

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
МИНИСТЕРСТВА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

13/6/2

Одобрено кафедрой
«Локомотивы
и локомотивное хозяйство»

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ ЛОКОМОТИВОВ

Задание на курсовой проект
с методическими указаниями
для студентов V курса

специальности
150700 ЛОКОМОТИВЫ (Т)



Москва - 2004

Рецензент — канд. техн. наук А.В. СКАЛИН

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

В процессе изучения дисциплины "Электрические передачи локомотивов" студент согласно учебному плану выполняет курсовой проект. При выполнении курсового проекта следует руководствоваться приводимыми ниже методическими указаниями, а также учебниками, учебными пособиями и другой литературой. Перечень рекомендуемой литературы приведен в конце данных методических указаний.

Курсовой проект должен состоять из графических работ (графиков, электрических схем) и пояснительной записки. Графики входят в пояснительную записку.

Пояснительная записка является техническим документом и оформляется в соответствии со стандартами ЕСКД. Поясняющий текст и расчеты помещаются на одной стороне листов бумаги формата (297 x 210 мм). Линии рамки должны проводиться от правой, верхней и нижней сторон листов на расстоянии 5 мм, а от левой стороны - на расстоянии 20 мм.

Первым листом записки является титульный лист. Он оформляется в соответствии с рис. 1. За титульным листом следует заглавный лист записки (рис. 2).

В правом нижнем углу заглавного листа помещается основная надпись (рис. 3). При заполнении ее в графе 1 указывается тема проекта, в графе 4 - литера "у" (учебный); в графе 9 - сокращенное название вуза (РГОТУПС), в графе 2 - обозначение документа, то есть курсового проекта (сокращенно КП), а через тире - шифр специальности (специальность "Локомотивы" имеет шифр 150700). Далее в эту графу через точки вписываются учебный шифр студента, год курсового проектирования (две последние цифры) и индекс документа (например, ПЗ - пояснительная записка). В правом нижнем углу каждого чертежа помещается основная надпись (рис. 4).

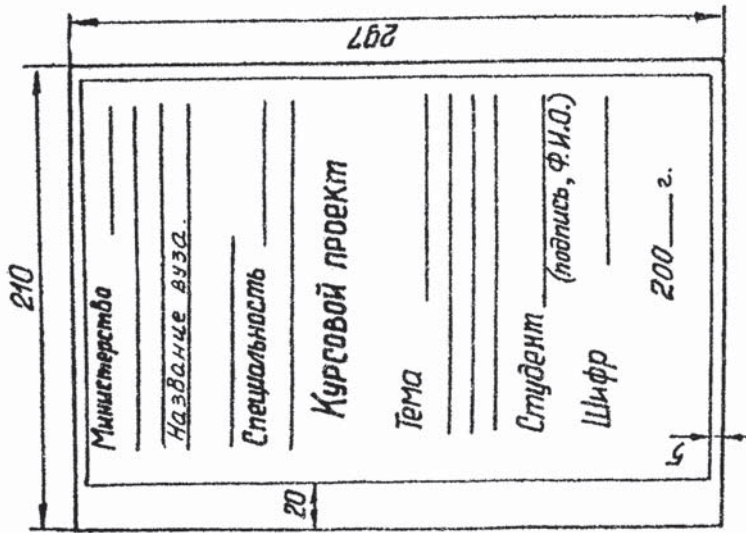


Рис. 1. Титульный лист курсового проекта

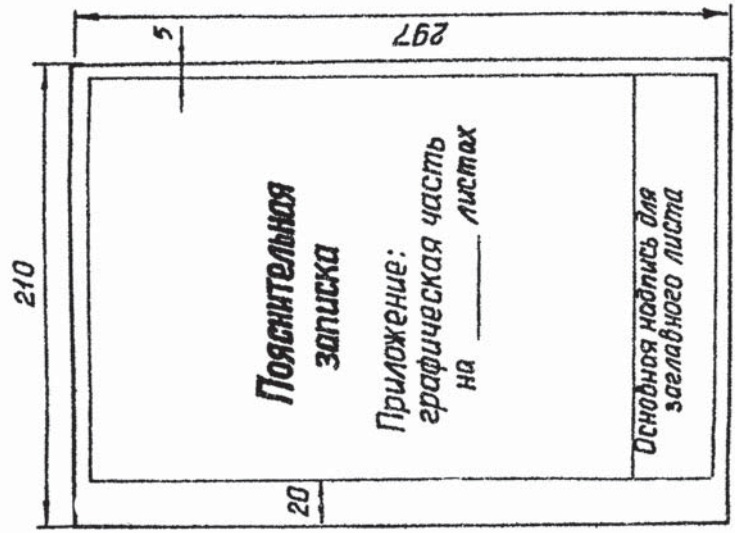


Рис. 2. Заглавный лист пояснительной записки

Текст пояснительной записки должен быть написан чернилами разборчивым почерком или набран на персональном компьютере (напечатан на пишущей машинке). Расстояние от текста до линии рамки в начале строк - не менее 5 мм, в конце строк - не менее 3 мм, от верхней или нижней строки текста - не менее 10мм.

Наименования частей и разделов должны быть краткими, соответствовать содержанию и выделяться в красную строку; перенос слов в заголовках не допускается; точку в конце заголовка не ставят; если заголовок состоит из двух предложений, то их разделяют точкой. Расстояние между заголовком и последующим текстом при написании на машинке должно равняться трем интервалам, а при написании от руки - 10 мм.

За заглавным листом пояснительной записки помещают оглавление с указанием начальных страниц разделов и подразделов.

Сокращение слов в тексте и надписях к иллюстрациям не допускается. При выполнении расчетов формулы должны быть вынесены из общего текста в отдельную строку. Условные буквенные обозначения различных расчетных величин в формулах, а также условные графические обозначения должны соответствовать установленным стандартам. Расшифровка буквенных обозначений и числовых коэффициентов дается непосредственно за формулой в той последовательности, в какой они приведены в формуле. Первая строка расшифровки должна начинаться со слова "где" без двоеточия после него; значения следующих символов даются с новой строки. Если буквенные обозначения были использованы ранее, и их смысл не изменился, то повторять разъяснение не требуется.

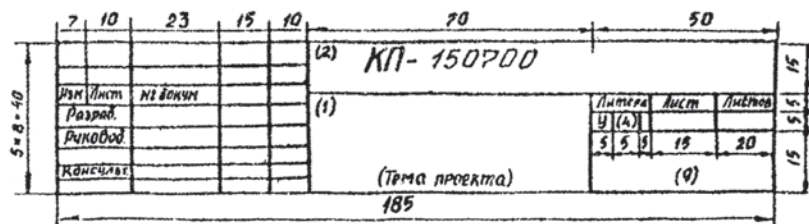


Рис. 3. Основная надпись для заглавного листа пояснительной записки

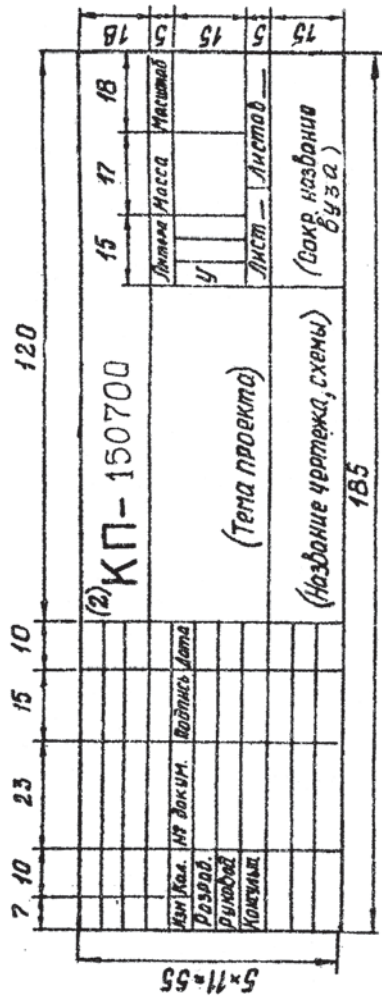


Рис. 4. Основная надпись для чертежей (схем)

Иллюстрации к соответствующим частям текста могут быть расположены по тексту записки или в конце ее (в приложении). Все иллюстрации нумеруются арабскими цифрами.

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

1. Содержание курсового проекта

В курсовом проекте следует:

определить основные расчетные режимы работы электрической передачи;

рассчитать и построить зависимости тока и напряжения в силовой цепи от скорости движения;

разработать силовую схему электрической передачи;

определить основные параметры тяговой выпрямительной установки;

определить основные параметры тяговых электродвигателей;

рассчитать и построить электромеханические характеристики тяговых двигателей;

выбрать и описать работу системы регулирования напряжения возбуждения тягового генератора;

определить основные параметры электрического тормоза, построить области тормозных режимов работы электрического тормоза;

выбрать силовую схему электрического тормоза и описать ее работу.

В пояснительную записку должны быть обязательно включены следующие графические материалы: предельная характеристика "напряжение - ток", зависимость тока, зависимость напряжения на выходе тяговой выпрямительной установки от скорости движения, магнитная характеристика тягового электродвигателя, электромеханические характеристики тягового электродвигателя, области режимов работы электрического тормоза. Эти графические материалы выполняются на милли-

метровой бумаге с применением стандартных масштабов (табл. 1) на листах формата 297 x 210 мм и вшиваются в пояснительную записку. Кроме того, на листах чертежной бумаги формата 297 x 420 мм вычерчиваются: силовая электрическая схема передачи в тяговом режиме, силовая электрическая схема передачи в тормозном режиме, электрическая схема системы регулирования возбуждения тягового генератора.

Рекомендуемые масштабы при выполнении курсового проекта:

Скорость движения $1 \text{ км/ч} = k$, мм	1; 2
Сила тяги, тормозная сила $10 \text{ кН} = m$, мм	1; 2; 5; 10
Ток $100 \text{ А} = n$, мм	1; 2; 5; 10; 20
Напряжение $10 \text{ В} = p$, мм	1; 2
Магнитный поток $0,1 \text{ Вб} = q$, мм	100

2. Исходные данные и выбор варианта задания

Главные исходные данные для выполнения курсового проекта приведены в табл. 1. Соответствующий вариант задания выбирается по двум последним цифрам шифра студента и при этом необходимо руководствоваться следующим. Студенты, две последние цифры шифра которых находятся в диапазоне 01 - 50, должны принять номер варианта в точном соответствии с этими цифрами. Студенты, две последние цифры шифра которых находятся в диапазоне 51 - 99, определяют номер варианта, вычитая из этих цифр число 50. Студент, у которого две последние цифры шифра 00, принимает вариант 50.

Во всех вариантах задания следует принять электрическую передачу переменного-постоянного тока (синхронный тяговый генератор -тяговая выпрямительная установка - тяговые электродвигатели постоянного тока).

В вариантах № 01 - 20 следует принять диаметр бандажей колесной пары по кругу катания $D_k = 1050 \text{ мм}$; в вариантах № 22, 26, 29, 34, 38, 42, 49 - $D_k = 1220 \text{ мм}$; в остальных вариантах $D_k = 1250 \text{ мм}$.

Таблица 1

Исходные данные

Номер варианта	Касательная мощность N_s , МВт	Следной вес $P_{св}$, МН	Коэффициент тяги ψ_t	Число тяговых электродвигателей С	Максимальная скорость, до которой электрическая передача полностью использует мощность первичного двигателя, $V_{пв}$, км/ч	Конструкционная скорость V_c , км/ч	Передачное число тягового редуктора μ_2
1	2	3	4	5	6	7	8
01	0,6	1,0	0,12	6	70	100	4,13
02	0,7	1,0	0,12	6	70	100	4,11
03	0,8	1,1	0,13	6	80	100	3,68
04	0,9	1,1	0,13	6	80	100	3,68
05	1,0	1,2	0,14	6	90	100	4,69
06	1,1	1,0	0,13	6	140	140	2,27
07	1,2	1,2	0,15	6	90	100	4,69
08	1,3	1,8	0,15	8	80	100	4,41
09	1,4	1,3	0,16	6	100	100	4,41
10	1,5	1,3	0,16	6	100	100	4,41
11	1,6	1,3	0,17	6	100	100	4,33
12	1,7	1,4	0,17	6	100	100	4,33
13	1,8	1,2	0,15	6	160	160	1,75
14	1,9	1,4	0,18	6	100	100	4,69
15	2,0	1,8	0,16	8	100	100	4,41
16	2,1	1,4	0,19	6	100	100	4,69
17	2,2	1,3	0,15	6	160	160	1,75
18	2,3	1,5	0,20	6	100	100	4,45
19	2,4	1,5	0,21	6	100	100	4,41
20	2,5	1,5	0,21	6	100	100	3,90
21	2,6	1,5	0,22	6	100	100	4,11
22	2,7	1,4	0,16	6	160	160	2,27
23	2,8	1,6	0,23	6	100	100	4,69
24	2,9	1,6	0,23	6	100	100	4,41
25	3,0	1,6	0,24	6	100	100	4,33
26	3,1	1,4	0,16	6	160	160	1,75
27	3,2	1,7	0,24	6	100	110	4,69
28	3,3	1,7	0,24	8	100	110	4,41
29	3,4	1,8	0,16	8	160	160	2,27
30	3,5	1,7	0,24	8	100	110	4,69

1	2	3	4	5	6	7	8
31	3,6	1,7	0,25	8	110	110	4,45
32	3,7	1,8	0,25	8	110	110	4,41
33	3,8	1,8	0,25	8	110	110	4,69
34	3,9	1,8	0,16	8	180	180	1,75
35	4,0	1,8	0,25	8	110	110	4,45
36	4,1	1,8	0,25	8	110	110	4,41
37	4,2	1,9	0,25	8	110	110	4,33
38	4,3	1,8	0,16	8	180	180	2,27
39	4,4	1,9	0,26	8	100	110	4,69
40	4,5	1,9	0,26	8	110	110	4,33
41	4,6	2,0	0,26	8	110	110	4,41
42	4,7	1,8	0,17	8	200	200	1,75
43	4,8	2,0	0,26	8	110	110	4,45
44	4,9	2,1	0,26	8	110	110	4,69
45	5,0	2,1	0,26	8	110	110	4,69
46	5,1	2,1	0,26	8	120	120	4,69
47	5,2	2,2	0,27	8	90	120	4,45
48	5,3	2,2	0,26	8	90	120	4,69
49	5,4	1,8	0,17	8	220	220	1,75
50	5,5	2,2	0,27	8	90	120	4,69

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

1. Определение основных параметров электрической передачи

Расчетная сила тяги в кН определяется из условий реализации коэффициента тяги на расчетном подъеме, т. е.

$$F_{кр} = P_{сч} \Psi_{т} 10^3,$$

где $P_{сч}$ - сцепной вес, МН;

$\Psi_{т}$ - коэффициент тяги на расчетном подъеме.

Коэффициентом тяги называется максимальный коэффициент сцепления, который реализуется тепловозом на расчетном подъеме при движении с составом расчетной массы *без боксования*.

Коэффициент тяги зависит от сцепных качеств тепловоза и эффективности противобоксовочных средств. Современные грузовые тепловозы с хорошими тяговыми свойствами характеризуются высокими значениями коэффициента тяги. Такие тепловозы реализуют на расчетном подъеме силу тяги, составляющую до 25 % от сцепного веса локомотива. В перспективе следует ожидать повышения коэффициента тяги до 0,27.

Скорость на расчетном подъеме в км/ч (скорость продолжительного режима, или расчетная скорость - ограничение по нагреву тяговых электрических машин) определяется по формуле

$$V_p = \frac{3,6N_k 10^3}{F_{кр}}$$

где N_k - касательная мощность, МН.

Степень регулирования электрической передачи по скорости тепловоза характеризуется коэффициентом регулирования по скорости, определяющимся как отношение максимальной скорости, до которой электрическая передача полностью использует мощность первичного двигателя (дизеля), к скорости продолжительного режима (расчетной скорости),

$$C_v = \frac{V_m}{V_p}$$

Выбирают предварительно схему соединения тяговых электродвигателей к зажимам выпрямительной установки. В отечественном тепловозостроении для тепловозов малой и средней мощности ($N_k < 1,4$ МВт) применяют постоянное последовательно-параллельное соединение тяговых электродвигателей.

Для тепловозов большей мощности - постоянное параллельное соединение тяговых электродвигателей.

Далее задаются предварительно коэффициентом регулирования тягового генератора по напряжению. При передаче переменного-постоянного тока коэффициент равен отношению

$$k_r = \frac{u_{d\max}}{u_{dн}},$$

где $u_{d\max}$ - максимальное напряжение на выходе тяговой выпрямительной установки (высшее номинальное напряжение);
 $u_{dн}$ - напряжение продолжительного режима на выходе выпрямительной установки (низшее номинальное напряжение).

Коэффициент регулирования по напряжению k_r для вариантов задания № 01 - 37 выбирают в диапазоне 1,4 ÷ 1,6. В вариантах № 38 - 50 следует принимать $k_r = 1,6 \div 2,0$.

Задаются максимальным напряжением на зажимах тяговой выпрямительной установки. Принятые системы изоляции агрегатов и узлов силовых цепей тепловозных электрических передач рассчитаны на максимальное напряжение до 1000 В. Максимальное напряжение принимают ниже указанной цифры, учитывая возможные перенапряжения при нестационарных процессах. Для тепловозов с последовательно-параллельной схемой соединения тяговых двигателей $u_{d\max} = 750 \div 900$ В. Для тепловозов с параллельным соединением тяговых двигателей $u_{d\max} = 700 \div 750$ В. В вариантах № 38 - 50 следует принимать $u_{d\max} = 1500$ В. Это соответствует современным тенденциям в области тепловозных электрических передач переменного-постоянного тока.

Определяют мощность на выходе тяговой выпрямительной установки в МВт

$$P_d = \frac{N_k}{\eta_{д\text{ об. кол}}},$$

где $\eta_{д\text{ об. кол}} = 0,9$ - КПД тягового электродвигателя, отнесенный к ободу колес.

Напряжение на зажимах тяговой выпрямительной установки в продолжительном режиме (номинальное напряжение низшее), В,

$$u_{dн} = \frac{u_{d\max}}{k_r}.$$

Ток на выходе тяговой выпрямительной установки (выпрямленный ток) в продолжительном режиме (ток при низшем напряжении), А,

$$I_{dн} = \frac{P_d \cdot 10^6}{u_{dн}}.$$

Выпрямленный ток при высшем напряжении (минимальный выпрямленный ток), А,

$$I_{d\min} = \frac{P_d \cdot 10^6}{u_{d\max}}.$$

Максимальный выпрямленный ток, допускаемый временно по условиям коммутации тяговых электродвигателей, А,

$$I_{d\max} = 1,5I_{dн}.$$

По полученным данным строят предельную характеристику "ток - напряжение на выходе тяговой выпрямительной установки", ограничиваемую гиперболой $u_d I_d = P_d \cdot 10^6 = \text{const}$ и прямыми $u_{d\max}$ и $I_{d\max}$, как показано на рис. 5. На гиперболе отмечают точку с координатами $u_{dн}$ и $I_{dн}$.

Для того, чтобы обеспечить полное использование мощности первичного двигателя (дизеля) в требуемом диапазоне скоростей движения тепловоза, определяемом коэффициентом регулирования электрической передачи по скорости, помимо регулирования тягового генератора по напряжению в соответствии с принятым коэффициентом k_r , если необходимо, следует применить и регулирование тяговых электродвигателей путем ослабления их возбуждения. Степень ослабления возбуждения оцени-

вают коэффициентом, определяющимся как отношение тока возбуждения главных полюсов тяговых электродвигателей к току якоря,

$$\alpha = \frac{I_a}{I_n},$$

где I_a - ток в отмотке возбуждения главных полюсов тяговых электродвигателей;

I_n - ток якоря тягового электродвигателя.

Первоначально определяют минимальное значение коэффициента ослабления возбуждения, необходимое для обеспечения работы электрической передачи при постоянстве мощности первичного двигателя (дизеля) в заданном диапазоне скоростей вплоть до скорости V_m , по формуле

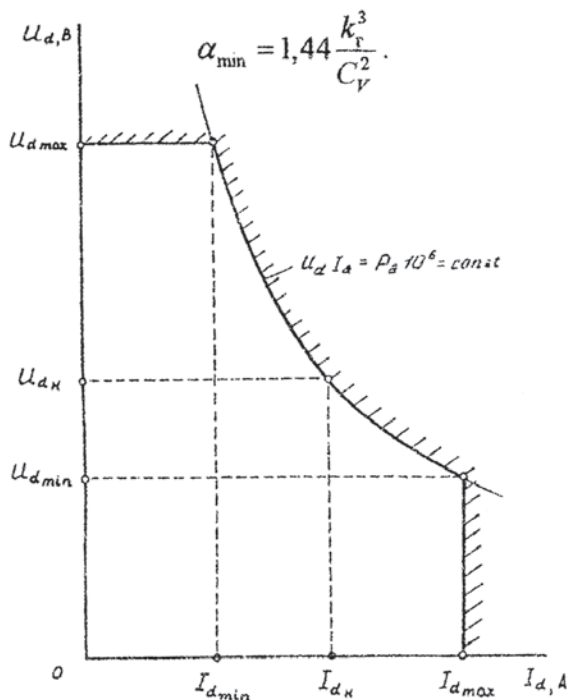


Рис. 5. Предельная характеристика «ток - напряжение»

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

На отечественных серийных тепловозах ослабление возбуждения производится путем включения параллельно обмоткам возбуждения главных полюсов тяговых электродвигателей резисторов ослабления возбуждения. Если $\alpha_{\min} < 0,5$, то применяют две ступени ослабления возбуждения, то есть вводят промежуточную ступень ослабления возбуждения, коэффициент которой определяют по формуле

$$\alpha_1 = \frac{\sqrt{\alpha_{\min}}}{1,2}.$$

Промежуточную ступень ослабления возбуждения тяговых электродвигателей (ОВ1) применяют, чтобы избежать резких бросков тока в силовой цепи (при переходе с полного на ослабленное возбуждение), превышающих ток продолжительного режима, и снизить динамические воздействия на состав.

Если $\alpha_{\min} > 0,5$, то ограничиваются одной ступенью ослабления возбуждения и определяют

$$\alpha_1 = \alpha = \frac{k_r^3}{C_V^2}.$$

Если при этом $\alpha \geq 1,0$, то это значит, что нет необходимости в применении способа регулирования электрической передачи путем ослабления возбуждения тяговых электродвигателей. В этом случае определяют требуемый коэффициент регулирования тягового генератора по напряжению:

$$k_r = C_V^{\frac{2}{3}}.$$

Следует помнить, что увеличение коэффициента регулирования тягового генератора ведет к увеличению габаритов и массы этой электрической машины, снижении же диапазона ре-

гулирования тягового генератора по напряжению позволяет уменьшить габариты и массу генератора.

Далее строят зависимости $I_d = f(V)$ и $u_d = f(V)$ (рис. 6 и 7), исходя из следующего.

Если применены две ступени ослабления возбуждения тяговых электродвигателей, эти зависимости определяют по формулам:

при полном возбуждении (ПВ):

$$I_d = I_{dн} \left(\frac{V_p}{V} \right)^{\frac{2}{3}}; \quad u_d = u_{dн} \left(\frac{V}{V_p} \right)^{\frac{2}{3}}; \quad (1)$$

при первой ступени ослабления возбуждения (ОВ1):

$$I_d = I_{dн} \left(\frac{V_p}{V \sqrt{\alpha_1}} \right)^{\frac{2}{3}}; \quad u_d = u_{dн} \left(\frac{V \sqrt{\alpha_1}}{V_p} \right)^{\frac{2}{3}}; \quad (2)$$

при второй ступени ослабления возбуждения (ОВ2):

$$I_d = I_{dн} \left(\frac{1,2V_p}{V \sqrt{\alpha_{\min}}} \right)^{\frac{2}{3}}; \quad u_d = u_{dн} \left(\frac{V \sqrt{\alpha_{\min}}}{1,2V_p} \right)^{\frac{2}{3}}. \quad (3)$$

Значения I_d и u_d рассчитывают для нескольких значений скорости V движения, которыми задаются произвольно ($V = 20, 30, 40, \dots, 70$ и т.д., км/ч), результаты расчетов сводят в таблицу, затем строят графики зависимостей $I_d(V)$ и $u_d(V)$.

Если применена только одна ступень ослабления возбуждения тяговых электродвигателей, то формула (3) из расчетов исключается.

Если вообще нет необходимости в регулировании путем ослабления возбуждения тяговых электродвигателей, то из расчетов исключаются формулы (2) и (3).

На построенные графики токовой характеристики $I_d = f(V)$ наносят линию ограничения максимального выпрямленного тока (ограничение по коммутации тяговых электродви-

гателей) $I_{d\max}$ и точки перехода с полного возбуждения тяговых электродвигателей на ослабленное возбуждение промежуточной ступени (если она имеется) и с промежуточной на ослабленное возбуждение второй ступени. Скорости переходов можно найти графически или по формулам:

$$V_1 = 0,71V_p k_r^{1,5};$$

$$V_2 = 0,71V_p \frac{k_r^{1,5}}{\sqrt{\alpha_1}}.$$

В вариантах, в которых $V_m < V_k$, в диапазоне скоростей от V_m до V_k напряжение на зажимах тяговой выпрямительной установки поддерживается постоянным и равным максимальному, а ток на выходе тяговой выпрямительной установки уменьшается по мере роста скорости в соответствии с формулой

$$I_d = 1,2 \frac{V_p}{\alpha_{\min}^{0,5}} \cdot \frac{I_{d\max}^{1,5}}{I_{d\min}^{0,5}} \cdot \frac{1}{V}.$$

Формула получена в предположении, что магнитопровод тягового электродвигателя при высоких скоростях ненасыщен.

2. Разработка принципиальной силовой электрической схемы передачи

В предыдущем разделе была выбрана принципиальная схема соединения тяговых электродвигателей. В данном разделе следует разработать и вычертить принципиальную силовую электрическую схему передачи в соответствии со схемой соединения. На схеме должны быть показаны обмотка якоря синхронного тягового генератора, тяговая выпрямительная установка, якоря тяговых электродвигателей, обмотки возбуждения их главных и добавочных полюсов, главные контакты поездных контакторов, главные контакты реверсора, главные контакты контакторов и резисторы ослабления возбуждения тяговых электродвигателей.

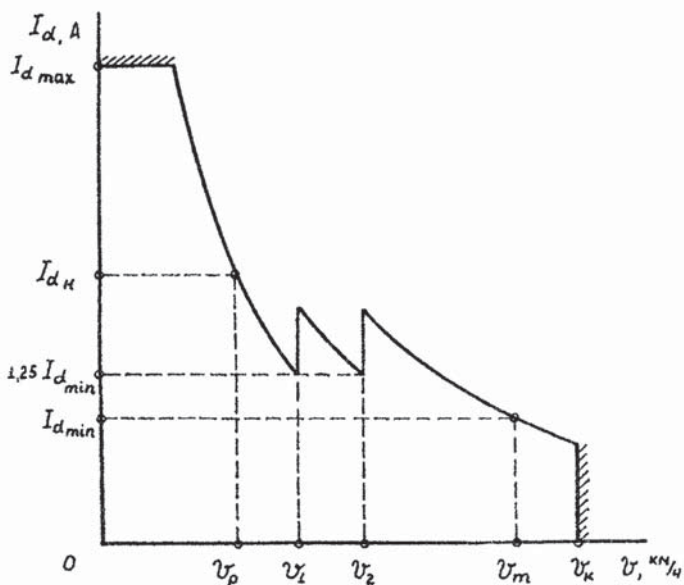


Рис. 6. Зависимость тока на выходе тяговой выпрямительной установки (выпрямленного тока) от скорости движения

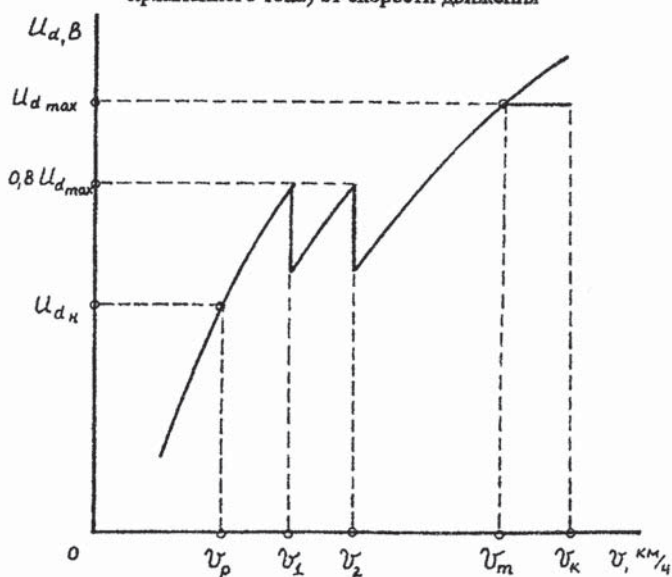


Рис. 7. Зависимость напряжения на зажимах тяговой выпрямительной установки (выпрямленного напряжения) от скорости движения

На силовой схеме также должны быть показаны системы противобоксовочной защиты, защиты от тяжелых последствий пробоя изоляции в силовой цепи и защиты силовой цепи по максимальному току, цепи катушек реле переходов и силовых амперметра и вольтметра.

При выполнении данного раздела рекомендуется взять за образец силовую электрическую схему одного из отечественных тепловозов. Если при этом тепловоз-образец выполнен с электрической передачей постоянного тока, то его схему следует изменить с учетом того, что в электрических передачах переменного тока роль тягового генератора постоянного тока выполняют электрически соединенные между собой тяговый синхронный генератор и тяговая выпрямительная установка.

3. Определение основных параметров тяговой выпрямительной установки

Массогабаритные показатели тяговых выпрямительных установок зависят от режимов работы силовой схемы электрической передачи тепловоза, типа и параметров силовых полупроводниковых вентилях. Так, максимальные выпрямленные значения тока I_{dmax} и напряжения U_{dmax} определяются режимами работы тяговых электродвигателей.

3.1. Тип и класс вентилях тяговой выпрямительной установки выбирается по табл. 1 и 2 приложения. Вентили по этим таблицам представляют собой кремниевые диоды с лавинной характеристикой и воздушным охлаждением. Коэффициент неравномерности распределения напряжений на последовательно включенных вентилях с лавинной характеристикой $k_n = 1$. При проектировании тяговых выпрямительных установок стремятся применять вентили с наиболее высокими показателями по току и обратному напряжению с тем, чтобы общее число вентилях

было по возможности меньшим. Количество последовательно соединенных вентилях в плече выпрямителя

$$n_{\text{пос}} = \frac{\kappa_n \kappa_n U_{\text{обр. max}}}{\kappa_{\sigma} U_n}$$

где $U_{\text{обр. max}}$ - амплитуда линейного напряжения тягового синхронного генератора, В, ($U_{\text{обр. max}} = 1,05 U_{\text{дн max}}$);

U_n - номинальное обратное напряжение вентиля, В (выбирается по табл. 2 приложения из второй колонки в зависимости от класса вентилях);

κ_n - коэффициент неравномерности распределения напряжения по последовательно включенным вентилям;

$\kappa_{\text{п}}$ - коэффициент возможных перенапряжений;

κ_{σ} - коэффициент кратковременно допускаемого обратного напряжения на вентиле.

Коэффициент возможных перенапряжений определяется опытным путем. При работе электрической передачи в области отсечки по напряжению к вентилям силового выпрямителя будет приложено повышенное напряжение. Величина его определяется статической неравномерностью автоматической системы регулирования напряжения тягового генератора и обычно не превышает 10 %. Поэтому коэффициент возможных перенапряжений принимается равным $\kappa_{\text{п}} = 1,1$.

Применению схемы включения вентилях тяговой выпрямительной установки без последовательного соединения вентилях и без предохранителей в условиях тяги препятствует то обстоятельство, что при пробое одного вентиля возникает внутреннее короткое замыкание в силовой цепи электрической передачи. При этом тяговая выпрямительная установка выходит из строя и для восстановления ее работоспособности необходимо отыскать пробитый вентиль, что при глухом соединении вентилях сделать сложно.

Следовательно, либо при расчете необходимо добавлять один последовательно включенный вентиль, либо при проектировании тяговой выпрямительной установки предусматривать

устройства индикации и отключения пробитого вентиля. Что касается выбора типа вентиля, то здесь предпочтение отдается лавинным вентилям, которые допускают работу без шунтирующих резисторов и RC -цепочек. Для них коэффициент кратковременно допускаемого обратного напряжения на вентиле принимается равным $\kappa_b = 1$. Значение n_{noc} округляется до целого в большую сторону и не должно быть меньше двух.

3.2. Токовые нагрузки в силовой схеме электрической передачи приводят к необходимости параллельного включения вентилях в каждом плече тяговой выпрямительной установки. Расчет количества параллельных вентилях в одном плече выпрямителя ведется по заданному значению максимального тока I_{dmax} . Так как оба трехфазных моста работают параллельно, то на каждый мост приходится $I_{dmax}/2$. Средний ток в плече моста

$$I_{cp} = 0,33 \frac{I_{dmax}}{2}.$$

В соответствии с государственным стандартом при температуре окружающего воздуха свыше 40°C для кремниевых вентилях величина прямого тока должна быть снижена, и для температуры 50°C она составит $0,9 I_{ном}$. Из-за расхождения вольт-амперных характеристик вентилях нагрузка между параллельными ветвями распределяется неравномерно, что вызывает необходимость дополнительного снижения допустимого тока через вентиль. Учитывая это обстоятельство, длительно допустимое среднее значение тока через вентиль

$$I_v = I_{он} \kappa_1 \kappa_2 \kappa_3,$$

где $I_{он}$ - номинальный ток вентиля, указанный в паспорте, А (для вентилях типа ВЛ200 - 200 А, для вентилях типа ВЛ320 - 320 А);

κ_1 - коэффициент, учитывающий неравномерность деления тока по параллельно соединенным вентилям (принимается равным 0,8);

κ_2 - коэффициент, учитывающий температуру охлаждающего воздуха (принимается равным 0,9);

κ_3 - коэффициент, учитывающий скорость охлаждающего воздуха (принимается равным 1,0).

Тогда количество параллельных ветвей в плече тяговой выпрямительной установки

$$n_{нар} = \frac{I_{ср}}{I_{\epsilon}}$$

3.3. Общее количество вентиляей тяговой выпрямительной установки составит

$$N = 2 \cdot 6n_{нос}n_{нар},$$

- где 2 - количество параллельно включенных трехфазных выпрямительных мостов;
6 - количество плечей в одном трехфазном выпрямительном мосту.

3.4. Одним из основных показателей электрической передачи тепловоза является ее коэффициент полезного действия, который зависит от КПД синхронного тягового генератора, тяговой выпрямительной установки и тяговых электродвигателей.

Коэффициент полезного действия тяговой выпрямительной установки

$$\eta_{св} = \frac{P_d}{P_d + \sum \Delta P + \Delta P_{охл}},$$

где $P_d = u_{dmax} I_{dmax}$ - мощность на выходе тяговой выпрямительной установки;

$\sum \Delta P = \Delta P n$ - потери мощности в n вентилях;

$\Delta P_{охл}$ - затраты мощности на охлаждение вентиляей.

Потери мощности в одном вентиле

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2,$$

где ΔP_1 - потери мощности при прохождении прямого тока нагрузки (основные потери), Вт;

ΔP_2 - дополнительные потери мощности при коммутации вентиляей в течение не проводящей части периода, Вт.

Основные потери в одном вентиле, Вт:

$$\Delta P_1 = u_o I_a + R_d \kappa_\phi^2 I_a^2,$$

где u_o - пороговое напряжение вентиля (принимается по табл. 1 приложения), В;

I_a - среднее значение анодного тока, проходящего через вентиль,

$$A: \quad I_a = \frac{I_{cp}}{n_{нар}};$$

R_d - усредненное динамическое сопротивление прямой ветви вольтамперной характеристики, Ом (динамическое сопротивление в открытом состоянии); принимается по табл. 1 приложения в зависимости от типа вентиля;

κ_ϕ - коэффициент формы тока ($\kappa_\phi = 1,1$).

Дополнительные потери мощности при коммутации вентилях в течение непроводящей части периода для тепловозных тяговых выпрямительных установок составляют 2 - 3 % основных потерь, поэтому их обычно не учитывают.

Затраты мощности на охлаждение вентилях

$$\Delta P_{охл} \cong 0,0085 N_k.$$

4. Расчет основных размеров и параметров тягового электродвигателя

Частота вращения якоря тягового электродвигателя в продолжительном режиме работы n_n , об/мин, и расчетная скорость V_p , км/ч, связаны выражением

$$n_n = 5,3 \cdot 10^3 \frac{\mu_3 V_p}{D_k},$$

где μ_3 - передаточное число тягового редуктора (задано в табл. 1);

D_k - диаметр бандажей колесной пары по кругу катания, мм.

Мощность на валу тягового электродвигателя в кВт определяют по формуле

$$P_d = \frac{N_k \cdot 10^3}{\eta_s C},$$

где $\eta_s = 0,985$ - КПД тягового редуктора;

N_k - касательная мощность, МВт;

C - число тяговых электродвигателей.

Тогда диаметр якоря тягового электродвигателя определяется из выражения

$$D_a = \kappa_a \sqrt[3]{\frac{P_d}{n_n}},$$

где $\kappa_a = 600 \div 675$ для двигателей с изоляцией класса нагревостойкости F ;

$\kappa_a = 550 \div 625$ для двигателей с изоляцией класса нагревостойкости H .

При расчете диаметра якоря в формулу необходимо подставить минимальное и максимальное значения коэффициента изоляции, вычислив таким образом минимальное и максимальное значения диаметра якоря тягового электродвигателя. Между этими двумя значениями необходимо выбрать нормализованную величину, обеспечивающую штамповку листов железа якоря с минимальными отходами. Нормализованный ряд диаметров якорей: 245, 280, 327, 368, 423, 493, 560, 660, 740 мм.

Правильность принятого диаметра якоря проверяют по допустимой максимальной окружной скорости, соответствующей конструкционной скорости:

$$V_{\text{max}} = \frac{\pi D_a n_{\text{max}}}{60} \leq 80, \text{ м/с},$$

где $n_{\text{max}} = n_n \frac{V_k}{V_p}$.

Приведенный объем якоря, см³:

$$V_{\text{я}} = D_{\text{я}}^2 l_{\text{я}} = \frac{6P_{\text{к}} \cdot 10^7}{\alpha_{\delta} A B_{\delta} n_{\text{н}} \eta_{\text{д}}},$$

где $l_{\text{я}}$ - длина сердечника якоря, см;
 α_{δ} - коэффициент полюсного перекрытия;
 A - линейная нагрузка якоря током, А/см;
 B_{δ} - расчетная магнитная индукция в воздушном зазоре, Тл;
 $n_{\text{н}}$ - частота вращения якоря тягового электродвигателя в продолжительном режиме, об/мин;
 $\eta_{\text{д}}$ - КПД тягового электродвигателя.

Для тепловозных тяговых электродвигателей:

$$\alpha_{\delta} = 0,67 + 0,72; \quad A = 450 + 550 \text{ А/см};$$

$$B_{\delta} = 0,95 + 1,05 \text{ Тл}; \quad \eta_{\text{д}} = 0,90 + 0,92.$$

Длина сердечника якоря, см:

$$l_{\text{я}} = \frac{V_{\text{я}}}{D_{\text{я}}^2}.$$

Для тепловозных тяговых электродвигателей $l_{\text{я}} \leq 45 \text{ см}$.

Для вариантов задания на курсовой проект, в которых $N_{\text{к}} < 2,4 \text{ МВт}$, рекомендуется принять число главных полюсов $2p = 4$. Для вариантов, в которых $N_{\text{к}} \geq 2,4 \text{ МВт}$, $2p = 6$. Во всех вариантах курсового проекта следует принять простую петлевую двухслойную обмотку якоря. В этом случае число параллельных ветвей обмотки $2a$ равно числу полюсов $2p$, а ток параллельной ветви определится по формуле

$$i_{\text{я}} = \frac{I_{\text{дн}}}{2a} \leq 250 \text{ А},$$

где $I_{\text{дн}}$ - ток продолжительного режима тягового электродвигателя (определяется, исходя из принятой схемы соединения тяговых электродвигателей при известном токе $I_{\text{дн}}$ на выходе тяговой выпрямительной установки).

Число проводников обмотки якоря (предварительно)

$$N' = \frac{A\pi D_{\text{я}}}{i_{\text{я}}}$$

Так как при двухслойной обмотке с каждой коллекторной пластиной связаны два проводника обмотки якоря, то число коллекторных пластин (предварительно)

$$K' = \frac{N'}{2}$$

Число пазов якоря Z выбирают в соответствии с графиком (рис. 8). По условиям симметрии $\frac{Z}{p}$ (число пазов на пару полюсов) должно быть числом целым, а для снижения амплитуды пульсации магнитного потока в воздушном зазоре - нечетным.

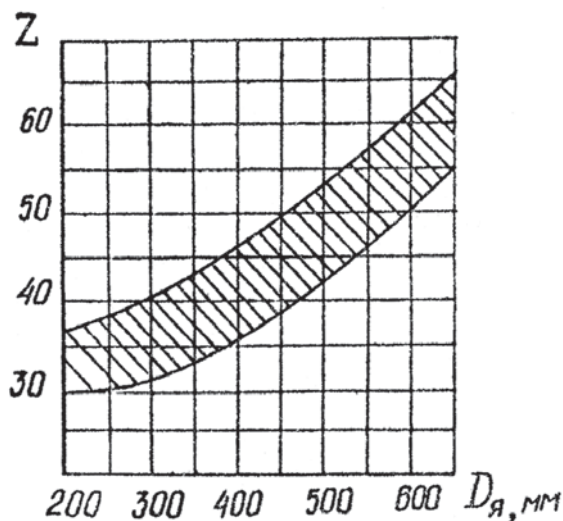


Рис. 8. Выбор числа пазов

Число коллекторных пластин на паз

$$n_k = \frac{K}{Z}$$

должно быть целым (для тепловозных тяговых электродвигателей $n_k = 3 \div 5$).

Окончательно:

$$K = Zn_k;$$

$$N = 2K$$

Линейная нагрузка (окончательно) в А/см:

$$A = \frac{i_a N}{\pi D_a}$$

Тепловая напряженность тягового электродвигателя оценивается полным током пазы $2n_k i_a$, который должен удовлетворять условию:

для изоляции класса нагревостойкости F

$$2n_k i_a \leq 2250 \text{ A};$$

для изоляции класса нагревостойкости H

$$2n_k i_a \leq 2500 \text{ A}.$$

Основной магнитный поток тягового электродвигателя, Вб:

$$\Phi_{ок} = \frac{0,96 u_{дн} \cdot 60 \cdot a}{N n_n \cdot p}$$

где $0,96 u_{дн} = E_{дн}$ - ЭДС тягового электродвигателя в продолжительном режиме, В;

$u_{дн}$ - напряжение на зажимах тягового электродвигателя в продолжительном режиме (определяется в соответствии со схемой соединения тяговых электродвигателей).

Магнитная характеристика (характеристика холостого хода).

Пересчет универсальной магнитной характеристики тягового электродвигателя (рис. 9) в натуральные значения производится по формулам:

$$\Phi_o = \frac{\Phi_{o\%}}{100} \Phi_{он},$$

$$I_d = \frac{I_{d\%}}{100} I_{дн},$$

где Φ_o - значение основного магнитного потока, Вб;

$\Phi_{o\%}$ - значения основного магнитного потока, %;

I_d - ток тягового электродвигателя, А;

$I_{d\%}$ - ток тягового электродвигателя, %;

$I_{дн}$ - ток тягового электродвигателя в продолжительном режиме, А.

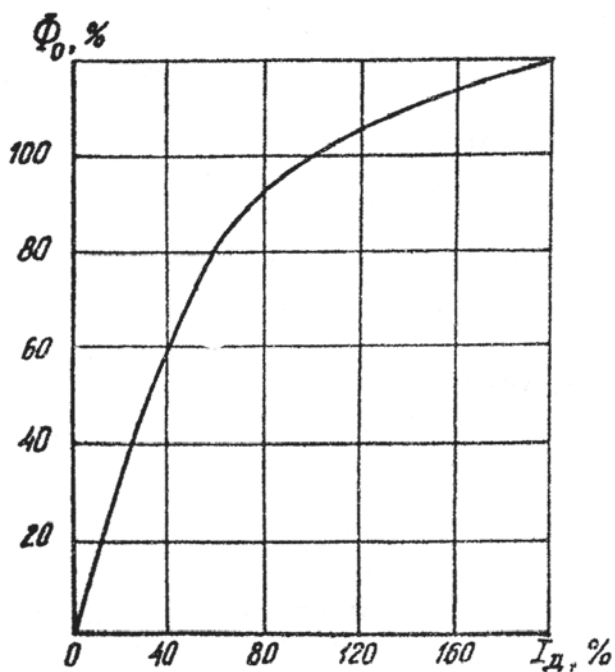


Рис. 9. Универсальная процентная магнитная характеристика

Расчеты следует представить в виде таблицы.

Таблица 2

Магнитная характеристика тягового электродвигателя

$I_{д\%}$	40	60	80	100	120	140	160
$I_{д}$, А							
$\Phi_{0\%}$							
Φ_0 , Вб							

По данным табл. 2 строят график магнитной характеристики.

Скоростная характеристика. Определяют точку продолжительного режима, соответствующую $I_{д} = I_{дн}$, км/ч:

$$V_p = \frac{11,3 E_{дн} D_k a}{\mu_s N \Phi_{он} p},$$

где $E_{дн} = 0,96 U_{дн}$ - обратная ЭДС машины, В;

$\Phi_{он}$ - основной магнитный поток двигателя в продолжительном режиме, Вб.

Задавая значениями $I_{д}$ кратными 50 А, определяют соответствующие им значения скорости тепловоза по формулам:

а) при полном возбуждении

$$V(ПВ) = V_p \left(\frac{I_{дн}}{I_{д}} \right)^{1,5};$$

б) при первой ступени ослабления возбуждения

$$V(ОВ1) = \frac{V_p}{\sqrt{\alpha_1}} \left(\frac{I_{дн}}{I_{д}} \right)^{1,5};$$

в) при второй ступени ослабления возбуждения

$$V(ОВ2) = 1,2 V_p \frac{1}{\sqrt{\alpha_{\min}}} \left(\frac{I_{дн}}{I_{д}} \right)^{1,5}$$

Тяговая характеристика двигателя. Расчетная сила тяги двигателя в продолжительном режиме

$$F_{рд} = 3,6 \frac{I_{дн} U_{дн} \eta_{об.к.н.}}{V_p} \cdot 10^{-3},$$

где $\eta_{об.к.н.} = \eta_d \eta_s$ - КПД тягового двигателя на ободу колеса в продолжительном режиме;

η_d - КПД тягового двигателя в продолжительном режиме ($\eta_d = 0,90 \div 0,92$).

Задаваясь значениями тока якоря двигателя такими же, как и в случае определения скоростной характеристики, вычисляют соответствующие им значения силы тяги двигателя по формулам:

а) при полном возбуждении

$$F_d (ПВ) = F_{рд} \left(\frac{I_d}{I_{дн}} \right)^{1,5};$$

б) при первой ступени ослабленного возбуждения

$$F_d (OB_1) = F_{рд} \sqrt{\alpha} \left(\frac{I_d}{I_{дн}} \right)^{1,5};$$

в) при второй ступени ослабленного возбуждения

$$F_d (OB_2) = 0,92 F_{рд} \sqrt{\alpha_{\min}} \left(\frac{I_d}{I_{дн}} \right)^{1,5},$$

где I_d - текущее значение тока якоря тягового двигателя, А.

Характеристика КПД тягового электродвигателя. КПД тягового электродвигателя, отнесенный к ободу колеса в функции тока якоря, рассчитывают по эмпирической формуле

$$\eta_{об.к.н.} = \left[1,18 - 0,18 \left(\frac{I_d}{I_{дн}} \right) \right] \eta_{об.к.н.}$$

Следует помнить, что формула действительна для значений тока якоря от 0,7 до 1,51 $I_{дн}$.

По результатам расчетов строят графические зависимости:

$$\Phi_o = f(I_d); \quad V = f(I_d);$$

$$F_d = f(I_d); \quad \eta_{об.к} = f(I_d),$$

характер которых показан на рис. 10.

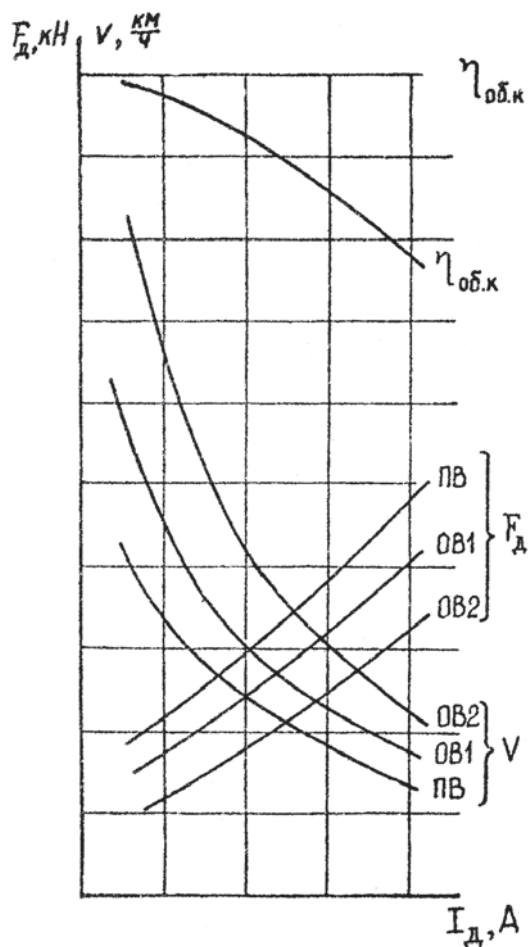


Рис. 10. Электромеханические характеристики

5. Выбор системы регулирования возбуждения тягового генератора

При выполнении данного раздела рекомендуется взять за образец силовую схему системы регулирования возбуждения тягового генератора одного из отечественных тепловозов с электрической передачей переменного тока. Если за образец берется система тепловоза с электрической передачей постоянного тока, то это должна быть аппаратная, а не электромашинная система регулирования. На схеме следует показать основные агрегаты, аппараты и элементы системы регулирования. В пояснительной записке должна быть достаточно подробно описана работа схемы.

6. Тормозные характеристики электрической передачи

При переводе тяговых электродвигателей в тормозной режим они отключаются от источника питания, их якорные обмотки присоединяются к тормозным резисторам, а обмотки возбуждения главных полюсов - к источнику питания.

Тяговый электродвигатель в тормозном режиме, как и в тяговом, имеет ряд ограничений, которыми определяются пределы регулирования тормозной силы, поэтому тормозные характеристики разделяют на два вида: предельные (ограничивающие) и регулировочные (частичные).

Предельные характеристики определяются некоторыми максимально допустимыми параметрами системы электрического торможения, к которым относятся:

- 1) максимальный ток возбуждения тягового электродвигателя допустимый по условиям нагревания катушек главных полюсов;
- 2) максимальный тормозной ток, ограничиваемый допустимыми температурами обмотки якоря тягового электродвигателя и тормозных резисторов;

3) максимальная тормозная сила по условиям сцепления колес с рельсами;

4) максимальное значение реактивной ЭДС в секциях обмотки якоря. Этот параметр, являющийся критерием удовлетворительной коммутации, может быть выражен как произведение тока якоря тягового электродвигателя на его частоту вращения $I_{я}\omega$.

Наряду с ограничением по коммутации имеется ограничение по потенциальным условиям на коллекторе, которое проверяется по значению максимального напряжения между соседними коллекторными пластинами. Однако для тепловозных тяговых электродвигателей, как правило, лимитирующим ограничением в зоне высоких скоростей помимо максимального тормозного тока по условиям нагрева обмотки якоря и тормозных резисторов является реактивная ЭДС.

В курсовом проекте необходимо определить предельные характеристики электрического тормоза тепловоза по первым трем параметрам.

Максимальный ток возбуждения тягового электродвигателя и максимальный тормозной ток (максимальный ток якоря) принимаются равными току продолжительного режима тягового электродвигателя. Поэтому сила торможения будет равна силе тяги продолжительного режима:

$$B_{\max} = F_{кр}.$$

Максимальная тормозная мощность может быть получена при условии

$$V_{\min} = k_{\gamma} V_p.$$

Тогда линия ОА (рис. 11) опишется уравнением

$$B = \frac{F_{кр}}{V_{\min}} V$$

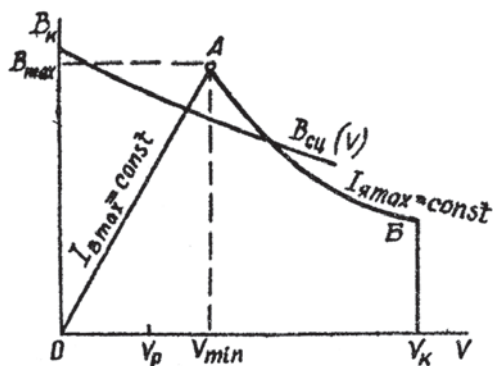


Рис. 11. Области режимов работы электрического тормоза

Линия АБ, представляющая собой гиперболу, во всех точках которой тормозная мощность (произведение тормозной силы на скорость) постоянна, описывается уравнением

$$B = \frac{F_{кр} V_{min}}{V}$$

Тормозная мощность, кВт:

$$P_{\tau} = 0,278 B_{max} V_{min}$$

Мощность системы электрического торможения на выводах тяговых электродвигателей

$$P'_{\tau} = P_{\tau} \eta_{дт}$$

где $\eta_{дт}$ - КПД (расчетный) тягового электродвигателя в тормозном режиме (в курсовом проекте можно принять $\eta_{дт} = \eta_{об.к.н.}$).

Напряжение на сопротивлении тормозного резистора

$$u_{\tau} = \frac{P'_{\tau}}{CI_x}$$

где C - число тяговых электродвигателей.

$I_x = I_{дт}$ - ток якоря в тормозном режиме при постоянной тормозной мощности.

Эквивалентное сопротивление, Ом:

$$R_{\text{тз}} = \frac{u_{\text{т}}}{I_{\text{дн}}}.$$

Кривая ограничения тормозной силы по сцеплению при электрическом торможении рассчитывается по формуле

$$B_{\text{сч}} = P_{\text{сч}} \psi_{\text{кт}},$$

где $\psi_{\text{кт}}$ - расчетный коэффициент сцеплению при электрическом торможении:

$$\psi_{\text{кт}} = 0,094 + \frac{4}{27,5 + V}.$$

При разработке силовой схемы электрического тормоза рекомендуется взять за образец принципиальную силовую схему электрического тормоза одного из отечественных тепловозов. В пояснительной записке следует описать работу силовой схемы электрического тормоза.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Параметры вентилях В и ВЛ

Параметры	В200, В5-200, ВЛ200	В320, ВЛ320
Предельный ток I_n при температуре корпуса 100 °С, А	200	320
Прямое падение напряжения (среднее значение) $u_{пр}$, В, при токе I_n , А не более)	0,7	0,7
Пороговое напряжение u_0 , В	1,12	1,09
Динамическое сопротивление в открытом состоянии R , Ом (не более)	$8 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$

Таблица 2

Классы вентилях в зависимости от напряжения лавинообразования

Класс вентиля	Повторяющееся напряжение, В	Напряжение лавинообразования, В
6	600	750
7	700	875
8	800	1000
9	900	1125
10	1000	1250

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

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. Гаккель Е.Я., Рудая К.И. Проектирование и расчет электрической передачи тепловоза. М.: Транспорт, 1972. - 152 с.
3. Электропередачи тепловозов на переменном-постоянном токе / Колесник И.К., Кузнецов Т.Ф., Липовка В.И. и др. М.: Транспорт, 1978. - 149с.
4. Курбасов А.С., Седов В.И., Сорин Л.Н. Проектирование тяговых электродвигателей: Учеб. пособ. для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. А.С. Курбасова. М.: Транспорт, 1987. - 536 с.

5. Алексеев А.Е. Тяговые электрические машины и преобразователи. М.: Энергия, 1977. - 445 с.
6. Электрические машины и электрооборудование тепловозов / Геккель Е.Я., Рудая К.И., Стрекопытов В.В. и др.: Под ред. Е.Я. Гаккель. М.: Транспорт, 1981. - 256 с.
7. Вилькевич Б.И. Автоматическое управление электрической передачей и электрические схемы тепловозов. М.: Транспорт, 1987. - 272 с.
8. Розенфельд В.Е., Исаев И.П., Сидоров Н.И. Теория электрической тяги: Учебник, 2-е изд. М.: Транспорт, 1983. - 328 с.
9. Степанов А.Д., Пречисский В.А., Андерс В.И. Электрические передачи переменного тока тепловозов и газотурбовозов / Под ред. А.Д. Степанова. М.: Транспорт, 1982. - 251с.
10. Болдов Н.А., Степанов А.Д. Теплоэлектрический подвижной состав: Учебник для студентов энергетических вузов. М.: Транспорт, 1968. - 360 с.
11. Захарченко Д.Д., Ротанов Н.А. Тяговые электрические машины. - М.: Транспорт, 1991. - 343 с.

Кандидаты техн. наук, доценты
Б.В. ГНЕЗДИЛОВ, А.С. КОСМОДАМИАНСКИЙ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ ЛОКОМОТИВОВ

Задание на курсовой проект
с методическими указаниями

Техн. редактор Н.Н. Соловьева
Компьютерная верстка и корректура Д.П. Кузмина

Тип. зак. 375	Изд. зак. 70	Тираж 500 экз.
Подписано в печать 02.09.04	Гарнитура Times.	Офсет
Усл. печ. л. 2, 5	Допечатка тиража	Формат 60×90 ¹ / ₁₆

Издательский центр РГОТУПС,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Типография РГОТУПС: 125993, Москва, Часовая ул., 22/2