

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА (МИИТ)»
(РУТ (МИИТ))**

Одобрено кафедрой
«ТЯГОВЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ»

Протокол № ____ от _____ 201__ г.

Автор: _____

**ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ С МЕТОДИЧЕСКИМИ
УКАЗАНИЯМИ**

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Тяговые аппараты и электрическое оборудование

Уровень ВО: *Специалитет*

Форма обучения: *Заочная*

Курс: *6*

Специальность/Направление: *23.05.03 Подвижной состав железных дорог (ПСс)*

Специализация/Профиль/Магистерская программа: *(ПЭ) Электрический транспорт железных дорог*

Москва

Составитель: канд. техн. наук доц. Е.П. Капустина

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В данных методических указаниях даются рекомендации к проектированию коммутационных аппаратов, а именно, контакторов, реле систем защиты и оперативной коммутации, а также других электромеханических коммутационных аппаратов.

Исходные данные для проектирования

- а) функциональное назначение аппарата;
- б) род тока и частота в исполнительной (силовой) цепи;
- в) номинальное напряжение и ток в этой цепи;
- г) необходимость дугогашения в исполнительной цепи;
- д) для аппаратов с дугогашением — индуктивность и разрывная мощность;
- е) род тока и номинальное напряжение в распорядительных цепях;
- ж) число включающих и выключающих блокировок;
- з) вид привода аппарата, а для контакторных элементов — их тип;
- и) для аппаратов защиты — пределы уставок;
- к) условия исполнения и установки аппарата;
- л) рекомендуемый образец выполненного аппарата;
- м) особые условия и требования: например, показатели быстродействия или величина выдержки времени, наличие и характер подпитки и др.

В зависимости от назначения аппарата некоторые исходные данные могут отсутствовать. Так, для реле не нужны данные по дугогасительным устройствам, а для контакторов может не задаваться быстродействие аппарата. В некоторых случаях задание может иметь специальный характер. Так, может задаваться модернизация существующих аппаратов, выполнение самостоятельных исследовательских разработок и др. Во всех этих случаях исходные данные могут существенно отличаться от приведенных выше. В

процессе выполнения задания руководитель может внести уточнения в некоторые исходные данные.

2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

В состав курсового проекта должны входить:

1. Чертеж общего вида аппарата, не менее чем в двух проекциях.
2. Необходимые графики, которые можно выполнять как на отдельных листах, так и в составе расчетно-пояснительной записки.
3. Расчетно-пояснительная записка, в состав которой должны входить:

расчет или выбор контактов аппарата при номинальной нагрузке и в предельных режимах;

разработка кинематической схемы аппарата и выбор основных кинематических звеньев, определение угловых и линейных перемещений;

расчет притирающего механизма контактов и их провала;

выбор системы дугогашения, типа и размеров дугогасительной камеры; расчет дугогасительной системы;

выбор типа привода; расчет сопротивлений движению, характеристики параметров выключающих пружин, построение тяговой диаграммы;

определение основных параметров привода и его расчет;

определение времени включения аппарата;

обоснование и описание конструкции аппарата.

При проектировании аппаратов широко используют метод последовательных приближений, принцип преемственности конструкции отдельных элементов, сравнение расчетных вариантов. При этом приходится возвращаться к расчетам и разработкам, уже выполненным ранее, внося в них отдельные изменения и улучшения. При проектировании студент должен хорошо знать принципы физических процессов, возникающих при работе аппарата. Надо понимать физическую сущность используемых математических зависимостей, связь между ними и взаимное влияние различных параметров.

Необходимо тщательно изучить конструкцию рекомендованного образца аппарата и учитывать технологичность принимаемых конструкций. При выполнении расчетов надо сравнивать их результаты с данными выполненных аппаратов или данными, приведенными в соответствующей литературе. Их совпадение не обязательно, но позволяет объективно оценивать полученные результаты.

3. РАСЧЕТ КОНТАКТОВ АППАРАТОВ

3.1. Коммутационные контакты силовых цепей

В тяговых аппаратах коммутационные медные контакты выполняют точечными для номинальных токов $I_n \leq 15 \div 20$ А и контакты с серебряными или металлокерамическими серебряными накладками для токов $I_n \leq 80 \div 100$ А. Размеры таких накладок приведены в табл. 4.

Параметры линейных контактов, которые обычно применяют в силовых цепях (длина контактной линии b и сила рабочего нажатия F_K), определяют из выражения для тепловой постоянной контакта A_K (в $A^2/мм \cdot Н$).

$$A_K = j_L j_H, \quad (3.1)$$

где j_L , j_H — линейная плотность тока (в А/мм) и плотность тока по нажатию (в А/Н). Рекомендуемые значения j_L , j_H и A_K для медных контактов тяговых контакторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Вид аппарата	j_L , А/мм	j_H , А/Н	A_K , $A^2/мм \cdot Н$
Индивидуальные электропневматические контакторы при $I_\infty = 150 \div 750$ А	18 ÷ 22	6,1 ÷ 6,5	112 ÷ 1133
Электромагнитные контакторы с Г-образным якорем	14 ÷ 17	3,1 ÷ 6,2	71 ÷ 100
Электромагнитные контакторы с обычным якорем при $I_\infty \leq 100$ А	3 ÷ 6	3,1 ÷ 5,1	8 ÷ 21
То же — при $I_\infty \geq 100$ А	3 ÷ 8	5,14 ÷ 6,2	31 ÷ 41
Контакторные элементы при $I_\infty \leq 400$ А	15 ÷ 40	3,1 ÷ 4,1	51 ÷ 72
То же — при $I_\infty \geq 400$ А	20 ÷ 26	3,1 ÷ 4,1	82 ÷ 102

Здесь большие значения $j_{\text{л}}$, $j_{\text{н}}$ и $A_{\text{к}}$ относятся к аппаратам, рассчитанным на большие токи.

Удобно совместить расчет по тепловым постоянным с принципом конструктивного подобия. При одном и том же материале контактов имеем формулу

$$b F_{\text{к}} = b_0 F_{\text{ко}} I_{\text{н}}^2 / I_{\text{но}}^2, \quad (3.2)$$

где b , $F_{\text{к}}$, $I_{\text{н}}$ — ширина контакта (длина контактной линии) (в мм), сила нажатия (в Н), номинальный ток проектируемого аппарата (в А) соответственно;

b_0 , $F_{\text{ко}}$, $I_{\text{но}}$ — те же величины для исходного образца контакта.

При контактах не из меди, а из других материалов, значения $A_{\text{к}}$ в сравнении с $A_{\text{ко}}$ для меди определяются по формуле

$$A_{\text{к}} \cong A_{\text{ко}} \tau_{\text{д}} / \tau_{\text{до}}, \quad (3.3)$$

. где $\tau_{\text{д}}$, $\tau_{\text{до}}$ — допустимые превышения температуры контакта для рассматриваемого материала и меди в продолжительном режиме, значения которых при температуре воздуха не более 40°C приведены в табл. 2.

Таблица 2

Вид контакта	Исполнение	$\tau_{\text{д}}$, °C
Непружинящие	Массивные (медь, серебро).	75
Пружинящие	Коммутационные стыковые (медь, серебро)	50
То же	То же — из металлокерамики	70
»	Клиновые рубильников, разъединителей (медь)	50
»	Штепсельные медные	35
Клеммовых зажимов	Медь с полудой или кадмированием	60
»	То же — с серебряным покрытием	80
Пайки	Оловянистым припоем	80
»	Твердые (серебро, латунь, бронза)	250

В табл. 3 приведены размеры унифицированных прямоугольных контактных наделок (рис. 1), которые обязательны при проектировании. При расчете линейных контактов надо выбрать их тип, материал, величины b и $F_{\text{к}}$. Эти данные корректируют при необходимости по данным проверки на нагревание и износостойкость (ресурс).

Надо по возможности избегать применения поверхностных коммутационных контактов с высокой повторяемостью коммутаций из-за трудности их самозачистки притиранием в условиях тяговых аппаратов. Если

Таблица 3

b , мм	a , мм	h , мм
4; 5	3; 4; 5	0,8; 1,0; 1; 6
6; 8; 10	3; 4; 6; 8; 10	1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,2
12; 14	6; 8; 10; 12; 14	1,0; 1,4; 1,6; 2,2 2,5
16; 20	8;10; 14; 16; 20	1,6; 2,0; 2,2; 2,5; 3,0
25; 3,2	12; 32; 16; 20; 25	3,0; 3,5; 5,0
40; 50	14 40; 20;25; 32	2,5; 3,0; 3,5; 5,0

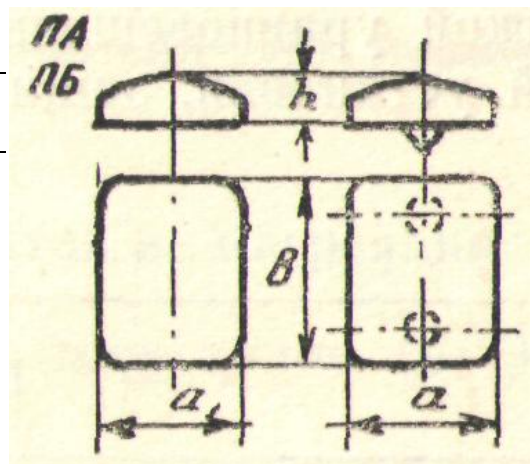


Рис. 1. Размеры прямоугольных контактов

их все же приходится применять при токах более $I_n > 1500-1700$ А, то для них желательно применять дополнительные дугоразмыкающие контакты.

3.2. Коммутационные контакты цепей управления

В тяговых аппаратах применяют преимущественно два вида коммутационных контактов цепей управления:

- а) точечные с серебряными или металлокерамическими наделками;
- б) скользящие линейные контакты из стальной ленты, контактирующие с медными пластинами.

Размеры накладок (рис. 2) .исполнения а) приведены в табл. 4, а их наименьшие силы нажатия в табл. 5.

Таблица 4

63÷100 | 16÷220 | 1,6÷23,0 |

I_n , А	D , мм	h . мм
до 2	1÷22	0,3÷21,0
2÷5	2÷24	0,6÷21,2
5÷10	3÷25	0,8÷21,6
10÷20	5÷28	1,0÷22,0
20÷40	8÷12	1.2÷22,2
40÷63	12÷16	1,4÷22,5

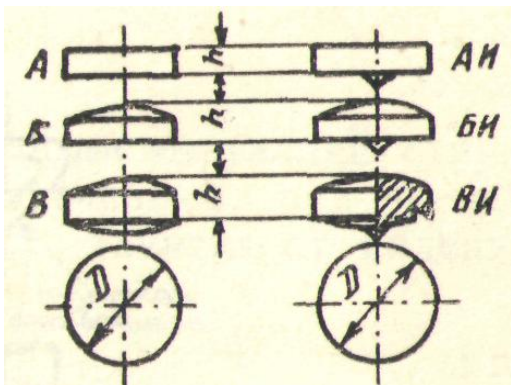


Рис. 2. Размеры цилиндрических контактов

Реле повышенной чувствительности требуют применения лепкой уравновешенной контактной системы, амортизированной установки, защищенного исполнения контактной группы.

Таблица 5

Вид контакта	$F_{KM}; H$
Стыковые контакты кулачковых коммутирующих устройств	2÷5
Контакты электрических блокировок	1,5÷3
Контакты реле обычного исполнения	1÷2
Контакты реле повышенной чувствительности	0,5÷1

Для контактов цепей управления сначала выбирают контактные накладки и силы нажатия, а затем проверяют их на нагревание. Данные пальцевых контактов цепей управления (рис. 3) приведены в табл. 6.

Таблица 6

Тип пальца	a	b	c	d	r	I_{∞}, A	F_K, H
ПБ-1	98	83	7	1,3	3	5	10 ÷ 25
ПБ-2	68	50	7	1,05	1,5	5	20

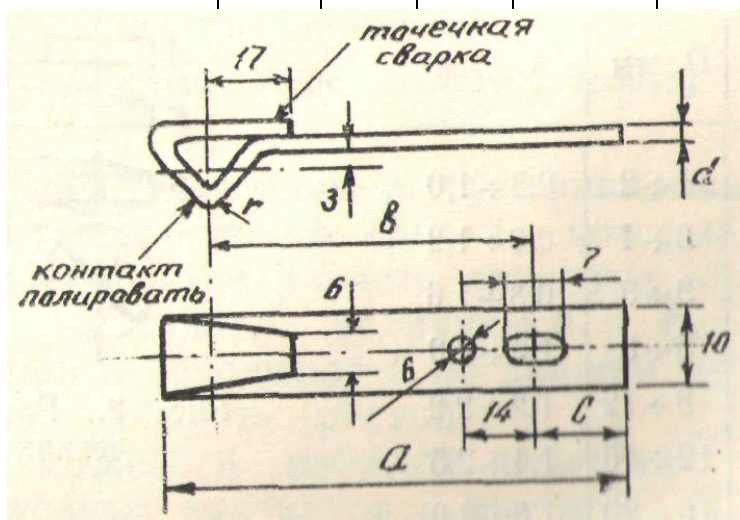


Рис. 3. Размеры пальцевого контакта

Материал — лента стальная У10А. Закалка в масле — при $780 \div 700^\circ\text{C}$, отпуск — при 380°C — 1 ч. Твердость после отпуска $R_c = 45 \div 47$. Проскальзывание пальца по медному контакту равно $\sim 2,5 \div 3,0$ мм.

3.3. Проверка коммутационных контактов на нагревание

Переходное сопротивление контактов всех типов (в Ом) определяется формулой

$$r_k = k_k / F_k^m, \quad (3.4)$$

где m —показатель степени: $m=0,5$ — для точечных контактов, $m = 0,5 \div 0,8$ — для линейных и $m = 0,9 \div 1,0$ —для поверхностных контактов;

k_k —коэффициент переходного сопротивления.

Значения k_k приведены в табл. 7.

Таблица 7

Материал контактов	$k_k \cdot 10^{-3}$, Ом·Н
Серебро — серебро	0,6
Медь — медь (плоский контакт)	0,9 ÷ 1,4
Медь — медь (точечный и линейный контакт)	1,4 ÷ 1,8
Медь — медь (луженые поверхности)	0,7 ÷ 1,0
Медь — латунь	3,8
Латунь — латунь	6,7
Медь — сталь	3,1
Металлокерамика— металлокерамика	2,0 ÷ 3,0

Предельный ток $I_{пр}$ контакта, соответствующий структурному изменению материала (размягчению), при превышении температуры размягчения $\Theta_{стр}$ зависит от падения напряжения $\Delta U_{стр}$ (в мВ).

$$I_{пр} = (0,5 \div 0,8) 10^{-3} \Delta U_{стр} / r_k. \quad (3.5)$$

Также определяют ток расплавления контакта $I_{пл}$,

$$I_{пл} \cong 0,9 \cdot 10^{-3} \Delta U_{пл} / r_k.$$

Данные о падениях напряжения $\Delta U_{стр}$ и $\Delta U_{пл}$, а также о температурах размягчения $\Theta_{стр}$ и плавления $\Theta_{пл}$, приведены в табл. 8.

Таблица 8

Материал контактов	$\Delta U_{стр}$, мВ	$\Theta_{стр}$, $^\circ\text{C}$	$\Delta U_{пл}$, мВ	$\Theta_{пл}$, $^\circ\text{C}$

Серебро — серебр. металлокерамика	90	180	370	960
Медь — медная металлокерамика	90 ÷ 130	190	430 ÷ 450	1083

По величине $I_{пр}$ определяют коэффициент рабочего запаса $k_{зр}$

$$k_{зр} = I_{пр} / I_{н}. \quad (3.7)$$

Обычно $k_{зр} \geq 2 \div 2,5$.

Для цепей тяговых двигателей должно выполняться неравенство

$$I_{пр} \geq I_6 = I_{н} K_{пер}, \quad (3.8)$$

где I_6 — наибольший ток тягового двигателя, А;

$K_{пер}$ — коэффициент конструктивной перегрузки тягового двигателя.

Ток $I_{пл}$ определяет коэффициент аварийной перегрузки $k_{за}$

$$k_{за} = I_{пл} / I_{н}, \quad (3.9)$$

Величина тока плавления $I_{пл}$ должна быть

$$I_{пл} \geq (1,5 \div 2) / I_{н} \zeta, \quad (3.10)$$

где ζ — кратность защитного ограничения, то есть отношение предельного тока при срабатывании защиты к номинальному.

Если контактные детали не удовлетворяют условиям нагревания, то выбирают контакты с повышенной тепловой постоянной.

3.4. Определение износостойкости контактов

Износостойкость контактов оценивают их ресурсом $W_{рп}$, который зависит от числа коммутаций $N_{рп}$, до того, как контактные детали изнашиваются до 0,55 ÷ 0,75 от их первоначальной толщины. Величина $N_{рп}$

$$N_{рп} = Q_d / (Q_p + Q_z), \quad (3.11)$$

где Q_d — зависящий от конструкции допустимый объем изнашиваемого материала контакта, см³;

Q_p , Q_z — объем материала контакта, изношенного при одном размыкании и замыкании, соответственно, см³.

В свою очередь

$$Q_p = Q_{тр} + Q_{рз} ; \quad Q_z = Q_{тр} + Q_{зз}, \quad (3.12)$$

где $Q_{тр}$ — объем материала, изношенного механическим трением;

Q_{pz}, Q_{33} —объемы электроэрозионного износа, см^3

$$Q_{tp} = zF_K \Delta \cdot 10^{-4} / H_B, \quad (3.13)$$

где Δ — величина притирания (проскальзывания) контакта, см;

H_B — твердость контактной детали по Бринеллю;

$z = 0,1 \div 0,4$ —(показатель состояния поверхности контакта.

Объемы электроэрозионного износа (в см^3)

$$Q_{33} = \gamma_{az} q_3, \quad (3.14)$$

$$Q_{pz} = (\gamma_K + \gamma_{ap}) q_p, \quad (3.15)$$

где q_3, q_p —заряд (количество электричества) при одном замыкании или размыкании соответственно, Кл. Принимают

$$q_3 \cong 0,5 I_n t_d; \quad q_p \cong I_n t_d, \quad (3.16)$$

где $t_d \cong 0,1$ с — время горения дуги при размыкании;

$\gamma_{az}, \gamma_{ap}, \gamma_K$ —удельные износы: анода — при замыкании и размыкании, катода — при размыкании, $\text{см}^3/\text{Кл}$, которые приведены в табл. 9.

Для тяговых аппаратов ресурс удобнее выражать в пробеге W_{pp} (в км)

$$W_{pp} = \frac{N_{pp} L_3}{m_K} \cong \frac{Q_d L_3}{(Q_p + Q_3) m_K}, \quad (3.17)$$

где m_K — предполагаемое среднее число коммутаций проектируемого аппарата за период прохождения ЭПС эквивалентного перегона L_3

Таблица 9

Материал контактов	$\gamma_{\text{аз}}$	$\gamma_{\text{ар}}$	$\gamma_{\text{к}}$
	$\times 10^{-6} \text{ см}_3/\text{Кл}$		
Серебро	0,34 ÷ 1,6	0,54 ÷ 1,8	0,2 4 ÷ 0,4
Металлокерамика серебряная	0,18 ÷ 0,7	0,2 ÷ 0,9	0,14 ÷ 0,3
Медь	1,5	-	1,3
Металлокерамика медная	0,8	-	0,6

Для аппаратов оперативной коммутации W_{pp} должен быть не меньше пробега между заводскими ремонтами ЭПС. Для аппаратов защиты должно быть $N_{pp} \geq 10^4$ циклов.

3.5. Разработка постоянных контактов аппаратов

К постоянным (неразъемным) контактам тяговых аппаратов относят клеммовые соединения и пайки. Каждый выводной клеммовый зажим должен быть рассчитан на закрепление не менее 3 наконечников с предохранительными шайбами на ток I_n . Такие зажимы выполняют:

- а) с токоведущим болтом или шпилькой;
- б) без токопрохождения через скрепляющие детали.

Исполнение п. б позволяет применять стальные крепежные детали, что предпочтительнее. Все основные размеры клеммового зажима и величина допустимого номинального тока I_n зависят, как это видно из табл. 10, от размеров резьбы крепежной детали.

Внутренние соединения частей аппарата оловянистым припоем разгружают, например, дополнительным скреплением заклепками. Оловянистый припой применяют также для пайки наконечников к проводам. В остальных случаях применяют твердую пайку медно-фосфористым припоем (ПМФ), латунью (Л-62), серебром (ПСр45). Перекрытия проводников (рис. 4) при пайке в тяговых аппаратах приведены в табл. 11.

Таблица 10

Размер резьбы	Допустимый продолжительный ток I_n , А		
	Зажим с токоведущим болтом		Нетокведущий зажим
	латунь	медь	сталь
M4	10 ÷ 15	—	10 ÷ 15
M5	25 ÷ 40	—	25 ÷ 4,0
M6	46 ÷ 63	—	60 ÷ 100
M8	90 ÷ 110	110 ÷ 200	150 ÷ 230
M10	—	150 ÷ 250	250 ÷ 360
M12	—	210 ÷ 320	360 ÷ 480
M16	—	330 ÷ 470	600 ÷ 760
M20	—	480 ÷ 650	910 ÷ 1100
M24	—	650 ÷ 830	1300 ÷ 1600
M30	-	900 ÷ 1100	2000 ÷ 2500

Таблица 11

Соединение	Материал	Припой	C (не менее)
Шины	Медь, латунь, бронза	ПМФ	5

Шины	То же	ПСр45	4
Шины с заклепками	«	ПОС30	4
Провод в наконечнике	Медь, латунь	ПОС30	1,5
Вывод резистора	Медь, фехраль	Л-62	12

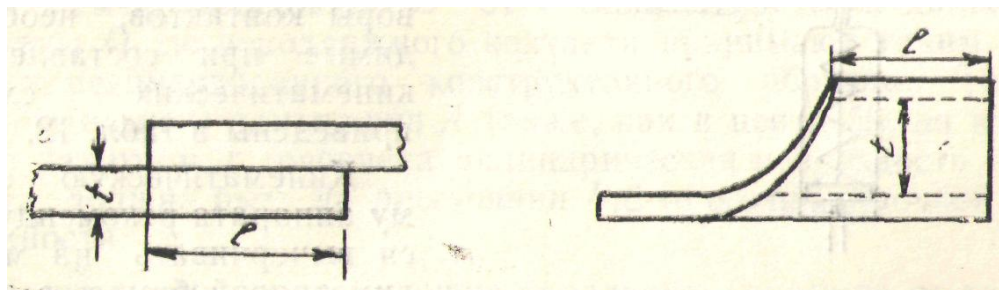


Рис. 4. Размеры перекрытия $\left(C = \frac{l}{t}\right)$

4. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И ПРОВЕРКА ПРИТИРАНИЯ КОНТАКТОВ

4.1. Построение кинематических схем коммутационных аппаратов

Кинематическая схема коммутационного аппарата представляет взаимодействие *всех* частей (звеньев) его механизма. Она позволяет рассчитать необходимые силы привода, параметры и характеристики пружин, статические тяговые характеристики, притирание и провал контактов. Кинематические схемы аппаратов строят также, как подобные схемы других механизмов, рассматриваемые в теории машин и механизмов. Пример такой схемы для электропневматического индивидуального контактора приведен на рис. 5.

При курсовом проектировании не рассматривают несколько возможных вариантов кинематики аппарата, как это делают при рабочем проектировании. Обычно принимают ту же кинематическую схему, что и у рекомендованного образца аппарата. В ней уже обобщен опыт изготовления и эксплуатации аппаратов определенного класса. Надо составить кинематическую схему рекомендованного образца, проанализировать ее пригодность для заданного аппарата и при необходимости внести некоторые изменения в схему. Так, например, заранее можно учесть изменение числа и вида блокировочных контактов, и в зависимости от характеристики и параметров притирающей

пружины изменить ее расположение в кинематической схеме при последующих этапах проектирования.

Первоначальные растворы контактов, необходимые при составлении кинематических схем, приведены в табл. 12.

Кинематическую схему аппарата рекомендуется вычерчивать на миллиметровой бумаге с соблюдением всех размеров, углов поворота и других величин. Для мелких аппаратов масштабы схемы желательно увеличивать.

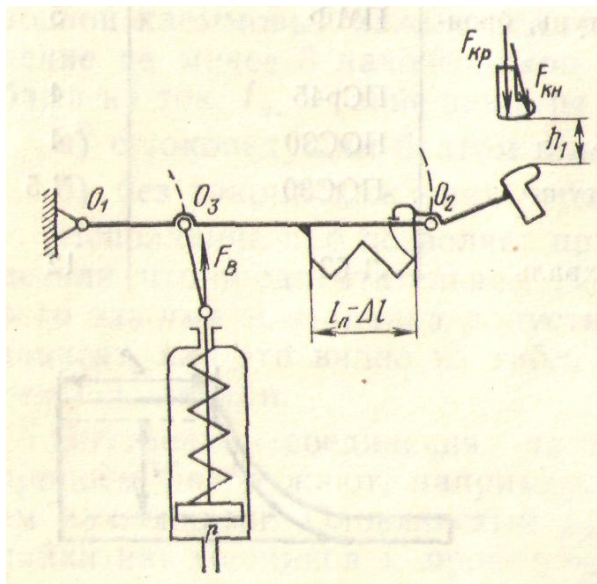


Рис. 5. Кинематическая схема электропневматического контактора

Таблица 12

Напряжение U_n , В	Раствор контактов, мм	
	Минимальный $h_{1,м}$	Рекомендуемый h_t
До 110	2	2,5 ÷ 4
550 ÷ 750	7 ÷ 10	12 ÷ 18
1500	12 ÷ 16	18 ÷ 25
3000	15 ÷ 20	25 ÷ 40

4.2. Проверка притирания коммутационных контактов и расчет притирающих устройств

Все коммутационные контакты силовых цепей тяговых аппаратов должны иметь притирание контактных поверхностей и удаление точки первоначального контакта (точки размыкания) $l \cong 10 \div 25$ мм от точки рабочего контакта. Величина притирания должна быть $\Delta l \cong (0,1 \div 0,3) l$. Меньшие

величины l и Δl — для металлокерамических контактов и малых токов. При больших токах и медных контактах обе величины ближе к верхним пределам.

Обычно размерами (профилем) стыковых грибковых контактов задаются в зависимости от величины l , а величину Δl определяют поверочным графическим построением, принцип которого ясен из рис. 6.

Чертеж рекомендуется выполнять в масштабе 2:1 или 5:1. Обычно расстояние L от точки поворота подвижной системы O_1 до неподвижного контакта принимают таким же, как у рекомендованного конструктивного образца. Точка окончательного замыкания A также, как и центр $Ц_1$ из которого радиусом r очерчена цилиндрическая поверхность контакта, должна быть на расстоянии $b/2$ от его привалочной поверхности.

Точку размыкания B можно определить, отложив от точки A величину $AB = l$. Положение контакта при размыкании можно получить графическим построением. Для этого радиус $Ц_1B = r$ продолжают за точку B и, отложив на

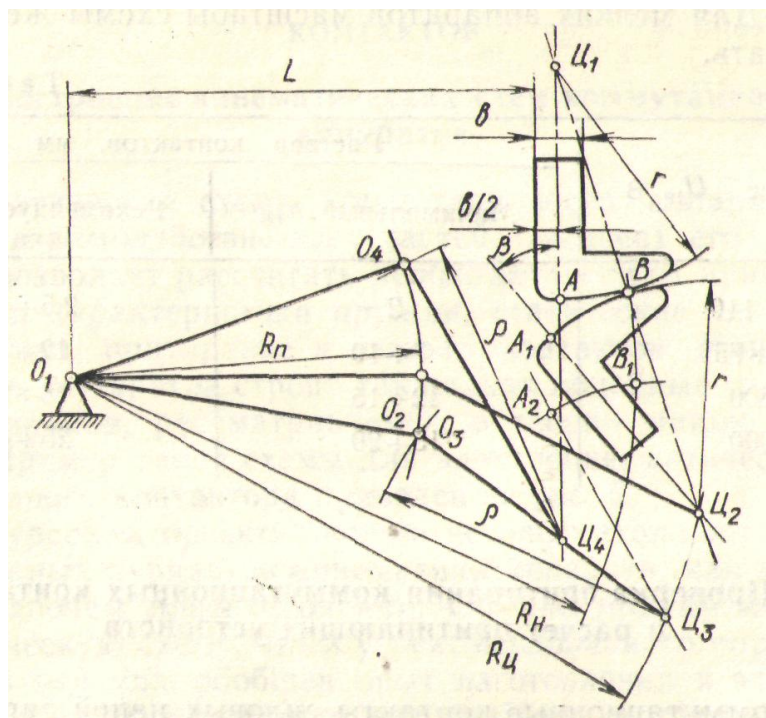


Рис. 6. Определение перемещений подвижной системы контактора
 этом продолжении r , определяют центр $Ц_2$ цилиндрической поверхности подвижного контакта. Обычно оба контакта одинаковы, и контактную поверхность подвижного контакта при размыкании описывают радиусом r из точки $Ц_2$. Весь подвижный контакт можно вычертить, определив положение

точки A_1 , соответствующей его касанию в рабочем состоянии. Для этого на поверхности подвижного контакта откладывают отрезок A_1B

$$A_1B = l + \Delta l \text{ или } A_1B = l - \Delta l. \quad (4.1)$$

Положение (подвижного контакта в состоянии окончательного размыкания определится переходом точки B в B_1 при ее повороте радиусом R_n из центра O_1 . Величина $BB_1 = h_1$, соответствует раствору контактов по табл. 4.1. Точка Π_2 одновременно переместится в Π_3 поворотом радиусом R_n из центра O_1 . Желательно вычертить подвижный контакт в этом положении, определив точку A_2 из условия $A_2B_1 = A_1B$, и исходя из положений точек Π_3 , A_2 , B_1 . Его также вычерчивают при окончательном замыкании контактов. При этом точки A обоих контактов совмещаются, а центр цилиндрической поверхности подвижного контакта Π_4 определяют, продолжив радиус Π_1A и отложив на его продолжении $A\Pi_4 = r$.

Величину R_n определяют из следующих приближенных зависимостей:

$$R_n \cong r\alpha / \beta, \quad (4.2)$$

где β , α — углы поворота контакта и рычага подвижной системы при притирании контакта;

$$R_n \cong \Delta l (1 - \cos \alpha). \quad (4.3)$$

С учетом размещения подвижной системы выбирают наиболее выгодный вариант системы, включая и величину R_n . При курсовом проектировании можно использовать соотношения конструктивного образца. После определения положения точки O_2 определяют положение точек O_3 и O_4 . При исходном состоянии определяют расстояние $\rho = O_2\Pi_2$. Точки O_3 , O_4 в разомкнутом и замкнутом состояниях получим, засекая траекторию шарнира радиусом ρ из точек Π_3 и Π_4 . Величину R_n приходится изменять, когда угол $\alpha > 20^\circ \div 30^\circ$ или когда траектория шарнира не пересекается дугами радиусом ρ из центров Π_3 и Π_4 .

Если параметры притирающего механизма известны, достаточно лишь проверить величину проскальзывания (притирания) контактов. На рис. 7 такая проверка приведена для случая, когда неподвижный контакт — грибового

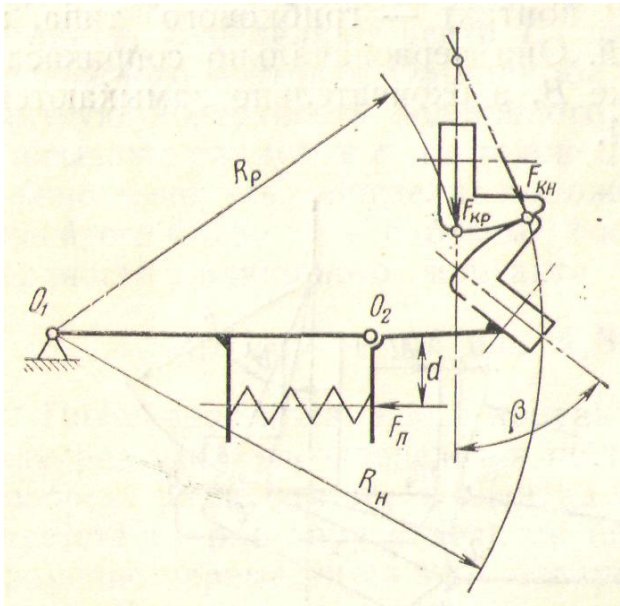


Рис. 8. Определение сил, действующих на притирающую пружину

$$F_{\text{пр}} \cong F_{\text{кр}} R_{\text{р}} / d. \quad (4.7)$$

Жесткость пружины $J_{\text{п}}$ должна быть равна

$$J_{\text{п}} \cong (F_{\text{пр}} - F_{\text{пн}}) : (\Delta l_{\text{пр}} - \Delta l_{\text{пн}}). \quad (4.8)$$

где $\Delta l_{\text{пн}}$, $\Delta l_{\text{пр}}$ — предварительное сжатие пружины и ее сжатие при рабочем давлении соответственно.

$$\Delta l_{\text{пр}} - \Delta l_{\text{пн}} \cong d \sin \beta, \quad (4.9)$$

где β — предельный угол поворота подвижного контакта (рис. 6).

Величины $F_{\text{пв}}$, $F_{\text{пр}}$, $J_{\text{п}}$ позволяют выполнить конструктивный расчет пружины и определить ее размеры. Для исключения искривления оси пружины надо предусматривать ножевые опоры или другие подобные устройства.

Притирание точечных контактов силовых цепей при $I_{\text{н}} \geq 40 \div 50$ А рассчитывают также, как и линейных. Притирание точечных серебряных контактов цепей управления осуществляется за счет свободных зазоров в их шарнирных и направляющих устройствах и в расчете не нуждается.

В этой части работы надо также уточнить и, если нужно, скорректировать кинематическую схему аппарата, выявить условия размещения притирающей пружины, получить исходные данные для расчета тяговой характеристики. Для аппаратов без дугогашения после этого можно переходить к работам разд. 5.

Если имеется магнитное дугогашение, то рекомендуется предварительно провести его расчет и конструктивную компоновку. Иногда конструкцию притирающего механизма приходится корректировать по условиям размещения дугогасительной системы.

5. СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ И ТЯГОВАЯ ДИАГРАММА АППАРАТА

5.1. Исходные данные

Диаграммы сопротивлений движению (перемещению) $\Sigma F_c(x)$ и сил, развиваемых приводом $F_n(x)$, составляют тяговую диаграмму и должны выполняться по возможности более точно. Исходными данными для них являются: кинематическая схема с предельными положениями звеньев, силы нажатия контактов $F_{кн}$ и $F_{кр}$, характеристика притирающей пружины, характеристики контактов цепей управления, фиксирующих, индикаторных и других устройств, характеристики сил трения, характеристики пневматического привода или электромагнита. Получение ряда исходных данных ранее рассмотрено. Некоторые из них уточняются последующими расчетами.

5.2. Приведенные силы и характеристики пружин

Для электропневматических индивидуальных коммутационных аппаратов все силы обычно приводят к шарнирному соединению штока поршня с рычагом подвижной системы. В электромагнитных аппаратах — это точка на якоре по оси полюса магнитопровода.

В общем случае любая сила F_i , создающая в системе момент M_i , соответствует приведенной силе F'_i

$$F'_i = M_i / R_{пр}, \quad (5.1)$$

где $R_{пр}$ — расстояние от точки приложения силы F'_i до центра поворота O_1 (рис. 5÷8).

Далее все приведенные силы отмечены штрихом. Так, приведенная сила притирающей пружины F'_n по рис. 8 равна

$$F'_n = F'_{tt} d / R_{пр}. \quad (5.2)$$

Силы трения $\Sigma F'_T$ в коммутационных аппаратах имеют случайный характер и при проектировании эти силы в различных частях подвижной системы, а также F_{TB} — в пневматическом приводе обычно считают постоянными. На рис. 9 приведена зависимость расчетных сил трения F_{TB} от диаметра цилиндра d_B для поршневых приводов.

На первом этапе проектирования силы трения $\Sigma F'_T$ обычно объединяют с приведенным весом подвижной системы G' , который еще также неизвестен точно. Ориентировочно принимают

$$\Sigma F'_T + G' \cong (0,08 \div 0,11) F'_{кр} \cong \text{const.} \quad (5.3)$$

При расчете реле эти силы из-за их малости во внимание не принимают, учитывая лишь силы контактов и пружин. По условиям размыкания электропневматического аппарата сила начального сжатия выключающей пружины F_{B0}

$$F'_{B0} \geq F_{TB} + \Sigma F'_T - G' \quad (5.4)$$

соответствующая приведенная сила при электромагнитном приводе

$$F'_{B0} \geq \Sigma F'_T - G' \quad (5.5)$$

По условиям размыкания сварившихся контактов наибольшая сила выключающей пружины для электропневматических аппаратов

$$F_{B0} \cong 2 F'_{кр} + \Sigma F'_T - F_{TB} - G' - F'_{пб} \quad (5.6.)$$

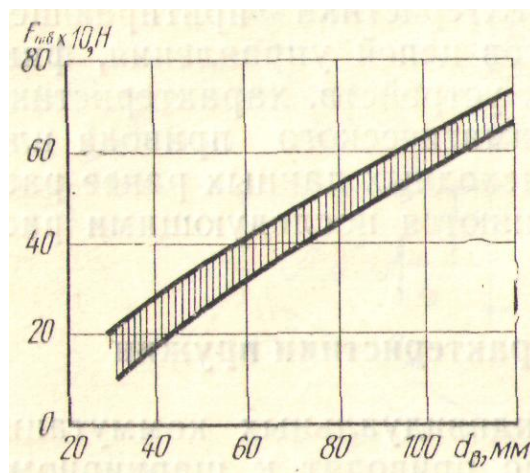


Рис. 9. Зависимость $F_{TB}(d_B)$

и для электромагнитных аппаратов

$$F'_{B0} \cong 2 F'_{кр} + \Sigma F'_T - G' - F'_{пб}, \quad (5.7)$$

где $F_{п6}$ —наибольшая приведенная сила притирающей пружины.

Необходимая жесткость выключающей пружины $Ж_в$

$$Ж_в \cong (F_{в6} - F_{во})/X, \quad (5.8)$$

где X — полный ход привода в точке приведения до полного замыкания контактов.

аже обычно определяют характеристики выключающей пружины и для реле оперативной коммутации, у которых не нужно знать величину срабатывания при точных значениях входного сигнала. Если привод реле выполняет роль чувствительного элемента (реле защиты), то выключающая пружина служит также органом регулирования. Ее жесткость выбирают так, чтобы можно было регулировать уставку аппарата в заданных пределах и с нужной точностью. Коэффициент регулирования C_p определяется по формуле

$$C_p = (Y_{y6} - Y_{ym}) / Y_{ym}, \quad (5.9)$$

где Y_{y6} , Y_{ym} — соответственно наибольшая и наименьшая величины уставки (тока, напряжения и др.).

У реле с малым диапазоном регулирования — $C_p = 0,2$, а при большом диапазоне — $C_p \cong 0,5$. Наименьшую силу выключающей пружины $F'_{во}$ определяют по кинематической схеме аппарата и величине нажатия контактов. Сила, развиваемая выключающей пружиной, обычно пропорциональна показателю уставки реле ($F_B \cong Y_y$) и наибольшее ее значение определяется по формуле

$$F_{в6} = F_{вм} (1 + C_p) \quad (5.10)$$

Точность регулирования ($\varepsilon_p \rightarrow 0$) определяют относительным приращением показателя уставки между смежными фиксированными состояниями механизма регулирования ΔY_y , а именно

$$\varepsilon_p = \Delta Y_y / (Y_{y6} - Y_{ym}). \quad (5.11)$$

Обычно задаются величиной $0,01 < \varepsilon_p < 0,1$ в зависимости от назначения реле. Для регулирования обычно попользуют регулировочный винт пружины с фиксацией положений гаек или других устройств в $m = 1, 2, 3$, положениях на один ее оборот. При этом жесткость пружины

$$Ж_{\text{в}} \cong m_p^{\varepsilon} (F_{\text{вб}} - F_{\text{ам}}) / t_p = m_p^{\varepsilon} F_{\text{вм}} C_p / t_p, \quad (5.12)$$

где t_p — шаг резьбы регулировочного винта.

Выключающие (регулируемые) пружины реле выполняют из (калиброванной пружинной проволоки с жесткостью $Ж_{\text{в}} \cong 2,5 \div 7,0$ Н/мм. Силы нажатия контактов цепей управления учитывают при расчете реле и не учитывают при предварительном расчете контакторов. Для мостиковых контактов открытого исполнения обычно $F_{\text{кр}} \cong 8 \div 10$ Н на один контактный мостик при жесткости мостиковых пружин $Ж_{\text{п}} \cong 5 \div 6$ Н/мм. При их защищенном (кожухом) исполнении $F_{\text{кр}} \cong 6 \div 8$ Н и $Ж_{\text{п}} \cong 2,5 \div 3$ Н/мм.

Для восстановления состояния блока мостиковых контактов предусматривают специальную пружину восстановления, общую для всех контактов с силой $F_{\text{блб}} = 8 \div 10$ Н с жесткостью $Ж_{\text{бл}} \cong 0,4 \div 0,6$ Н/мм. Между включающими и выключающими контактами предусматривают зазор $\Delta_{\text{бл}} = 2,5 \div 3,0$ мм. Если реле имеет фиксирующие устройства и им подобные, определяют создаваемые ими силы сопротивления и добавляют к остальным.

5.3. Построение статических тяговых диаграмм

Тяговые характеристики электропневматических аппаратов представляют собой зависимости $F(x)$, где x — перемещение привода из исходного (предельного) положения. Для электромагнитных аппаратов более удобны характеристики $F(\delta)$, где δ — зазор между якорем и полюсом сердечника. Тяговые диаграммы $F(x)$ и $F(\delta)$ подобны, но повернуты одна относительно другой на угол 180° от оси ординат.

При пневматическом приводе из тяговой диаграммы (рис. 10) можно определить полную необходимую силу сжатого воздуха $F_{\text{про}}$

$$F_{\text{про}} \geq F_{\text{тв}} + \sum F'_{\text{т}} + G' + F_{\text{вб}} + F'_{\text{кр}}. \quad (5.13)$$

Соответственно необходимый диаметр цилиндра (в м)

$$d_{\text{в}} \cong 2\sqrt{F_{\text{про}} / (p_{\text{м}})}, \quad (5.14)$$

где $p_{\text{м}} \cong 3 \cdot 10^5$ Па — наименьшее давление сжатого воздуха, при котором аппарат должен сработать.

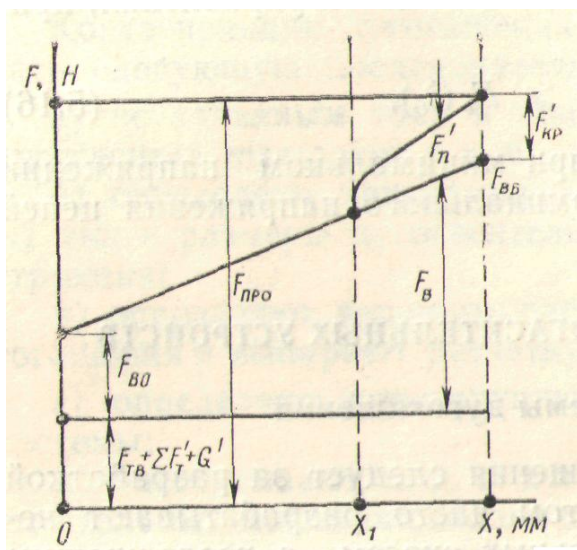


Рис. 10. Статическая тяговая диаграмма электропневматического контактора

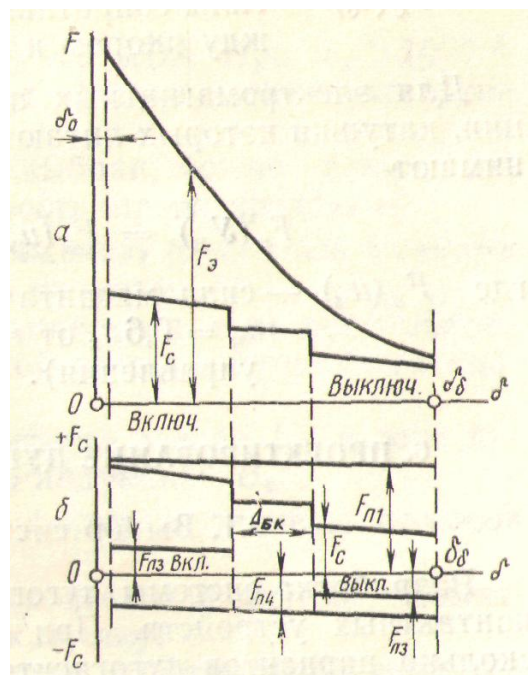


Рис. 11. Тяговая диаграмма:
а) электромагнитного реле,
б) сопротивлений перемещениям

По расчетным значениям d_B и X стараются подобрать привод из числа существующих или нормированных. Затем проводится поверочный расчет привода и аппарата. В курсовом проекте такой расчет можно не делать.

Характеристики электромагнитного привода нелинейны (рис. 11) и поэтому их нельзя определить какой-то одной точкой. При полном притяжении якоря к сердечнику во избежание его прилипания предусмотрен зазор δ_0 . При проектировании электромагнитных аппаратов часто подбирают электромагниты из числа существующих и ограничиваются лишь проверкой его пригодности для аппарата. Расчет электромагнита по принципу конструктивного подобия или методом проверки производят лишь тогда, когда не удастся подобрать готовый электромагнит. В курсовом проекте такой расчет обязателен.

При выборе электромагнита для аппарата защиты должно выполняться условие

$$F_э(Y_M) \geq F_с(\delta_0), \quad (5.15)$$

где $F_э(Y_M)$ — сила электромагнита при минимальной уставке реле;

$F_c(\delta_6)$ — силы сопротивления при наибольшем зазоре между якорем и сердечником.

Для электромагнитных аппаратов оперативной коммутации, катушки которых питаются током цепей управления, принимают

$$F_3(Y_M) = F_3(u_M) \geq F_c(\delta_6), \quad (5.16)$$

где $F_3(u_M)$ — сила магнита при минимальном напряжении ($u_M = 0,6u_n$ от номинального напряжения цепей управления).

6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

6.1. Выбор системы дугогашения

Разработка системы дугогашения следует за разработкой контактных устройств. При этом часто разрабатывают несколько вариантов дугагасительных систем с последующим испытанием образцов и выбором наилучшего. В курсовом проекте можно ограничиться разработкой лишь одного варианта, обосновав его выбор.

Дугогасительные устройства предусматривают в коммутационных аппаратах, предназначенных для размыкания электрических цепей при токопрохождении в них. Можно не предусматривать дугогашения в случаях, если токи в цепи ограничены величиной $2 \div 4$ А и при любых токах, если напряжение размыкаемой цепи постоянного тока $U_n \leq 50$ В и переменного тока — $U_n \leq 110$ В, а индуктивность цепей невелика.

Различные виды дугогашения принимают в следующих случаях:

а) деионные решетки как основное дугагасительное устройство применяют при постоянном и пульсирующем токах до $100 \div 120$ А и напряжении до 380 В. При переменном токе того же напряжения величина тока не ограничена. В дополнение к системам магнитного дугогашения деионные решетки используют для ограничения выброса дуги из дугогасительной камеры;

б) электромагнитное дугогашение имеет наиболее широкое распространение во всех тяговых аппаратах. Его можно применять практически при любых токах и напряжениях;

в) воздушное дугагашение применяют обычно для главных выключателей локомотивов переменного тока с разрывными мощностями порядка $(1 \div 2) \cdot 10^5$ кВА. При $I_n > 1000$ А для деионизации предусматривают продувку дугогасительной камеры сжатым воздухом.

Когда принцип дугогашения выбран, можно рекомендовать следующую последовательность проектирования:

- а) по заданному току и напряжению рассчитать размеры дугогасительных рогов и выбрать их форму;
- б) определяют критическую длину дуги и по ней выбирают тип и размеры дугогасительной камеры с учетом ее конструкции;
- в) определяют величину расчетного зазора l_z в зоне дугогашения и выбирают расчетную индукцию B_{ac} ;
- г) определяют конструкцию, форму и размеры полюсов системы;
- д) рассчитывают м.д.с. дугогасительной системы, элементы стальных матнитопроводов и катушку;
- е) разрабатывают окончательную конструкцию элементов дугогашения и их компоновку в аппарате.

6.2. Расчет дугогасительных рогов и деионной решетки

Конструкцию дугогасительных рогов можно принять по опыту уже выполненных образцов. Поперечное сечение литых рогов рекомендуется принимать Т- или П-образной формы. На рис. 12 приведена зависимость развернутой длины дугогасительного рога l_p от номинального напряжения U_n , а на рис. 13 — зависимость среднего поперечного сечения S_p от номинального тока аппарата I_n . Чаще всего рог неподвижного контакта служит держателем этого контакта и дугогасительной катушки. Рог подвижного контакта обычно закрепляют в съемной дугогасительной камере.

При расчете деионных решеток прежде всего определяют число пластин

$$n \geq U_n / (U_a + U_k), \quad (6.1)$$

где $U_a + U_k = 20 \div 28$ В — расчетные анодное и катодное падения напряжения в дуге.

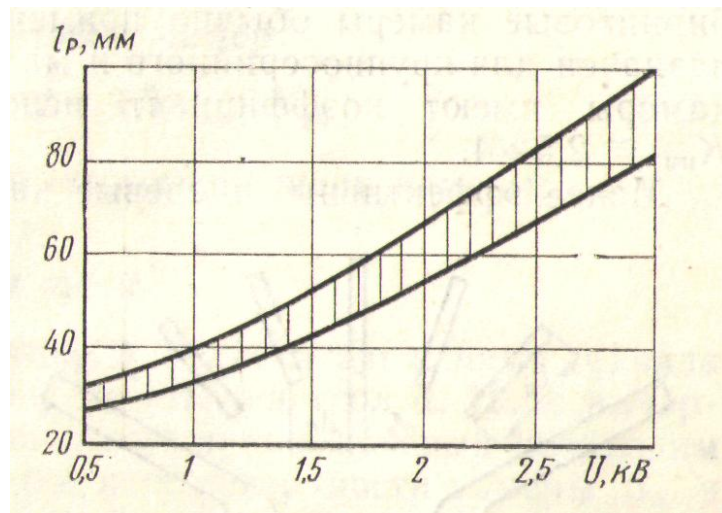


Рис. 1.2. Зависимость развернутой длины дугогасительного рога от напряжения

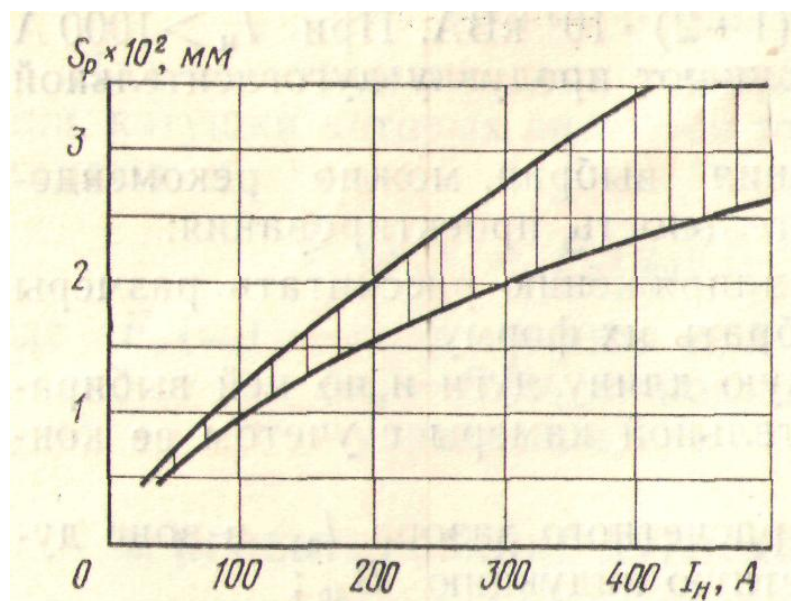


Рис. 13. Зависимость среднего поперечного сечения дугогасительного рога от номинального тока

Толщина пластины решетки обычно $\delta_{\text{п}} = 2 \div 3$ мм (рис. 14).

Высоту пластины l , (в мм) можно приблизительно определить по формуле

$$l_{\text{п}} \geq 0,173 \delta_{\text{п}}^2 t_{\text{г}}^3 \sqrt{I_{\text{н}}} , \quad (6.2)$$

где $t_{\text{г}}$ — время горения дуги в зоне денежной решетки ($t_{\text{г}} \cong 0,1$ с).

Расстояние между пластинами должно быть $\Delta_{\text{п}} \leq 10 \div 15$ мм. При использовании деионной решетки как дополнительного устройства принимают

$l_{\pi} \leq 14 \div 16$ мм, а число пластин снижают в $1,6 \div 2$ раза по сравнению с рассчитанным по формуле 6.1.

6.3. Выбор конструкций и размеров дугогасительной камеры

В тяговых коммутационных аппаратах (применяют следующие типы дугогасительных камер: однощелевые с широкой щелью, однощелевые с узкой щелью, многощелевые, лабиринтовые. При выборе типа камеры учитывают и некоторые конструктивно-технологические соображения. Монолитные лабиринтовые камеры обычно применяют, если аппарат предназначен для крупносерийного и массового производства. Эти камеры имеют коэффициент использования пространства $K_{\text{ип}} \cong 2,5 \div 4$.

Менее эффективны щелевые камеры, у которых $K_{\text{ип}} \cong 0,8 \div 0,9$, но технологически они более просты и не требуют сложной оснастки. Однощелевые камеры с широкой щелью и деионной решеткой применяют в низковольтных аппаратах переменного тока, многощелевые - в аппаратах

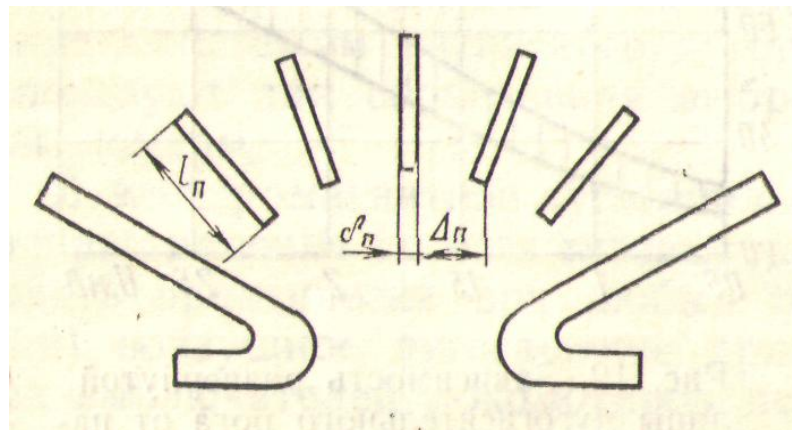


Рис. 14. Размеры деионной решетки

постоянного и пульсирующего тока при отсутствии жестких габаритных ограничений в условиях мелкосерийного производства.

Размеры дугогасительной камеры определяют из условий размещения в ней дуги критической длины $l_{\text{дк}}$ при заданной разрывной мощности P_p (кВА), которой соответствует ток

$$I_p = P_p \cdot 10^3 / U_n. \quad (6.3.)$$

Расчетная критическая длина открытой дуги $l_{\text{док}}$ (в мм)

$$l_{\text{док}} \cong 0,13 U_n \sqrt[3]{I_p}. \quad (6.4)$$

Для дуги в камере с ограничивающей деионной решеткой

$$l_{дк} \cong 0,067 U_n \sqrt[3]{I_p} . \quad (6.15)$$

Для щелевых камер основные размеры можно определить

$$a_1 + a_2 + b = l_{дг} / K_{ип} , \quad (6.6)$$

где a_1 и a_2 — расстояния от концов соответственно верхнего и нижнего дугогасительных рогов до кромки выхлопной щели, мм;

b — размер выхлопной щели, приблизительно равный расстоянию между концами рогов, мм.

Если в принятом варианте размеры камеры приходится увеличивать, то в первую очередь увеличивают размеры a_1 и a_2 , а затем — l_p и b .

Для секторных лабиринтовых камер

$$b = \alpha R \cong (1,2 \div 1,3) l_{дк} / K_{ип}, \quad (6.7)$$

где b — развернутая длина выхлопной щели камеры;

α — ее дуга в радианах;

R — радиус выхлопной щели.

Если полученная величина b недостаточна, надо сначала увеличивать значения R и l_p , а затем и угол α . Надо вычертить в масштабе эскиз узла дугогашения, который необходим для определения площади боковой поверхности камеры S_K и площади полюса $S_{п} \cong (0,5 \div 0,6) S_K$. В курсовом проекте форму полюса можно принять как у рекомендованного образца аппарата.

6.4. Расчет электромагнитной дугогасительной системы

При расчете систем магнитного дугогашения задаются средней расчетной величиной индукции B_k . Их рекомендованные значения приведены в табл. 13.

Таблица 13

Род тока	Вид аппарата	$B_{до}, Т$
Постоянный и пульсирующий	Аппараты оперативной коммутации	0,01 -0,025
	Аппараты прямой защиты	0,05+0,10
	Быстродействующие автоматические выключатели	0,08+0,15
Переменный	Аппараты оперативной коммутации	0,006+0,009
	Аппараты прямой защиты	0,008 + 0,03

Обычно при расчете дугогасительных систем не учитывают падения магнитного напряжения в стальных частях системы, а определяют необходимую м.д.с. F_d только исходя из расчетного зазора l_b ,

$$l_b \cong b_k + 2\delta_{\text{дк}} + 2\Delta_m, \quad (6.8)$$

где b_k — ширина контакта;

$\delta_{\text{дк}} \cong 8 \div 12$ мм — толщина стенки камеры;

$\Delta_m \cong 2 \div 3$ мм — величина монтажного зазора.

М. д. с. дугогасительной системы

$$F_d \cong F_B \cong 0,8 B_{\text{дс}} l_b \sigma \cdot 10^3, \quad (6.9)$$

где σ — коэффициент рассеяния, значения которого даны в табл. 14.

После определения величины м. д. с. определяют число витков дугогасительной катушки

$\omega_d \cong (1.6 \div 2.0) F_d / I_n$. (6.10) Далее рассчитывают стальной магнитопровод системы, определяя расчетный магнитный поток (в Вб) в зазоре

Таблица 14

Типы систем	Коэффициент σ
Разомкнутая нешихтованная	4,0 ÷ 6,0
Разомкнутая шихтованная	2,8 ÷ 4,6
П-образная »	1,8 ÷ 2,4
Тороидная »	1,2 ÷ 1,3

$$\Phi_b = B_{\text{дс}} S_{\text{п}}. \quad (6.11)$$

Магнитный поток в сердечнике катушки

$$\Phi_k \cong \Phi_b \sigma = B_{\text{дс}} S_{\text{п}} \sigma. \quad (6.12)$$

В аппаратах постоянного тока оперативной коммутации элементы магнитопроводов изготавливают массивными из конструкционной стали, в аппаратах пульсирующего тока — шихтованными из электротехнической стали, а в аппаратах переменного тока — шихтованными из трансформаторной стали. Индукции $B_{\text{ст}}$ в магнитопроводах должны исключать их насыщение при предельных токах — $B_{\text{ст}} \cong 0,1 \div 0,15$ Т. Дугогасительные катушки чаще всего изготавливают из неизолированных медных шин с намоткой на узкое ребро,

сечения которых приведены в табл. 16. Расчет проволочных катушек для систем дугогашения производят также, как и остальных аппаратных катушек этого типа.

Таблица 15

Высота сечения Л, мм	Продолжительный ток, А								
	при толщине шин, в мм								
	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8
10	62	122	144	166	184	220	254	-	-
12,5	121	150	175	200	223	271	306	-	-
16	153	188	223	254	280	330	380	425	515
20	190	235	275	310	345	405	460	515	620
25	235	290	340	380	420	500	565	630	750
30	283	350	405	456	505	590	670	745	885
35	325	405	470	530	580	680	770	860	1020
40	375	460	535	600	660	775	890	970	1140
45	420	520	600	680	750	870	980	1080	1270
50	465	575	665	750	825	965	1080	1.200	1400

В результате расчета и проектирования по этому разделу должна быть разработана конструкция дугогасительных устройств аппарата.

7. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ ПРИВодОВ ТЯГОВЫХ АППАРАТОВ

7.1. Расчет методом конструктивного подобия

Метод конструктивного подобия обобщает опыт проектирования и изготовления электромагнитов тяговых аппаратов, имеющих одностипные приводы. Он обстоятельно отработан для электромагнитов клапанного типа (рис. 15). Обобщенные размеры различных электромагнитов имеют вид отношений действительных размеров к диаметрам их сердечников d_c . Так, любой обобщенный размер x_0 для действительного x определяется формулой

$$x_0 = x / d_c. \quad (7.1)$$

Перечень обобщенных размеров приведен в табл. 16.

Таблица 16

Размеры электромагнита	Действительный размер	Обобщенный размер
Диаметр полюса.....	d_{Π}	$d_{\Pi 0} = d_{\Pi} / d_c$
Расстояние до скобы	a	$a_0 = a / d_c$
Высота сердечника	B	$B_0 = B / d_c$
Высота наконечника	f	$f_0 = f / d_c$
Толщина магнитопровода	t	$t_0 = t / d_c$
Ширина магнитопровода	m	$m_0 = m / d_c$
Высота катушки.....	H	$H_0 = H / d_c$
Диам. катушки внутр.....	D_B	$D_{B0} = D_B / d_c$
Диам. катушки наруж.	D_{Π}	$D_{\Pi 0} = D_{\Pi} / d_c$

Пределы обобщенных размеров для электромагнитов приведены в табл. 17.

Принцип (конструктивного подобия дает возможность получить и тяговые характеристики электромагнитов, если их конструктивные размеры приблизительно соответствуют приведенным обобщенным размерам. Воздушный зазор также рассматривают как обобщенный относительный показатель.

$$\delta_0 = \delta / d_{\Pi} = \delta / (d_{\Pi 0} d_c) \quad (7.2)$$

Второй относительный условный показатель, характеризующий силу, развиваемую электромагнитом F_e , можно выразить в виде формулы

Таблица 17

Размер	Величина	Размер	Величина
$d_{\Pi 0}$	1,25 ÷ 1,60	m_0	2,50 ÷ 3,75
a_0	1,4 ÷ 1,56	H_0	2,9 ÷ 3,4
b_0	3,0 ÷ 3,7	A_0	0,6 ÷ 1,0
f_0	0,1 ÷ 0,2	D_{B0}	1,0 ÷ 1,25
t_0	0,25 ÷ 0,3	$D_{\Pi 0}$	2,3 ÷ 3,0

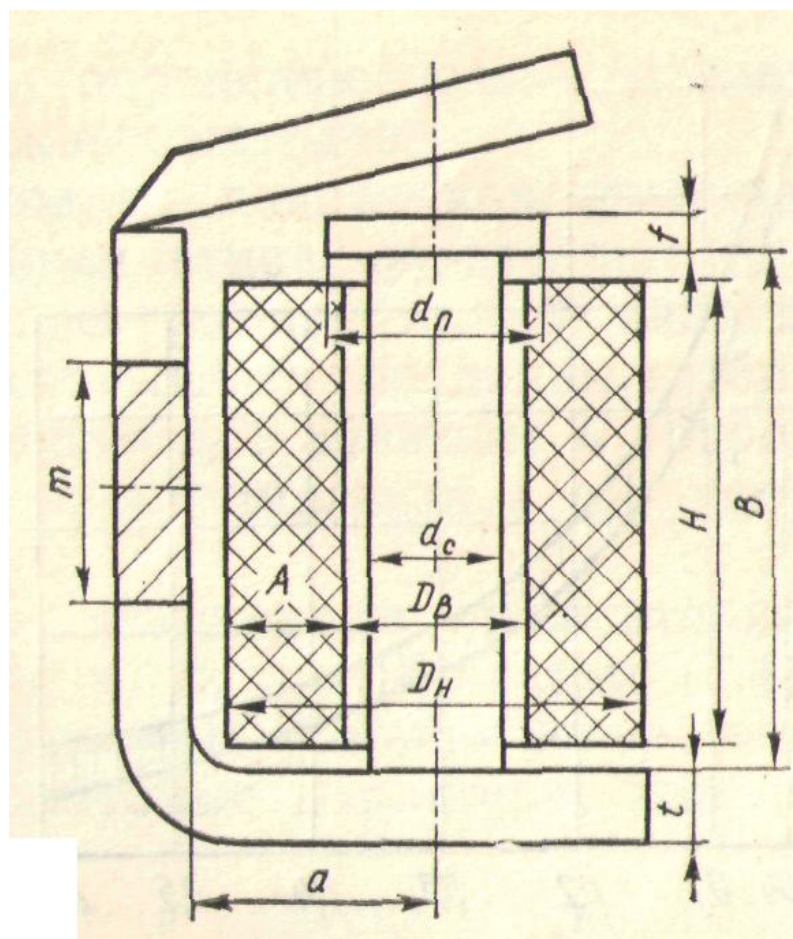


Рис. 15. Схема электромагнита клапанного типа

$$F_0 \cong 714 \sqrt{F_s} / \Theta_m. \quad (7.3)$$

где F_s — сила электромагнита (в Н), необходимая для срабатывания аппарата, т. е. в начале движения его подвижной части;

Θ_m — наименьшая м. д. с, при которой аппарат должен сработать, А.

Для аппаратов защиты Θ_m должна соответствовать показателю минимальной уставки Y_{ym} , а для аппаратов оперативной коммутации — наименьшему напряжению в цепи управления $\Theta_m \cong 0,6 \cdot u_n$.

Безразмерные тяговые характеристики для электромагнитов клапанного типа приведены на рис. 16 в виде зависимости $F_0(\delta_0)$ построенной по данным многих электромагнитов отечественных тяговых аппаратов. Значение $\delta_0 = 0,04$ — минимальный зазор между якорем и сердечником, предотвращающий прилипание якоря. Такие же характеристики для электромагнитов с Г-образным якорем представлены на рис. 17.

При расчете электромагнита по уравнению Максвелла определяют площадь полюсного наконечника S_{Π} (в мм^2)

$$S_{\Pi} = F_{\text{з}} / (k B_{\Pi}^2), \quad (7.4)$$

где $B_{\Pi} \cong 0,04 \div 0,01 \text{ Т}$ — индукция в полюсе при полностью притянutom якорь;

$F_{\text{з}}$ — сила притяжения, Н;

k — постоянная при принятой системе единиц; для магнитов постоянного тока — $k \cong 3,98$ и для переменного тока — $k \cong 1,99$.

Для контакторов из условий полного притяжения якоря

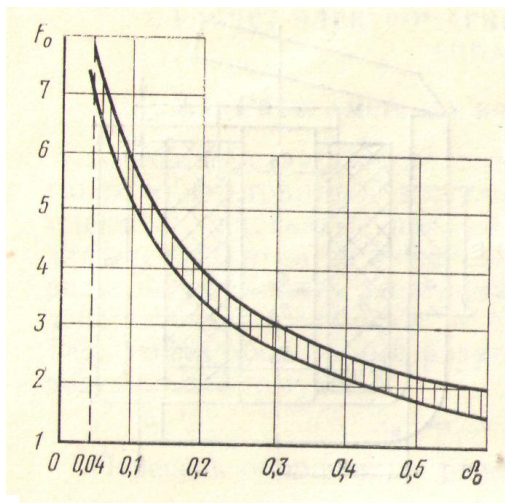


Рис. 16. Зависимость $F_0(\delta_0)$

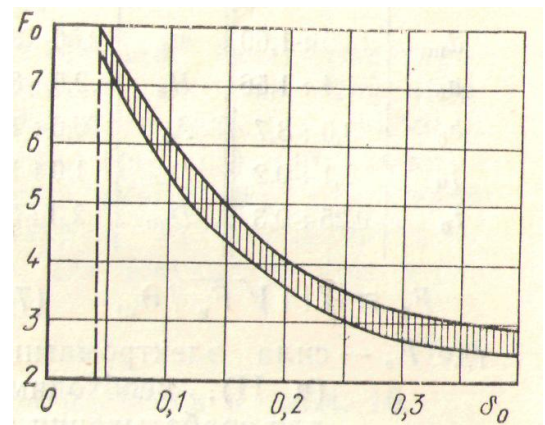


Рис. 17. Зависимость $F_0(\delta_0)$ для электромагнитов с Г-образным якорем

$$F_{\text{з}} = \sum F'_{\text{т}} + G' + F'_{\text{вб}} + F'_{\text{кр}} \quad (7.5)$$

и для реле

$$F_{\text{з}} \geq F'_{\text{сб}} + F'_{\text{кр}}, \quad (7.6)$$

где $F'_{\text{сб}}$ — приведенная сила сопротивления перемещению при притянutom якорь.

Индукцию B_{Π} выбирают так, чтобы при наибольших возможных м. д. с. катушки в сердечнике магнитопровода она не достигала колена насыщения. Имея в виду, что

$$d_{\Pi} = 2\sqrt{S_{\Pi}/\pi}, \quad (7.7)$$

диаметр сердечника можно определить по формуле

$$d_{\text{с}} \cong d_{\Pi} / d_{\text{по}}, \quad (7.8)$$

или площадь его поперечного сечения

$$S_c \cong S_{\pi} / d_{\pi 0}^2, \quad (7.9)$$

где d_0 принимают по табл. 17. Индукция в сердечнике

$$B_c \cong B_{\pi} / d_{\pi 0}^2, \quad (7.10)$$

Индукция в магнитопроводе прямоугольного сечения

$$B_{\pi p} \cong B_{\pi} S_{\pi} / (m_0 t_0 d_c^2). \quad (7.11)$$

Исходя из величин S_{π} и d_c , определяют размеры электромагнита одним из двух возможных методов:

а) используя в качестве исходных данные конструктивного образца. Методом, приведенным выше, определяют величину d_c для рассчитываемого электромагнита. Все значения относительных размеров x_0 рассчитывают по данным образца, а затем по найденным значениям x_0 и величине d_c определяют размеры проектируемого электромагнита и его характеристики;

б) используя как исходные обобщенные относительные размеры. После определения S_{π} и d_{π} по формулам (7.4) и (7.7) в качестве исходных используют обобщенные размеры по табл. 16 и табл. 17 и безразмерные характеристики (см. рис. 16 и 17).

Метод а) предпочтительнее, когда разница в основных параметрах образца и проектируемого аппарата невелика. Во всех остальных случаях можно использовать метод б).

При предварительном расчете электромагнита в первую очередь надо проверить исполнимость системы. Для этого по кинематической схеме аппарата определяют величину δ_0 . По диаграммам рис. 16 или рис. 17 определяют значения F_{06} и F_{0M} , соответствующие этой величине δ_0 , а по формуле (7.3) находят величины Θ_m необходимые для каждого из этих предельных значений F_0 .

$$\Theta_{M1} = 714 \sqrt{F_s} / F_{06}; \quad \Theta_{M2} = 714 \sqrt{F_s} / F_{0M}. \quad (7.12)$$

Для проверки возможности реализации нужных м. д. с. электромагнита определяют площадь его обмоточного пространства Q . По размерам, полученным методом конструктивного подобия, выполняют в масштабе эскиз

магнитной системы, по которому и можно определить Q . При выполнении эскиза надо проверить следующие соотношения: $H \leq b$; $1/2 D_H \leq a$; $A = 1/2 (D_H - D_B)$. В случае необходимости соответствующие размеры корректируют. При этом желательно, чтобы относительные значения размеров x_0 не выходили за пределы величин, указанных в табл. 17. По рис. 15

$$Q = HA = 1/2 H (D_H - D_B). \quad (7.13)$$

Если в аппарате предусмотрена токовая катушка (например, катушка реле перегрузки), то ее наибольшую м. д. с. из условий размещения этой катушки в пределах пространства Q можно определить по формуле

$$\Theta_{\text{до}} = Q k_3 (1 + C_p) j_d. \quad (7.14)$$

где $j_d \leq 2 \div 4 \text{ А/мм}^2$ — удельная плотность тока при его значении I_m ;

k_3 — коэффициент заполнения обмоточного пространства медью;

C_p — коэффициент регулирования (см. формулу (5,11)).

Для шинных катушек, чаще всего применяемых в рассматриваемом случае, величину k_3 можно определить непосредственно конструктивной разработкой катушки или принять ориентировочно такой же, как и для обмоток тяговых электромашин. Можно воспользоваться кривыми рис. VI.24 из [8].

При минимальной уставке I_m величина м. д. с. Θ_{M0} , которая может быть реализована в имеющемся обмоточном пространстве, определится по формуле

$$\Theta_{M0} = Q \cdot k_3 j_d. \quad (7.15)$$

Приблизительно так же определяют значения Θ_0 и при проволочной токовой обмотке. В этом случае коэффициенты заполнения k_3 надо принимать по диаграммам, изображенным на рис. 18, где верхние пределы k_3 — без межрядовых прокладок, нижние — с межрядовыми прокладками по всем рядам. Наиболее часто на тяговые аппараты распространяются данные кривых 2 и 3.

Сравнивая значения Θ_m , полученные по формуле (7.12), с величинами Θ_{M0} (см. формулу (7.15)), определяют выполнимость электромагнита по условиям размещения необходимой токовой катушки. Должно быть $\Theta_{M0} \geq \Theta_m$. Если

окажется, что $\Theta_{\text{мо}} < \Theta_{\text{м}}$, то необходимо так корректировать размеры электромагнита (желательно в пределах данных табл. 17), чтобы соответственно увеличить в нужных пределах площадь обмоточного пространства Q .

Иначе решают обычно вопрос проверки исполнимости при применении потенциальных катушек в аппаратах оперативной коммутации и потенциальных реле. В этом случае удобнее определить необходимую величину площади обмоточного пространства Q_0 в следующей последовательности.

Определяют поперечное сечение проводника q (в мм^2)

$$q = \Theta_{\text{м}} p_{\text{г}} l_{\text{ср}} 106 / u_{\text{м}}, \quad (7.16)$$

где $p_{\text{г}}$ - сопротивление проводника в нагретом состоянии, в первом приближении при температуре, соответствующей нормам выбранного класса теплостойкости изоляции, Ом/м;

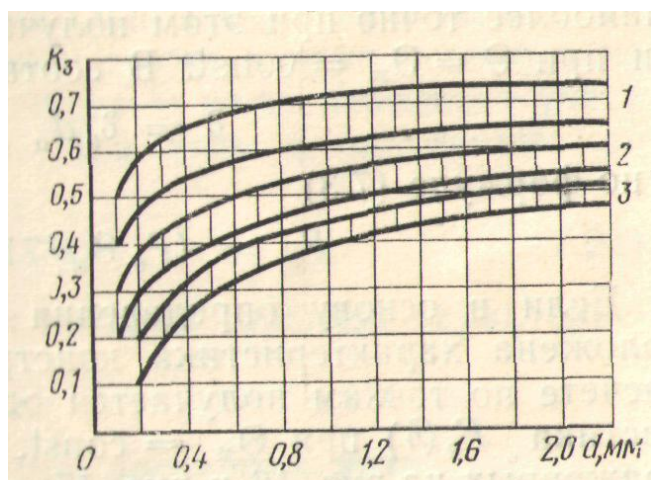


Рис. 18. Зависимость $k_3(d)$: 1 — для эмалированного провода ПЭЛ, ПЭВ, ПЭВА, ПЭТВ и др. 2 — для эмалированного провода с однослойной волокнистой изоляцией: ПЭЛШО, ПЭЛВО и пр. 3 для провода с двухслойной волокнистой изоляцией: ПБД, АПБД, ПСД, АПСАД, ПСКД и др.

u_{bl} — наименьшее напряжение, при котором срабатывает электромагнит, для аппаратов защиты соответствующее минимальной уставке, а для аппаратов оперативной коммутации - $u_m = 0,6 u_H$;

l_{cp} — средняя длина витка обмотки, которую можно принять

$$l_{cp} = \frac{1}{2} \pi (D_H + D_B) \dots \quad (7.17)$$

По полученному значению q определяют диаметр провода

$$d = 2\sqrt{q/\pi} \ , \quad (7.18)$$

В зависимости от величины d по рис. 18 определяют коэффициент заполнения обмотки. Из полученных данных можно определить необходимую площадь обмоточного пространства (в мм²)

$$Q_0 = qc_m / (jk_3 p_T l_{cp}), \quad (7.19)$$

где j — удельная плотность тока, такая же, как и для токовых катушек с учетом класса теплостойкости изоляции. Обмотка исполнима при $Q_b \leq Q$. Если $Q_b > Q$, нужна такая же корректировка размеров, как и для токовых катушек.

Для аппаратов оперативной коммутации — контакторов и оперативных реле — расчет электромагнита можно на этом закончить и нужно лишь построить тяговые характеристики. Для аппаратов защиты и реле повышенной точности (чувствительности) после уточнения конструкции выполняют еще поверочный расчет электромагнита.

7.2. Построение тяговых характеристик по безразмерным характеристикам

С помощью безразмерных характеристик $F_0(\delta_0)$ можно получить тяговые характеристики $F_3(\delta)$ электромагнита.

Наиболее точно при этом получаются тяговые характеристики при $\Theta = \Theta_m = \text{const}$. В соответствии с формулой (7.2)

$$\delta = \delta_0 d_H \quad (7.20)$$

и по формуле (7.3)

$$F_3 = (f_0 \Theta_m / 714)^2. \quad (7.21)$$

Если в основу определения зависимости $F_0(\delta_0)$ была положена характеристика конструктивного образца, то при расчете по точкам получается однозначная тяговая характеристика $F_3(\delta)$ при $\Theta_m = \text{const}$. На базе характеристик, изображенных на рис. 16 и рис. 17, тяговые характеристики неоднозначны. Каждому значению δ_0 соответствуют величины F_0 в пределах от $F_{0\text{м}}$ до $F_{0\text{б}}$, которые представляют собой граничные значения силы тяги при рассматриваемом зазоре. В этом случае рекомендуется построить обе граничные тяговые характеристики $F_3(\delta)$ и $F_{3\text{м}}(\delta)$. Наиболее благоприятную из них выбирают совмещением тяговой характеристики с диаграммой сопротивления движению подвижной системы аппарата (см. п. 5.3).

Для контакторов и других аппаратов оперативной коммутации обычно достаточно построить тяговые характеристики при $\Theta = \Theta_m = \Theta(0,6\alpha_n)$. Полученная тяговая диаграмма позволяет судить о достаточности силы, развиваемой магнитом при минимальной м. д. с. его катушки. Она нигде не должна пересекаться с диаграммой сопротивления движению. При любых δ должно быть $F_3 > F_c(\delta)$. Если это условие не выполняется, то надо увеличить силу электромагнита F_3 . Для этого можно увеличить диаметр полюса d_n с последующим повторным расчетом системы.

Особенно в аппаратах, рассчитанных на большие токи (контакторы), нежелательна большая разница между $F_3(\delta)$ и $F_c(\delta)$, так как при этом сильно возрастают ускоряющие силы

$$F_y(\delta) = F_3(\delta) - F_c(\delta), \quad (7.22)$$

Это приводит к отскакиванию контакта в момент включения. Обычно корректировка при этом нужна лишь тогда, когда

$$F_{y\text{м}}(\delta) \geq 0,5 F_c(\delta), \quad (7.23)$$

где $F_{y\text{м}}(\delta)$ — наименьшая величина ускоряющей силы.

В некоторых случаях необходимо построить не только зависимость $F_3(\delta)$ при $\Theta_m = \text{const}$, но и при других значениях м. д. с., например, при ее номинальной Θ_n или наибольшей величине Θ_b . Эти характеристики также можно получить из безразмерных, но с меньшей точностью из-за неполного учета насыщенности электромагнита. При этом δ определяют по формуле (7.20).

$$F_3 = (F_0 \Theta / 714)^2, \quad (7.24)$$

где Θ — величина м.д. с., для которой строится характеристика.

7.3. Поверочный расчет электромагнита

Поверочному расчету подвергают электромагнит с уже установленными размерами магнитопровода. Из большого числа различных методик поверочных расчетов здесь приведен метод, наиболее широко применяемый ВЭЛНИИ. В качестве примера выбрана магнитная система, представленная на рис. 19, несколько более совершенная, чем приведенная на рис. 16. Она имеет магнитопровод П-образной формы без соединительных стыков, изготовленный штамповкой из круглого прутка. Сердечник катушки ее расплюсчен и имеет круглое сечение. По длине l_3 — постепенный переход от круглого к прямоугольному сечению, которое сохраняется и на участке l_t .

Расчет начинают с определения магнитных проводимостей воздушного зазора G_δ , которая складывается из проводимости G_1 по площади полюса, проводимостей распушения: G_1 — по верхней кромке полюса и G_2 — по его нижней кромке:

$$G_\delta = G + G_1 + G_2. \quad (7.25)$$

Соответственно величина G определится по формуле

$$G \cong \frac{\pi r_{II}^2}{\delta} \mu_0 \left(1 + \frac{r_{II}^2}{4G_1^2} \right) \cdot 10^{-4}, \quad (7.26)$$

где μ_0 — магнитная проницаемость воздуха, Гн.

$$G_1 \cong 0,58 \mu_0 [5,14r_{II} + 1,576\delta] 10^{-4}, \quad (7.27)$$

$$\sigma_{cp} = 1 + 2/3\alpha b. \quad (7.34)$$

Величина α изменяется с изменением воздушного зазора и ее надо подсчитать для 4÷5 значений δ в пределах от δ_6 до δ_M , а затем построить график зависимости $\sigma_{cp}(\delta)$. Задаваясь 4÷5 возможными величинами потока Φ_δ в воздушном зазоре и используя зависимость $\sigma_{cp}(\delta)$, определяют среднюю величину магнитного потока в системе при различных зазорах

$$\Phi_{cp} = \Phi_\delta \sigma_{cp}. \quad (7.35)$$

Для тех же условий средние потоки рассеяния Φ_{scp}

$$\Phi_{scp} = \Phi_{cp} - \Phi_\delta = \Phi_\delta (\sigma_{cp} - 1). \quad (7.36)$$

Затем определяют м. д. с., необходимые для проведения магнитных потоков принятых течений Φ_δ . Так, м. д. с. Θ_δ для приведения потока Φ_δ зависит от величины зазора и определяется по формуле

$$\Theta_\delta = \Phi_\delta / G_\delta. \quad (7.37)$$

М. д. с, Θ_s на потоки рассеяния определяют

$$\Theta_s = \Phi_{scp} / (g_s b). \quad (7.38)$$

М. д. с, компенсирующие падения магнитного напряжения на стальных участках магнитной цепи, определяют по формуле

$$\Theta_{CT} = \sum_{i=1}^n \Theta_{CTi}, \quad (7.39)$$

где n — число участков магнитной цепи;

Θ_{CTi} — падение магнитного напряжения на любом участке i ,

В рассматриваемой системе, как показано на рис. 19, можно выделить 4 участка: 1 —якорь, 2 — сердечник, 3 — ярмо, 4—стержень. Для каждого участка определяют длину l_i и площадь поперечного сечения S_i . Для принятых потоков Φ_δ и Φ_{cp} находят индукции на участках

$$B_i = \Phi_{cp} / S_i. \quad (7.40)$$

По характеристикам намагничивания стали находят напряженность магнитного поля на каждом участке H_i и определяют величины Θ_{CTi}

$$\Theta_{CTi} = H_i l_i. \quad (7.41)$$

Наиболее удобны табулированные значения кривых намагничивания. Так, можно использовать таблицы прил. 2 книги «Проектирование тяговых электрических машин». Под ред. М. Д. Находкина, М.: Транспорт, 1976.

По данным проделанных расчетов вычисляют полную м. д. с. системы

$$\Theta = \sum \Theta_i = \Theta_\delta + \Theta_{CT} + \Theta_s. \quad (7.42)$$

Полученные данные позволяют определить силы тяги электромагнита F_δ . Наиболее удобно их рассчитывать в виде зависимостей $F_\delta(\Theta)$ при $\delta = \delta_1, \delta_2, \dots = \text{const}$. При этом F_δ (в Н) имеет вид

$$F_\delta = 63 \Theta_\delta^2 S_\Pi k_\phi \cdot 10^{-8/\delta^2}, \quad (7.43)$$

где S_Π — площадь полюсного наконечника, ом^2 ;

k_ϕ — коэффициент, учитывающий форму магнитопровода.

Для магнитопровода по рис. 19 — $k_\phi = 1,03$.

После построения зависимостей $F_\delta(\Theta)$ для различных значений δ имеется непосредственная возможность построить по ним любые необходимые тяговые характеристики $F_\delta(\delta)$ при $\Theta = \text{const}$. Это дает возможность еще раз проверить исполнимость системы и получить ее тяговые диаграммы.

Основная литература

1. Плакс А.В. Системы управления электроподвижным составом. «Маршрут», 2005.

Дополнительная литература

1. Тихменев Б.Н., Трахтман Л.М. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. - М.: Транспорт, 1980.

2. Проектирование систем управления электроподвижным составом/Н.А. Ротанов, Д.Д. Захарченко, А.В. Плакс, В.И. Некрасов, Ю.М. Иньков. Под ред. Н.А. Ротанова – М.:Транспорт, 1986.

3. Электровоз ВЛ10. Руководство по эксплуатации. М.: Транспорт. 1975.