероксе
Услов. печ. лист. 1,8 Тираж 35 экз. Заказ № .

Донецкий институт железнодорожного транспорта

Напечатано в типографии ДОНИЖТ
283018, г. Донецк – 18, ул. Горная, 6.
