

ТЕХНИЧЕСКИЙ
СПРАВОЧНИК
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИКА



ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИКА

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р. Г. ГРАНОВСКИЙ, К. Г. МАРКВАРДТ,

А. И. ТИЩЕНКО

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТРАНСПОРТНОЕ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Москва · 1957

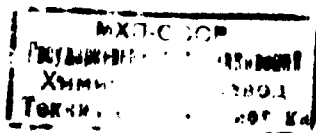
ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИКА

Том 9

ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Ответственный редактор тома
А. И. ТИЩЕНКО

*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТРАНСПОРТНОЕ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Москва 1957

у 600

АВТОРЫ ТОМА

Д. Д. ЗАХАРЧЕНКО, доц., канд. техн. наук; И. П. ИСАЕВ, доц., канд. техн. наук; В. К. КАЛИНИН, инж.; М. Е. КРЕСТЬЯНОВ, доц., канд. техн. наук; И. А. ЛАКШТОВСКИЙ, доц., канд. техн. наук; К. Г. МАРКВАРДТ, проф., докт. техн. наук; В. Б. МЕДЕЛЬ, проф., докт. техн. наук; К. А. МИРОНОВ, инж.; Н. М. МИХАЙЛОВ, доц., канд. техн. наук; М. Д. НАХОДКИН, доц., канд. техн. наук; Ч. С. ОЗЕМБЛОВСКИЙ, инж.; С. И. ОСИПОВ, инж.; С. Г. РОМАШКОВ, инж.; Л. С. СОКОЛОВ, инж.; Г. В. ФАМИНСКИЙ, канд. техн. наук; А. А. ШАЦИЛЛО, инж.; П. Н. ШЛЯХТО, доц., канд. техн. наук.



РЕЦЕНЗЕНТЫ ТОМА

Общие сведения: Е. Г. БОВЭ, канд. техн. наук; Б. Е. ГЕРОНИМУС, канд. техн. наук; Л. М. ПЕРЦОВСКИЙ, инж. *Электроподвижной состав постоянного тока:* А. Е. АЛЕКСЕЕВ, чл.-корр. Академии наук СССР, проф., докт. техн. наук; Н. М. БАТАЛОВ, инж.; Б. Н. ВИНБЕРГ, инж.; Л. О. ГРАЧЕВА, канд. техн. наук; А. М. ЕВДОКИМОВ, инж.; С. С. КАЛИНИН, инж.; В. Б. МЕДЕЛЬ, проф., докт. техн. наук; С. И. ОСИПОВ, инж.; Л. М. ТРАХТМАН, канд. техн. наук. *Электротяговое хозяйство и ремонт электроподвижного состава постоянного тока:* С. С. КАЛИНИН, инж.; А. П. ПЫЛЕНКОВ, инж. *Электроподвижной состав переменного тока:* Б. Я. ГОХШТЕЙН, канд. техн. наук; И. П. ИЛЬИН, инж.; С. С. КАЛИНИН, инж.; М. Д. НАХОДКИН, доц., канд. техн. наук.



РЕДАКТОРЫ ТОМА

Общие сведения: И. И. БЕНЕШЕВИЧ, канд. техн. наук; А. Е. ЗОРОХОВИЧ, доц., канд. техн. наук; И. П. ИСАЕВ, доц., канд. техн. наук. *Электроподвижной состав постоянного тока:* Л. О. ГРАЧЕВА, канд. техн. наук; А. Е. ЗОРОХОВИЧ, доц., канд. техн. наук; Е. Г. ЛУЦЕНКО, инж.; А. П. РОГОЖИН, инж.; Л. С. СОКОЛОВ, инж.; Н. И. СИДОРОВ, инж. *Электротяговое хозяйство и ремонт электроподвижного состава постоянного тока:* А. Е. ЗОРОХОВИЧ, доц., канд. техн. наук. *Электроподвижной состав переменного тока:* Л. С. СОКОЛОВ, инж.



СОДЕРЖАНИЕ



	Стр.		Стр.
От редакции девятого тома	6	Электрическая аппаратура (доц., канд. техн. наук П. Н. Шляхто; доц., канд. техн. наук Д. Д. Захарченко; инж. С. Г. Ромашков)	291
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ			
Краткий исторический обзор развития электрической тяги (доц., канд. техн. наук И. П. Исеев)	9	Электрические схемы (доц., канд. техн. наук П. Н. Шляхто; доц., канд. техн. наук Д. Д. Захарченко)	365
Системы электрической тяги на магистральных железных дорогах (проф., докт. техн. наук К. Г. Марквардт)	11	Расположение и монтаж оборудования (доц., канд. техн. наук П. Н. Шляхто; доц., канд. техн. наук Д. Д. Захарченко)	434
Электрическая тяга поездов (доц., канд. техн. наук И. А. Лакишовский; канд. техн. наук Г. В. Фаминский)	18	ЭЛЕКТРОТЯГОВОЕ ХОЗЯЙСТВО И РЕМОНТ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПОСТОЯННОГО ТОКА	
Расчёты расхода электрической энергии для электрических железных дорог постоянного тока (доц., канд. техн. наук М. Е. Крестьянов)	53	Эксплуатация электроподвижного состава (инж. К. А. Миронов)	449
ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ПОСТОЯННОГО ТОКА			
Основные данные электровозов (доц., канд. техн. наук И. П. Исеев)	62	Электротяговое хозяйство (инж. С. И. Осипов)	474
Механическая часть электровозов (проф., докт. техн. наук В. Б. Медель)	68	Ремонт и содержание электроподвижного состава (инж. Ч. С. Озембловский)	506
Механическая часть электросекций (доц., канд. техн. наук Н. М. Михайлов)	100	ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	
Механическая часть вагонов метрополитенов (инж. Л. С. Соколов)	125	(инж. В. К. Калинин)	
Подвеска и привод тяговых двигателей (инж. А. А. Шаццлло)	132	Общие сведения об электроподвижном составе	541
Механические амортизаторы электровозов (инж. А. А. Шаццлло)	165	Механическая часть электроподвижного состава	562
Тяговые двигатели (доц., канд. техн. наук М. Д. Находкин)	171	Электрическое оборудование и электрические схемы электроподвижного состава с нонными преобразователями	572
Вспомогательные машины (доц., канд. техн. наук П. Н. Шляхто; доц., канд. техн. наук Д. Д. Захарченко)	247	Электрическое оборудование и электрические схемы электроподвижного состава с коллекторными двигателями однофазного тока 50 гц	605
Системы управления (доц., канд. техн. наук П. Н. Шляхто; доц., канд. техн. наук Д. Д. Захарченко)	270	Электрическое оборудование и электрические схемы электроподвижного состава с мотор-генераторами	627
		Электрическое оборудование и электрические схемы электроподвижного состава с однофазно-трехфазными преобразователями	632

ОТ РЕДАКЦИИ ДЕВЯТОГО ТОМА

Для успешного выполнения непрерывно растущих грузовых и пассажирских перевозок и повышения их экономичности важнейшее значение имеет широкое внедрение электрической тяги.

Центральный Комитет Коммунистической партии Советского Союза в феврале 1956 г. принял решение «О генеральном плане электрификации железных дорог». Генеральным планом намечается в течение 15 лет перевести на электрическую тягу 40 тыс. км железнодорожных магистралей.

В соответствии с этим планом Директивами XX съезда КПСС намечено в шестом пятилетии ввести в действие 8 100 км электрифицированных линий, или в 3,6 раза больше, чем в пятой пятилетке.

Электрификация железных дорог является важнейшим звеном технической реконструкции железнодорожного транспорта и развития его на базе высшей техники. Она увеличивает пропускную и провозную способность железнодорожных линий, обеспечивает устойчивую работу дорог, особенно в зимнее время, значительно повышает производительность труда и снижает себестоимость перевозок, сокращает расход топлива, повышает культуру труда железнодорожников и улучшает снабжение прилегающих районов электроэнергией.

В 1956 г. — первом году шестой пятилетки — введено в эксплуатацию около 1 000 км электрифицированных железнодорожных линий.

Для эксплуатации вводимых магистралей требуется большое количество работников различных специальностей, подготовка которых с каждым годом возрастает.

Содержащиеся в девятом томе справочные материалы предназначены оказать помощь работникам электрифицированных железных дорог в улучшении эксплуатации и ремонта электроподвижного состава с тем, чтобы полностью реализовать все преимущества и резервы электрической тяги и поставить их на службу все возрастающим перевозкам.

При составлении тома были использованы Правила технической эксплуатации железных дорог Союза ССР, Правила производства тяговых расчетов, действующие технические условия, инструкции, приказы Министерства путей сообщения, ОСТы, ГОСТы и литературные источники.

Содержание тома отражает достижения отечественных ученых, инженеров, изобретателей и новаторов производства в области электроподвижного состава железных дорог, а также достижения зарубежной техники.

В разделе «Общие сведения», наряду с кратким историческим обзором развития электрической тяги, дана классификация систем тяги магистральных железных дорог, приведены характеристики энергоснабжения при различных системах тяги и систем электроподвижного состава.

В главе «Электрическая тяга поездов» на основе новых Правил производства тяговых расчетов, утвержденных Министерством путей сообщения, приведены данные для расчета электрической тяги при тяговом, для полного и ослабленного поля, и тормозном режимах.

В главе «Расчеты расхода электрической энергии для электрических железных дорог постоянного тока» описывается способ расчета удельного расхода электроэнергии на тягу поездов как с учетом, так и без учета эксплуатационных и

метеорологических факторов, а также приведены номограммы для определения удельного расхода энергии на движение грузовых и пассажирских поездов.

В разделе «Электроподвижной состав постоянного тока» собраны и систематизированы важнейшие справочные данные об основных узлах и аппаратах электроподвижного состава, изложены основные методы их расчёта.

В главе «Основные данные электровозов» приведены основные данные электровозов железных дорог Союза ССР и зарубежных. Сводные данные охватывают 5 серий электровозов (Н8, ВЛ23, ВЛ22^м, ВЛ22, ВЛ19) парка дорог Союза ССР и 25 серий (типов) электровозов, построенных в 1950—1955 гг., зарубежных железных дорог.

В главе «Механическая часть электровозов» дается краткое описание конструкции узлов механической части, изложены основные методы расчёта деталей тележек и кузовов электровозов.

В главе «Механическая часть электросекций» описана конструкция узлов электросекций C_3^p , C^p и C_d , приведены их основные и расчётные данные, а также формулы для расчёта деталей механической части.

В главе «Механическая часть вагонов метрополитенов» приведены основные данные вагонов типов А, Б, Г и Д и описана конструкция механической части этих вагонов.

В главе «Подвеска и привод тяговых двигателей» приведены основные данные приводов электровозов и тяговых зубчатых передач и расчётные формулы прямо-зубых тяговых передач, а также описан ряд конструкций приводов при опорно-рамном подвешивании тяговых двигателей и тяговых зубчатых передач электровозов и моторных вагонов.

В главе «Механические амортизаторы электровозов» описана конструкция пружинно-фрикционных амортизаторов электровозов и приведены основные формулы для их расчета.

Глава «Тяговые двигатели» охватывает все тяговые двигатели постоянного тока электроподвижного состава железных дорог Советского Союза. В ней приведены основные конструктивные и расчётные данные тяговых двигателей (типов НБ-406А, ДПЭ-400, ДПЭ-340 и др.), их характеристики (электротяговые, нагрузочные, тепловые и аэродинамические) и чертежи основных узлов. В конце главы описаны особенности конструкции двигателей различных модификаций.

В главе «Вспомогательные машины» приводятся классификация и основные данные вспомогательных машин и описана конструкция: мотор-компрессоров, мотор-вентиляторов, генераторов тока управления, мотор-генераторов и делителей напряжения. В главе также приведен расчет производительности компрессоров.

В главе «Системы управления» описаны способы регулирования скорости и пуск электроподвижного состава, электрическое торможение, электрический и тепловой расчет пусковых сопротивлений и приведены пусковые диаграммы.

В главе «Электрическая аппаратура» описана конструкция аппаратуры цепей силовой, управления и вспомогательной, приведены классификация, основные данные и характеристики токоприемников (ДЖ-4, ДЖ-5, П-3), автоматических выключателей, быстродействующих выключателей (БВП-1А, БВП-1Г, БВП-3), контакторов индивидуальных и групповых, контакторов заземления, реле перегрузки, потенциальных реле, реле автоматического пуска, промежуточных реле, сопротивлений (типов СЖ, КФ, СЛ и др.), плавких предохранителей, разъединителей, выключателей, регуляторов давления, клапанов пантографов и песочниц, регуляторов напряжения, индуктивных шунтов, контроллеров управления, выключателей цепей управления и электрических печей и обогревателей.

В этой главе также приводятся методика расчета катушек и нормы на изоляцию тяговой аппаратуры.

В главе «Электрические схемы» изложены требования, предъявляемые к электрическим схемам, и описана работа цепей силовой, управления и вспомогательной электровозов ВЛ22^м и Н8, электросекций C_3^p и C^p и вагонов метрополитенов типов А, Б, Г и Д при всех режимах. В главе также приведены схемы включения

защитных аппаратов в силовые цепи и описаны способы защиты от атмосферных перенапряжений, коммутационных напряжений, коротких замыканий и перегрузок силовых и вспомогательных цепей.

В главе «Расположение и монтаж оборудования» рассмотрены принципы расположения оборудования на электрических локомотивах и даны примеры расположения оборудования на электровозах ВЛ22^м, Н8, моторных вагонах электросекций СР и вагонах типа Г метрополитенов.

В главе также описан монтаж высоковольтных камер на электровозах, аппаратуры на электросекциях и постов управления. В конце главы приведены расчеты размещения оборудования на электроподвижном составе и основные монтажные материалы.

Раздел «Электротяговое хозяйство и ремонт электроподвижного состава постоянного тока» состоит из трех глав: «Эксплуатация электроподвижного состава», «Электротяговое хозяйство» и «Ремонт и содержание электроподвижного состава».

Глава «Эксплуатация электроподвижного состава» включает материалы по вопросам структуры хозяйства, современного его состояния и структуры управления. Особое внимание уделено измерителям работы электроподвижного хозяйства, разработке графиков движения поездов и оборота локомотивов, расчету продолжительности работы локомотивных бригад, уходу за электроподвижным составом и мерам предосторожности при ремонте.

В главе «Электротяговое хозяйство» показаны типы электровозных депо, габариты их зданий; дано определение потребности в технологическом оборудовании, количества стоек электродепо и экипировочных устройств.

В главе «Ремонт и содержание электроподвижного состава» приведены характеристики ремонта и осмотра.

В разделе «Электроподвижной состав переменного тока» собраны и систематизированы сведения об электровозах и электросекциях переменного тока 50 Гц.

В главе «Общие сведения об электроподвижном составе» дано сравнение локомотивов различных систем.

В главе «Механическая часть электроподвижного состава» приведены особенности некоторых узлов механической части электровозов зарубежных железных дорог.

В главах «Электрическое оборудование и электрические схемы электроподвижного состава с нонными преобразователями», «Электрическое оборудование и электрические схемы электроподвижного состава с коллекторными двигателями однофазного тока 50 Гц», «Электрическое оборудование и электрические схемы электроподвижного состава с мотор-генераторами», «Электрическое оборудование и электрические схемы электроподвижного состава с однофазно-трехфазными преобразователями» описаны электрическое оборудование и схемы электровозов и моторвагонных секций переменного тока 50 Гц различных систем.

Редакция девятого тома ТСЖ просит читателей все замечания и пожелания направлять в Трансжелдориздат.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ



КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

Идея применения электрической энергии для целей тяги впервые в мире была практически осуществлена в России.

В 1837 г. в Петербурге на реке Неве было впервые испытано небольшое судно, оборудованное электрическим двигателем постоянного тока, созданным академиком Б. С. Якоби. Последующие конструктивные изменения двигателя и источников питания позволили добиться того, что судно, имея на борту 14 чел., развивало скорость до 4 вёрст в час в течение нескольких часов непрерывной работы.

Двигатель этого судна питался от батарей гальванических элементов; это обстоятельство явилось слабым местом, задержавшим дальнейшее применение электрической энергии для тяги.

Дальнейшее развитие электротехники позволило осуществить передачу электрической энергии на дальнее расстояние с целью питания электрических двигателей.

В 1874 г. инж. Ф. А. Пироцкий впервые практически осуществил передачу энергии на расстояние для питания электрического двигателя, установленного на движущемся экипаже. Принцип питания электрического двигателя, предложенный Ф. А. Пироцким, заключался в том, что один из рельсов служил прямым проводом, другой — обратным. Рельсы были изолированы друг от друга и для изоляции от шпал под подошву рельса укладывалось просмоленное полотно.

В качестве движущегося экипажа был использован вагон конной железной дороги, к кузову которого снизу был подвешен электрический двигатель с двухступенчатой зубчатой передачей. Первые опыты Ф. А. Пироцкий успешно осуществил в Сестрорецке, использовав для этого участок железной дороги протяжённостью 3,5 км. Впоследствии эти опыты он также успешно повторил в Петербурге в 1876 г.

Предложенный Ф. А. Пироцким способ питания электрических двигателей, установленных на движущихся экипажах, дополненный применением контактного провода, был положен в основу устройства электрических железных дорог.

Практическое осуществление применения электрической энергии на железнодорожном

транспорте, предпринятое Ф. А. Пироцким, сыграло исключительную роль в развитии электрической тяги: увеличился коэффициент полезного действия всей установки и открылась возможность использования электрической энергии, вырабатываемой гидростанциями.

В процессе своих опытов Пироцкий пришёл к выводу, что для передачи большого количества энергии необходимы металлические проводники с большой площадью поперечного сечения; поэтому он и применил в качестве проводников тока рельсы конной железной дороги.

Однако в 1880 г. проф. Д. А. Лачиновым было доказано, что при соответствующем повышении напряжения в линии электропередачи можно передавать весьма большие мощности на дальнее расстояние по проводам небольшого сечения.

Система электрической тяги была вскоре осуществлена в ряде городов Европы (Берлин — 1880 г.; Вена — 1883 г.; Брайтон — 1884 г. и др.). В России первая трамвайная линия была построена в 1892 г. в Киеве. Вскоре трамваи появились и в других городах России (Казань — 1894 г.; Нижний Новгород — 1895 г.; Курск — 1897 г.; Москва — 1899 г. и т. д.).

Параллельно с развитием трамваев за рубежом проводились опыты с моделями электровозов. В 1895 г. в США был впервые электрифицирован участок железной дороги Балтимор-Огайо с применением электровозной тяги на постоянном токе напряжением 600 в. Контактным проводом был 3-й рельс.

В Европе первый участок железной дороги с электровозной тягой на постоянном токе был открыт в 1898 г. во Франции (глубокий ввод в окрестностях Парижа).

Постоянно работая над вопросами электрической тяги, русские инженеры ещё в дореволюционный период создали ряд оригинальных технических предложений и проектов. Так, в 1894 г. инженер Бастамов выдвинул идею косвенного дистанционного управления (управление по системе многих единиц); в 1902—1903 гг. были составлены первые проекты метрополитена в Москве; в 1914 г. — проект трёх пересекающихся диаметров Московского метрополитена и т. п.

Исключительная роль в развитии науки об электрической тяге принадлежит отечественным учёным А. В. Вульф, Г. М. Кржижановскому, Г. О. Графтио, А. Б. Лебедеву, Г. Д. Дубелиру, Б. А. Шевалину, которые разработали основные принципы энергоснабжения электрических железных дорог, методы проведения тяговых расчётов при электрической тяге, методы расчёта отдельных элементов электрического подвижного состава и основы его эксплуатации.

Победа Великой Октябрьской социалистической революции создала необходимые условия для широкой электрификации всего народного хозяйства нашей страны, в том числе и железнодорожного транспорта. Электрификация железнодорожного транспорта СССР при советской власти осуществлялась быстрыми темпами в соответствии с государственными планами развития народного хозяйства.

С первых дней существования советской власти партия и правительство уделяли большое внимание электрификации железнодорожного транспорта. Еще в 1920 г. VIII съезд Советов утвердил план ГОЭЛРО, составленный по указанию В. И. Ленина. В этом плане предусматривалась электрификация всех отраслей народного хозяйства и в том числе широкое внедрение на железных дорогах электрической тяги.

В соответствии с государственным планом электрификации 7 мая 1926 г. Совет Труда и Оборона СССР впервые утвердил титульный список линий, подлежащих электрификации в период 1925—1930 гг., общая протяженность которых составляла 372 км.

В качестве основной системы электрической тяги в СССР была принята система постоянного тока напряжением 3 000 в.

В 1926 г. была открыта первая в СССР электрифицированная железная дорога Баку—Сабунчи—Сураханы. В 1929 г. была пущена в эксплуатацию первая линия пригородного движения Москва—Мытищи Ярославской ж. д., а в 1932 г. первый электрифицированный участок магистральной дороги Хашури—Зестафони Закавказской железной дороги.

Важное значение для электрификации имеет состоявшийся в июне 1931 г. Пленум ЦК ВКП(б), который в своём постановлении по работе железнодорожного транспорта указал, что ведущим звеном реконструкции железнодорожного транспорта в перспективе его развития должна стать электрификация железных дорог.

В связи с начавшейся электрификацией железнодорожного транспорта СССР перед нашей промышленностью были поставлены весьма сложные задачи по выпуску электрического подвижного состава и оборудования для тяговых подстанций и контактной сети.

Первые моторвагонные секции для работы на электрифицированных участках пригородных железных дорог были выпущены в 1932 г. заводом «Динамо» имени С. М. Кирова и Мытищинским вагоностроительным заводом.

К пятнадцатой годовщине Великой Октябрьской социалистической революции заводом «Динамо» имени С. М. Кирова и Коломенским машиностроительным заводом им. В. В. Куйбышева был выпущен первенец совет-

ского электровозостроения — электровоз ВЛ19-01, которому было присвоено имя В. И. Ленина.

В дальнейшем советская промышленность непрерывно совершенствовала выпускаемые электровозы и моторвагонные секции.

После Великой Отечественной войны было организовано производство моторвагонных секций и электровозов на ряде специализированных заводов, а также созданы специальные ремонтные заводы. С 1947 г. на Рижском вагоностроительном заводе начался выпуск современных моторвагонных секций серии СР, а с 1948 г. на Новочеркасском электровагоностроительном заводе — серийный выпуск магистральных электровозов ВЛ22м, хорошо зарекомендовавших себя в эксплуатации.

В 1953 г. Новочеркасским электровагоностроительным заводом имени С. М. Будённого построен и сдан в эксплуатацию мощный грузовой восьмиосный электровоз Н8, имеющий тяговые двигатели по 525 кВт с индивидуальным приводом, и в 1956 г. электровоз ВЛ23 с двигателями той же мощности.

Работы учёных показали, что наиболее перспективной для магистральных железных дорог является система однофазного тока промышленной частоты. С целью практического сравнения этой системы с системой постоянного тока Новочеркасским электровагоностроительным заводом имени С. М. Будённого с 1954 г. выпускаются опытные электровозы НО однофазного тока промышленной частоты с ионными выпрямителями для питания тяговых двигателей постоянного тока.

В настоящее время эксплуатируется опытный участок, электрифицированный на переменном токе промышленной частоты. По завершении опытной эксплуатации намечается широкое внедрение электрификации на переменном токе промышленной частоты.

Работники промышленности и транспорта создают улучшенные конструкции опытных электровозов переменного тока и повышают их эксплуатационную надёжность.

Наряду с этим советские учёные работают над совершенствованием системы постоянного тока. Ведутся также работы по созданию электровозов с трёхфазными асинхронными двигателями и однофазными коллекторными двигателями промышленной частоты.

Непрерывно совершенствуется также и оборудование тяговых подстанций.

Первые тяговые подстанции были оборудованы вращающимися преобразователями трёхфазного тока в постоянный. В 20-х годах этого столетия в качестве преобразователей начинают широко применяться ртутные выпрямители, которые наряду с дешёвой и простой обслуживанием позволяют целиком автоматизировать все процессы управления работой подстанций.

Освоив в 1926—1927 гг. выпуск ртутных выпрямителей для электрифицированных железных дорог, завод «Электросила» успешно решил и вопросы дальнейшего улучшения их конструкции и повышения надёжности в работе. В настоящее время начат выпуск металлических безнасосных (герметически закрытых) ртутных выпрямителей с воздушным охлаждением.

Рекуперация энергии является одним из основных преимуществ электрической тяги. Однако применение её затрудняется тем обстоятельством, что промышленность ещё не выпускает ртутновыпрямительных агрегатов, надёжно работающих в инверторном режиме.

Учёные разработали систему поглотительной установки, позволяющей применять рекуперацию, обеспечивающую безопасность движения, экономию энергии за счет потребления её электровозами. Поглотительная установка вступает в действие при отсутствии потребления электроэнергии другими электровозами.

В 30-х годах было введено диспетчерское управление на первых тяговых подстанциях пригородных железных дорог Московского узла. Автоматика и телемеханика, обеспечивающие чёткую работу тяговых под-

станций, широко применяются на метрополитене.

В шестой пятилетке в соответствии с Директивами XX съезда Коммунистической партии Советского Союза намечено поставить 2000 электровозов, в том числе 400 восьмиосных мощностью по 5700 л. с.

В настоящее время электрическая тяга используется на 21 железной дороге, не считая электрифицируемых линий, находящихся в процессе строительства.

По темпам электрификации и по протяжённости электрифицированных линий Советский Союз выдвинулся теперь на первое место в мире.

Новым в развитии электрификации железных дорог является перевод на электрическую тягу целых направлений, что позволит наиболее полно использовать все преимущества электротяги.

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

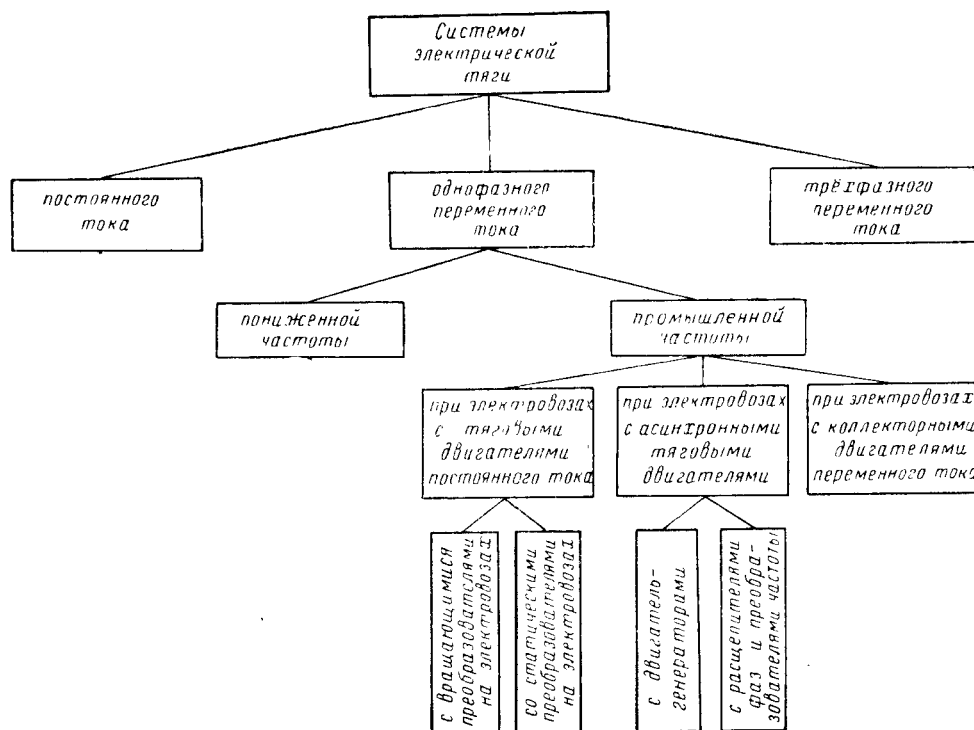
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ

Электрическая тяга, т. е. такой род тяги, при котором усилие, необходимое для передвижения поезда, создаётся электрическими двигателями, разделяется на автономную и неавтономную.

чается от стационарных электрических станций.

Наиболее распространённым автономным электрическим локомотивом является тепловоз с электрической передачей (см. ТСЖ, т. 6).

При неавтономной электрической тяге возникает потребность в системе энергоснабжения.



Фиг. 1. Классификация систем электрической тяги

При автономной тяге источник электрической энергии располагается на самом локомотиве, а при неавтономной энергия полу-

чается от стационарных электрических станций. Система энергоснабжения электрических железных дорог состоит из двух частей: первичной и тяговой.

Первичная часть включает в себя все устройства, начиная от электрической станции и кончая линиями передач, подводящими энергию к тяговым подстанциям.

Тяговая часть системы энергоснабжения состоит из тяговых подстанций и тяговой сети.

Под тяговой сетью понимают совокупность устройств, служащих для передачи электрической энергии от шин тяговой подстанции к электроподвижному составу, к которым относятся контактные и рельсовые сети, питающие и отсасывающие линии (фидеры), секционные посты и т. п.

Снабжение электрических железных дорог энергией может производиться от специальных электрических станций или от районных электрических станций общего пользования. В СССР применяется только вторая из этих систем, так как питание от крупных электрических станций, объединённых в энергосистемы, обеспечивает наибольшую экономичность и техническую надёжность энергоснабжения.

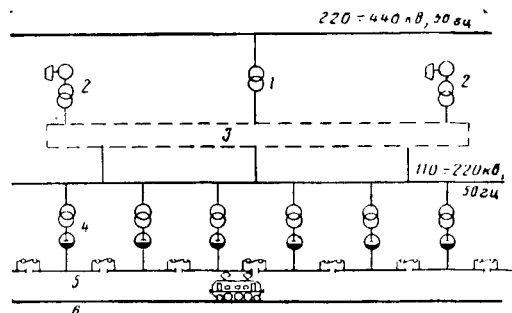
Системы электрической тяги обычно классифицируют по роду тока, применяемого в контактной сети, с последующим разделением на подклассы в зависимости от применяемого типа электровоза или системы энергоснабжения. В соответствии с этим принята классификация, поясняемая схемой, изображённой на фиг. 1.

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ТЯГИ

Первичная часть системы энергоснабжения

Принципиальные схемы энергоснабжения электрических железных дорог постоянного и однофазного переменного тока представлены на фиг. 2-5.

На дорогах постоянного тока ртутновыпрямительные тяговые подстанции мощностью 3—10 тыс. кВт располагаются на относительно небольших расстояниях друг от друга (см. табл. 1) и получают питание от трёхфазной районной сети высокого напряжения (фиг. 2).



Фиг. 2. Принципиальная схема энергоснабжения дороги постоянного тока: 1 — районная трансформаторная подстанция; 2 — районная центральная электрическая станция трёхфазного тока; 3 — разветвлённая районная сеть высокого напряжения; 4 — тяговые подстанции с ртутными выпрямителями; 5 — контактная сеть; 6 — рельсы

На дорогах однофазного тока промышленной частоты схемы первичного энергоснабжения имеют аналогичный вид (фиг. 3), с той лишь разницей, что расстояния между тяговыми подстанциями увеличиваются при соответствующем повышении их мощности.

При этом сами подстанции упрощаются, и на них могут быть использованы или простые трансформаторы или трансформаторы, соединённые по схеме Скотта.

Таблица 1

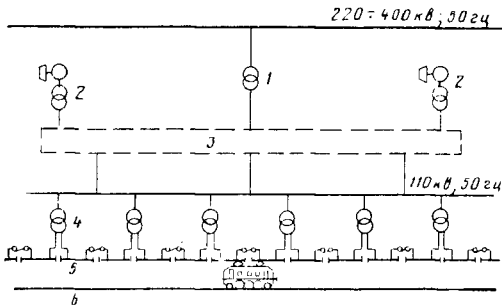
Основные характеристики систем электрической тяги

№ по пор.	Наименование системы Показатели	Постоянный ток		Однофазный переменный ток	
		Централизованное преобразование энергии	Распределённое преобразование энергии*	Пониженная частота (16 2/3 Гц)	Промышленная частота (50 Гц)
1	Напряжение на шинах подстанции в кВ	3,3		11,5	20 ÷ 25
2	Максимальное напряжение первичной сети (экономическое) в кВ	110	220	220	
3	Расстояние между тяговыми подстанциями в км	20 ÷ 30	$\frac{50 \div 75^{**}}{10 \div 12}$	50 ÷ 75 км	
4	Частота питающей сети в Гц	50		$16 \frac{2}{3} \div 50$	50
5	Присоединение тяговой сети к сети первичного энергоснабжения	Через трансформатор и ионный преобразователь		Через трансформатор и двигатель-генератор или ионный преобразователь частоты	Через трансформатор

* Данные указаны на основании разработок МИИТ.

** В числителе указаны расстояния между опорными подстанциями, в знаменателе — между одноагрегатными преобразовательными пунктами.

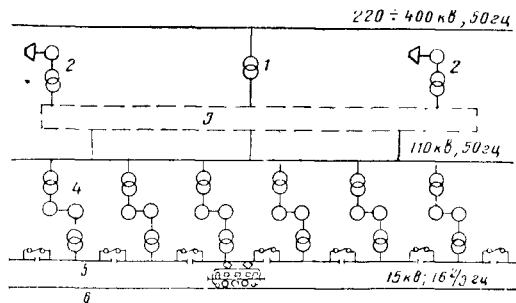
В обоих рассмотренных случаях возможно питание электрифицированной железной дороги от существующей энергосистемы при относительно малых потерях энергии на тяговых подстанциях.



Фиг. 3. Принципиальная схема энергоснабжения дороги однофазного тока нормальной частоты: 1—районная трансформаторная подстанция; 2—районная центральная электрическая станция трёхфазного тока; 3—разветвлённая районная сеть высокого напряжения; 4—трансформаторная подстанция; 5—контактная сеть; 6—рельсы

На дорогах переменного тока пониженной частоты схемы питания могут иметь различный характер в зависимости от типа первичных источников электрической энергии, которыми могут быть или существующие энергосистемы общего пользования, или специальные электростанции пониженной частоты.

В случае питания от энергосистемы общего пользования возникает необходимость преобразования трёхфазного тока промышленной частоты в однофазный ток пониженной



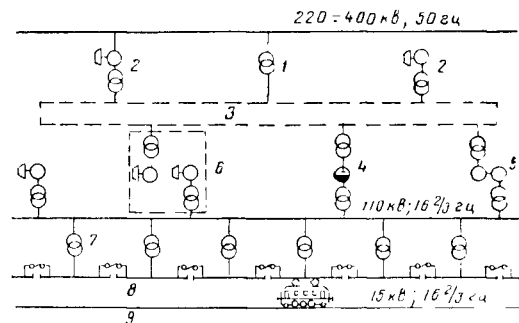
Фиг. 4. Принципиальная схема энергоснабжения дороги однофазного тока пониженной частоты с распределённым преобразованием частоты: 1—районная трансформаторная подстанция; 2—районная центральная электрическая станция трёхфазного тока; 3—разветвлённая районная сеть высокого напряжения; 4—тяговая подстанция с вращающимися преобразователями частоты; 5—контактная сеть; 6—рельсы

частоты. Для этой цели до настоящего времени преимущественно используются вращающиеся преобразователи, так как вопросы применения статических преобразователей частоты не могут считаться окончательно разрешёнными. Если такое преобразование производится на каждой тяговой подстанции, то схема энергоснабжения электрифицированной железной дороги приобретает вид, изображённый на фиг. 4. Мощность преобразователей тяговой подстанции в этом случае может составлять

5—12 тыс. кВт (пример шведских железных дорог).

В ряде случаев считается более целесообразным осуществлять централизованное преобразование частоты на крупных подстанциях (мощностью 30 тыс. кВт) с последующим распределением тока пониженной частоты между трансформаторными тяговыми подстанциями. При таком решении суммарная установленная мощность преобразователей несколько снижается за счёт их лучшего использования.

Наряду с этим иногда целесообразно, учитывая относительно низкий к. п. д. вращающихся преобразователей (порядка 0,85—0,87), вырабатывать энергию для электрической тяги на электрических станциях, сооружённых специально для нужд дороги. В этом случае, а также при централизованном преобразовании частоты возникает необходимость в устройстве специальной высоковольтной



Фиг. 5. Принципиальная схема энергоснабжения дороги однофазного тока пониженной частоты с централизованным преобразованием частоты: 1—районная трансформаторная подстанция трёхфазного тока нормальной частоты; 2—районная ЦЭС трёхфазного тока; 3—разветвлённая районная сеть высокого напряжения; 4—тяговая подстанция со статическими преобразователями; 5—тяговая подстанция с вращающимися преобразователями; 6—объединённая ЦЭС с генераторами нормальной и пониженной частоты; 7—трансформаторная подстанция однофазного тока пониженной частоты; 8—контактная сеть; 9—рельсы

линии передачи вдоль всего электрифицированного участка железной дороги для питания трансформаторных тяговых подстанций.

На фиг. 5 изображена принципиальная схема смешанной системы энергоснабжения электрической железной дороги, работающей на однофазном токе пониженной частоты. При этом варианте специальные электростанции и крупные преобразовательные подстанции работают параллельно на общую однофазную сеть высокого напряжения.

В случае питания только от районной системы специальные электростанции, изображённые на схеме, заменяются соответствующими преобразовательными пунктами.

Тяговые подстанции

В зависимости от рода тока, применяемого для целей тяги, тяговые подстанции разделяются на подстанции постоянного, однофазного и трёхфазного тока.

На дорогах постоянного тока на тяговых подстанциях осуществляется преобразование трёхфазного тока высокого напряжения в постоянный ток такого напряже-

ния, которое применяется на данном электрифицированном участке.

В качестве преобразовательных агрегатов на тяговых подстанциях постоянного тока, как правило, используются ртутные выпрямители.

Подстанции с двигатель-генераторами в настоящее время не сооружаются ввиду высокой стоимости, большого веса и низкого к. п. д. вращающихся преобразователей.

На дорогах однофазного тока, если частота первичной сети не отличается от частоты, используемой в тяговой сети, тяговые подстанции обращаются в простые трансформаторные пункты.

Если же частота в тяговой сети не равна частоте в энергоснабжающей системе, то подстанции являются преобразовательными пунктами и оборудуются вращающимися или статическими преобразователями.

Тяговые подстанции трёхфазного тока в настоящее время уже не представляют интереса, так как система электрической тяги трёхфазного тока устарева и утратила своё значение.

КОНТАКТНАЯ СЕТЬ

На дорогах постоянного тока номинальное напряжение контактной сети (т. е. напряжение на шинах тяговых подстанций при номинальной нагрузке) составляет обычно 3 300 или 1 650 в.

При таких относительно низких напряжениях токи, потребляемые локомотивами, достигают больших значений и для надёжности подвижного контакта применяют большое нажатие токоприёмника на контактные провода и тяжёлые подвески.

Общее сечение проводов контактной сети зависит от схемы её питания. При централизованном питании наимыгоднейшее расстояние между подстанциями обычно лежит в пределах от 20 до 35 км при напряжении сети 3 300 в и от 15 до 20 км при напряжении 1 650 в. При этом сечение проводов контактной подвески часто оказывается недостаточным и тогда параллельно с контактной подвеской подвешиваются усиливающие провода, увеличивающие общее сечение контактной сети до необходимой величины.

Общее сечение проводов (в медном эквиваленте) при этом лежит в пределах от 220 до 500 мм² при напряжении 3 300 в.

При распределённом питании потребность в усиливающих проводах, как правило, отпадает.

На дорогах однофазного тока напряжения контактных сетей составляют: при системе пониженной частоты 11—16,5 кВ и при системе промышленной частоты 16—25 кВ. При таких напряжениях через контакт между контактным проводом и токоприёмником локомотива передаётся соответственно меньший ток, что позволяет работать с меньшим нажатием токоприёмника на контактный провод. Уменьшение нажатия позволяет получить удовлетворительное токоснимание при более лёгкой контактной подвеске и при меньшем натяжении проводов.

Одновременно повышение напряжения требует усиления изоляции и увеличения

расстояния от частей, находящихся под напряжением, до заземлённых конструкций. На дорогах с большим числом искусственных сооружений это обстоятельство приводит к существенным затратам средств на переустройство мостов, тоннелей и т. п.

При системах электрической тяги трёхфазного тока контактная сеть выполняется двухпроводной, третьим проводом служит рельсовый путь. При наличии над каждым из путей двух контактных подвесок возникает необходимость уменьшать расстояние между опорами, чтобы исключить возможность замыкания проводов различных фаз, колеблющихся под действием ветра, что существенно удорожает сеть. Особенно большие неудобства встречаются при сооружении двухпроводных сетей на железнодорожных станциях с большим числом стрелок и пересечений.

Сложная контактная сеть была главной причиной отказа от этой системы электрической тяги.

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

При сопоставлении эксплуатационных свойств подвижного состава, работающего на различных системах тока, необходимо принимать во внимание следующие характеристики и показатели:

1. Наличие преобразовательных установок на электровозе и степень их сложности. Чем сложнее преобразовательная установка на электровозе, тем ниже степень его технической надёжности, выше стоимость, меньше к. п. д., дороже ремонт и обслуживание.

2. Свойства тяговой характеристики электровоза. Практически все характеристики электровозов могут располагаться в диапазоне характеристики постоянной мощности $Fv = \text{const}$ и характеристики постоянной скорости $v = \text{const}$ (гиперболическая и горизонтальная характеристики). Здесь F — сила тяги, v — скорость движения.

Наимыгоднейшей для тяги является гиперболическая характеристика. Значительное отклонение от гиперболической характеристики требует, при прочих равных условиях, увеличения мощности локомотива.

3. Условия пуска и регулирования скорости. От плавности пуска и возможности регулирования скорости зависят в известной мере максимально возможные веса поездов и техническая скорость.

4. Возможность использования рекуперативного торможения. Рекуперативное торможение увеличивает безопасность движения и приводит к снижению расхода электрической энергии и уменьшению износа тормозных колодок.

5. Эксплуатационный к. п. д. и коэффициент мощности электровоза. Под эксплуатационными значениями к. п. д. и коэффициента мощности следует понимать средневзвешенное их значение за весь период работы локомотива.

6. Наличие высших гармонических в кривой тока, потребляемого от трёхфазной энергосистемы. Искажение кривой тока приводит к ухудшению использования энерго-

системы и к искажению кривой напряжения на зажимах нетяговых потребителей, получающих питание от той же энергосистемы.

Электровозы дорог постоянного тока

На дорогах постоянного тока используют электровозы с двигателями последовательного возбуждения, получающими энергию непосредственно из контактной сети.

Характеристика тягового двигателя с последовательным возбуждением тем более приближается к гиперболической, чем меньше степень насыщения его магнитной системы (при больших токах или малых скоростях). Недостатком этой характеристики является резкое снижение мощности локомотива в зоне малых тяговых усилий. В пределе (при работе на прямом участке кривой магнитной индукции) может быть достигнута характеристика

$$Fv^2 = \text{const.}$$

Для повышения скорости в зоне малых тяговых усилий, т. е. для лучшего использования мощности локомотива, применяют ослабление поля тяговых двигателей. Для этой же цели допускают значительную перегрузку тяговых двигателей в зоне больших тяговых усилий (на руководящих подъемах).

Пуск в ход, как правило, осуществляется при помощи пусковых реостатов, что связано с дополнительными потерями энергии. Изменением числа последовательно включенных двигателей в сочетании с применением ослабления поля в пусковом режиме удастся значительно снизить пусковые потери в реостатах. Возможность применения рекуперативного торможения достигается за счет некоторого усложнения схемы электровоза.

Электровозы дорог однофазного переменного тока пониженной частоты

На электровозах однофазного тока пониженной частоты исключительное применение нашли коллекторные однофазные двигатели последовательного возбуждения. Для питания их применяются трансформаторы с регулированием напряжения. Характеристики этих электровозов сходны с характеристиками электровозов постоянного тока, однако они ближе располагаются к гиперболической, что объясняется меньшей степенью насыщения, допускаемой в двигателях (для уменьшения трансформаторной э. д. с.), и возможностью некоторого повышения напряжения при высоких скоростях.

Регулирование напряжения трансформатором позволяет обеспечить плавный пуск без потерь в реостатах и широкий диапазон регулирования скорости. Рекуперативное торможение при этих двигателях, как правило, не применяется. К. п. д. близок к к. п. д. электровоза постоянного тока. Коэффициент мощности составляет около 0,5—0,88, особенно мал он при пуске, падая до 0,4.

Недостатком электровозов данного типа является ухудшенная коммутация на коллекторе двигателей при малых скоростях. Поэтому на дорогах с подобными локомотивами работа производится на больших скоростях с поездами малого веса.

Электровозы дорог однофазного переменного тока промышленной частоты

Электровозы с коллекторными двигателями. Все особенности электровозов однофазного тока пониженной частоты относятся и к данному случаю.

Практически на дорогах, где применена система однофазного тока промышленной частоты, идут по пути использования двигателей постоянного тока, коллекторных двигателей однофазного тока или же асинхронных короткозамкнутых двигателей при соответствующих преобразователях на электровозах.

Электровозы с двигателями постоянного тока. На электровозах этого типа применяют коллекторные двигатели постоянного тока, соединяемые параллельно. Преобразование однофазного переменного тока в постоянный осуществляется при помощи ионных преобразователей или двигатель-генераторов. Последние представляют собой дорогие и громоздкие машины, обладающие низким к. п. д. Поэтому электровозы этого типа следует признать неэкономичными, несмотря на ряд бесспорных преимуществ, которыми они обладают, а именно: удобство пуска и регулирования скорости, возможность автоматического перехода на рекуперативный режим, отсутствие высших гармонических в кривой потребляемого тока, возможность широкого регулирования коэффициента мощности.

Электровозы с ионными преобразователями наиболее перспективны, хотя при них затруднена рекуперация энергии, сильно искажается кривая тока и ухудшается коэффициент мощности.

Электровозы с коллекторными двигателями. На этих электровозах применяют коллекторные двигатели однофазного тока промышленной частоты с регулированием коммутации. Двигатели в большинстве случаев имеют специальные устройства для снижения тока в коммутируемых секциях обмотки якоря.

Электровозы с асинхронными двигателями. Во всех случаях при электровозах с асинхронными двигателями применяются сложные преобразователи. Эти электровозы обеспечивают регулирование скорости в широких пределах, могут работать практически по любой заданной характеристике, легко обеспечивают рекуперативное торможение и любой коэффициент мощности и не искажают кривой тока. Вместе с тем оборудование таких электровозов отличается большой сложностью и при высокой стоимости электровозов большинство их имеет низкий к. п. д.

УСЛОВИЯ СРАВНЕНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

В табл. 1—4 приведено большинство характеристик и показателей, по которым сравниваются в качественном отношении различные системы электрической тяги.

Эффективность системы электрической тяги определяется её надёжностью и экономичностью.

Таблица 2

Основные характеристики электровозов различных систем

Род тока	Тип электровоза	Тип тягового двигателя	Характеристика тягового двигателя	Способы пуска в ход и регулирования скорости	Рекуперативное торможение	Максимальный к. п. д. электровоза	Коэффициент мощности электровоза
Постоянный	Без преобразователей	Постоянного тока коллекторный с последовательным возбуждением	Последовательного возбуждения	Включение реостатов; изменение схемы соединения двигателей; ослабление поля	Возможно (до скорости 10—12 км/час) за счёт некоторого усложнения схемы электровоза	0,9	—
Однофазный переменный 16 $\frac{2}{3}$, 50 гц	С трансформатором на 16 $\frac{2}{3}$, 50 гц	Однофазный коллекторный с последовательным возбуждением	То же	Изменение напряжения на двигателях регулируемым трансформатором	Обычно не применяется	0,84	0,5—0,88
Однофазный переменный 50 гц	С трансформатором	То же	То же	То же	То же	0,84	0,5—0,88
	С трансформатором и ионным преобразователем (выпрямителем)	Постоянного тока с последовательным возбуждением	То же	Изменение напряжения на двигателях регулируемым трансформатором и сеточным управлением	Осуществимо за счёт существенного усложнения преобразователя	0,86	0,6—0,81
	С трансформатором и двигатель-генератором однофазно-постоянного тока	То же	Площадная (произвольно регулируемая)	Изменение напряжения на двигателях управляемым генератором	Осуществимо без дополнительных устройств до скорости 3—5 км/час	0,78	Производительно регулируемый
	С трансформатором и двигатель-генератором однофазно-трёхфазного тока	Асинхронный трёхфазный короткозамкнутый	То же	Одновременное изменение частоты и напряжения на двигателях управляемым генератором	То же	0,78	
	С расщепителем фаз и преобразователем частоты	То же	То же	Изменение частоты на двигателях	Легко осуществимо	0,83	

Под надёжностью понимается степень обеспечения бесперебойной работы электрифицированной железной дороги в условиях нормальной эксплуатации, а также при отклонениях от нормальных условий, которые могут быть связаны с временным увеличением перевозок, возникновением аварийных режимов, непредусмотренным изменением атмосферных условий и т. д.

Степень экономичности характеризуется размерами капитальных затрат и ежегодных расходов, себестоимостью перевозок, а также расходами оборудования и металла.

При сопоставлении факторов, характеризующих надёжность и экономичность электрифицированных дорог различного типа, необходимо принимать во внимание вопросы питания нетяговых потребителей, расположенных в полосе, прилегающей к трассе железной дороги.

Кроме того, при сопоставлении различных систем электрической тяги следует учитывать ряд дополнительных соображений:

1. Перспективы дальнейшего повышения экономической эффективности систем электрической тяги.

Повышение экономичности системы постоянного тока возможно в основном за счёт повышения напряжения в контактной сети и перехода на систему распределённого питания с полностью авто-телеуправляемыми подстанциями. Повышение экономической эффективности системы однофазного тока промышленной частоты возможно в основном за счёт улучшения конструкции электровоза.

2. Расходы, связанные со стыкованием участков железных дорог, работающих на различных системах электрической тяги.

3. Необходимость развивать новые отрасли промышленности при переходе на новый тип электровоза.

Т а б л и ц а 3

Основные экономические и энергетические показатели различных систем электрической тяги

Показатели	Наименование системы	Постоянный ток		Однофазный переменный ток				
		при централизованном питании	при распределённом питании	пониженной частоты (16 ² /с, гц)	промышленной частоты (50 гц) при электровозах типа**			
					I	II	III	IV
Сечение контактной сети в медном эквиваленте на один путь в мм ²		220—480	140—320	140—220				
Потери энергии в проводах контактной сети в %		4—5		~2				
К. п. д. тяговых подстанций		0,92—0,93	0,9—0,91	$\frac{0,8-0,86^*}{0,95-0,97}$	0,95—0,97			
Эксплуатационный к. п. д. локомотива		0,83—0,86		0,77—0,86	0,77—0,8	0,78—0,82	0,65—0,72	0,7—0,78

* В числителе указаны значения к. п. д. для подстанций с вращающимися преобразователями, в знаменателе — для трансформаторных подстанций.

** Обозначения типов электровозов: I — с однофазными коллекторными тяговыми двигателями переменного тока; II — с тяговыми двигателями постоянного тока и статическим преобразователем; III — с вращающимся преобразователем и двигателями постоянного тока; IV — с расщепителем фаз, преобразователем частоты и асинхронными трёхфазными тяговыми двигателями.

Т а б л и ц а 4

Влияние электрифицированных железных дорог на работу смежных технических сооружений

Род тока	Тип электровоза	Тип тяговых подстанций	Искажение формы кривых тока и напряжения	Нагрузка первичной системы энергоснабжения	Меры защиты от мешающих и опасных влияний на линии связи	Переоборудование устройств автоблокировки	Защита подземных сооружений от электрокоррозии
Постоянный	Без преобразователя	Ртутновыпрямительные	Незначительные	Симметричная	Сглаживающие устройства на тяговых подстанциях	Переход на переменный ток 50 гц (если до электрификации автоблокировка работала на постоянном токе)	Требуется
Однофазный переменный 16 ² /с	С коллекторными однофазными двигателями	С вращающимися преобразователями частоты	Отсутствует	Симметричная	Каблирование линий связи или отнес их от полотна железной дороги; применение отсасывающих трансформаторов и проводов	Установка дросселей или фильтров (если автоблокировка работает на переменном токе 50 гц)	Не требуется
		Со статическими преобразователями частоты	Значительное				
Однофазный переменный 50 гц	С двигателями постоянного тока и статическими преобразователями (выпрямителями)	Трансформаторные	Значительное искажение формы кривых тока и напряжения	Несимметричная	Каблирование или отнес линий связи, применение отсасывающих трансформаторов и проводов, а также установка фильтров на электровозах	Переход на питание автоблокировки постоянным током или переменным с частотой, отличной от 50 гц	Не требуется
	Все прочие типы		Отсутствует	Несимметричная	Каблирование или отнес линий связи; применение отсасывающих трансформаторов и проводов		

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЯГА ПОЕЗДОВ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В тяговых расчётах определяют:
силы тяги, сопротивлений и тормозные
силы поезда — в килограммах с округлением
до 50 кг;

удельные силы — в килограммах на одну
тонну $\frac{\text{кг}}{\text{т}}$ с точностью до 0,1;

ток с округлением до 5 а;

скорость — в километрах в час $\frac{\text{км}}{\text{час}}$

с точностью до 0,1;

расстояния — в метрах для элемента про-
филя и в километрах для перегонов с точ-
ностью до 0,01; уклоны — в тысячных с точ-
ностью до 0,1;

вес поездов (за исключением пригород-
ных) — в тоннах с округлением до 50 т,
а пригородных до 10 т;

расход электроэнергии — в ватт-часах или
киловатт-часах с округлением до 10 кВт-ч;

удельный расход электроэнергии — в ватт-
часах на тонно-километр $\frac{\text{вт-ч}}{\text{т} \cdot \text{км}}$ с точностью
до 0,1;

температуру нагревания — в °С с точно-
стью до 1°;

поперегонное время хода — в минутах
с точностью: расчётное — до 0,1 мин., для
графика поездов с частыми остановками — до
0,5 мин. и для пригородных электропоездов —
до 0,25 мин.

На электроподвижном составе железных
дорог СССР в настоящее время применяются
тяговые двигатели главным образом постоян-
ного тока последовательного возбуждения.

Номинальное расчётное напряжение на
шинах тяговых подстанций 3 300 и 1 650 в.

При тяговых расчётах расчётное напря-
жение на токоприёмнике электровагонов и мо-
торных вагонов принимается условно неиз-
менным и соответственно:

при тяговом режиме — 3 000 и 1 500 в;

при рекуперации — 3 300 и 1 650 в.

К этому напряжению следует относить
все характеристики электроподвижного со-
става.

Точность арифметических действий до 1%
при расчётах можно считать достаточной.

При выполнении тяговых расчётов следует
руководствоваться «Правилами производства
тяговых расчётов», изданными Министерством
путей сообщения. Все величины — буквенные
обозначения и единицы измерения, применяе-
мые в расчётах, приведены в табл. 1.

УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА

Уравнение движения поезда, полученное
на основании второго закона механики
в предположении, что поезд представляет
собой одну материальную точку, имеет вид:

$$F - W - B = M(1 + \gamma) \frac{dv}{dt}, \quad (1)$$

где F — сила тяги;

W — силы сопротивления;

B — тормозные силы;

M — масса поезда;

γ — коэффициент приведения вращаю-
щихся частей поезда;

$M(1 + \gamma)$ — приведённая масса поезда.

Одновременное действие всех сил (тяги,
сопротивлений и тормозных) может иметь
место, например, при движении поезда по
пильобразному профилю участка пути во
избежание разрыва поезда.

Обычно движение поезда характеризуется
тремя режимами: тягой, выбегом и торможе-
нием.

Для каждого из этих режимов уравнение
движения поезда принимает следующий вид:
для тяги

$$F - W = M(1 + \gamma) \frac{dv}{dt}; \quad (2)$$

для выбега

$$W = M(1 + \gamma) \frac{dv}{dt}; \quad (3)$$

для торможения

$$(W + B) = M(1 + \gamma) \frac{dv}{dt}. \quad (4)$$

В случае движения поезда под током
с постоянной скоростью

$$F = W. \quad (5)$$

В тяговых расчётах обычно пользуются
видоизменённым уравнением движения поез-
да, а именно рассматривают в нём силы, дей-
ствующие на одну тонну веса поезда, т. е.
удельные силы. Поэтому если обе части
уравнения движения разделить на вес поезда
 $P + Q$ и равнодействующую удельных сил
обозначить через f_∂ , то уравнение движения
в удельных величинах для любого режима
получим в виде

$$f_\partial = \frac{1}{\zeta} \cdot \frac{dv}{dt}, \quad \text{или} \quad \frac{dv}{dt} = f_\partial \zeta. \quad (6)$$

Численное значение коэффициента ζ зави-
сит от системы единиц, принимаемой в тяго-
вых расчётах.

При измерении силы в килограммах, пути
в метрах, времени в секундах и веса в тон-
нах коэффициент

$$\zeta = \frac{1}{102(1 + \gamma)} \frac{\text{м} \cdot \text{т}}{\text{сек}^2 \text{кг}}.$$

При тяговых расчётах чаще пользуются
иной размерностью: F кг, l км, t час,
«м/час». Тогда коэффициент

$$\zeta = \frac{127}{1 + \gamma} \frac{\text{км} \cdot \text{т}}{\text{час}^2 \text{кг}}.$$

Коэффициент приведения вращающихся
частей обычно определяется опытным путём,
но может быть определён и из уравнения

$$1 + \gamma = 1 + \frac{\sum \frac{I_n}{R_n^2} + \sum \frac{I_\partial}{R_\partial^2} + \sum \frac{I_\pi \mu^2}{R_\partial^2}}{m},$$

Таблица 1

Условные обозначения и сокращения, принятые в тяговых расчётах

Обозначения	Размерность	Значение	Обозначения	Размерность	Значение
A	квт·ч	Общий расход энергии на токоприёмнике электровоза или моторного вагона	Q	m	Вес состава или в моторвагонном электропоезде вес прицепных вагонов
a	тч/ткм	Удельный расход энергии на токоприёмнике электровоза или моторного вагона	Q	м ³ /мин	Количество воздуха, охлаждающего тяговый двигатель
B_m	кг	Общая тормозная сила поезда от действия тормозных колодок	q	m	Вес вагона брутто
$B_{тр}$	кг	Тормозная (или от электрического (рекуперативного) торможения)	R	m	Нагрузка на ось вагона
v_m	кг/т	Удельная тормозная сила	R	мм, см	Радиус кривой
C	—	Последовательное соединение тяговых двигателей	S	км, м	» движущего колеса
СП	—	Последовательно-параллельное соединение тяговых двигателей	S_m	m	Полный (расчётный) тормозной путь
D	мм	Диаметр движущих колёс локомотива по кругу катания	S_d	»	Условный тормозной путь при действии тормозных колодок
e	—	Основание натуральных логарифмов	S_{nd}	»	Путь, проходимый поездом при подготовке тормозов к действию
F	кг	Сила тяги	$S_{кр}$	»	Длина кривого участка
F_k	»	Касательная сила тяги движущих колёс локомотива	S_c	»	Длина спрямлённого участка профиля пути
$F_{кд}$	»	Сила тяги на ободу, развиваемая одним двигателем	T	мин.	Тепловая постоянная времени
F_d	»	Динамометрическая сила тяги, т. е. сила тяги, измеряемая динамометром	t	час, мин., сек.	Время
F_a	»	Сила тяги на сцепке локомотива при равномерном движении поезда	t_a	сек.	Время подготовки тормозов к действию
f_k	кг/т	Удельная касательная сила тяги	t_{no}	°C	Температура наружного воздуха
I_d	a	Ток возбуждения тягового двигателя	Δt	мин.	Интервал времени
I_d	»	Ток тягового двигателя	U	v	Напряжение
I_{cp}	»	» средний за некоторый промежуток времени	U_d	»	Напряжение на коллекторе тягового двигателя
I_a	»	Полный ток, потребляемый тяговыми двигателями электровоза	U_z	»	Напряжение на токоприёмнике электровоза
$I_{я}$	»	Ток якоря	U_H	»	Номинальное напряжение на шинах тяговой подстанции
i	%	Величина уклона	v	км/час	Скорость
i_k	%	» приведённого уклона	V_H	»	Начальная скорость
i_p	%	» расчётного подъёма	v_k	»	Скорость конечная
i_c	%	» уклона спрямлённого в продольном профиле участка	W	кг	Полное сопротивление движению
i_c	%	Величина подъёма, которым заменяются кривые на спрямляемом участке	W_d	кг/т	Удельное сопротивление от двигателя и передачи при движении без тока
i_c	%	Величина уклона спрямлённого участка с учётом кривой	w	»	Удельное основное сопротивление локомотива при движении под током
Δi	%	Абсолютная разность между уклоном спрямлённого участка и уклоном данного элемента	w_o	»	Удельное основное сопротивление вагонов
K	m	Сила нажатия на одну тормозную колодку	w_o	»	Удельное основное сопротивление поезда
K_p	»	Расчётная сила нажатия на одну тормозную колодку	w_k	»	Общее удельное сопротивление движению поезда
L	км	Длина участка	w_r	»	Удельное дополнительное сопротивление движению поезда от кривой
n_d	об/мин	Число оборотов двигателя в минуту	w_{tr}	»	Удельное дополнительное сопротивление движению поезда при трогании с места
ОП-1	—	Первая ступень ослабления поля возбуждения тягового двигателя	α	градусы	Центральный угол кривой
ОП-2	—	Вторая ступень ослабления поля возбуждения двигателя	δ	—	Коэффициент нажатия тормозных колодок
P	m	Полный вес локомотива или вес всех моторных вагонов в электропоезде	ϵ	км, м	Ускорение поезда в километрах в час за час
P	»	Статическая нагрузка, передаваемая колесом на рельс	τ_d	—	К.п.д. тягового двигателя
P	—	Параллельное соединение тяговых двигателей	τ_z	—	К.п.д. зубчатой передачи
ПП	—	Полное поле возбуждения тягового двигателя	τ_z	—	К.п.д. электровоза
P_k	m	Сцепной вес электровоза или моторного вагона	τ	°C	Расчётная температура обмотки тягового двигателя
τ_o	°C	Начальная температура перегрева обмотки тягового двигателя	τ	—	Тормозной коэффициент
τ_k	—	Коэффициент трения тормозной колодки о бандаж колеса	τ	—	Расчётный тормозной коэффициент
$\tau_{кр}$	—	Расчётный коэффициент трения тормозной колодки	τ_{∞}	°C	Передаточное число зубчатой передачи
			ϕ	—	Температура перегрева обмотки тягового двигателя (т. е. превышающая окружающую температуру)
			ϕ_k	—	Температура перегрева обмотки тягового двигателя при длительном режиме относительно температуры окружающего воздуха
			γ	—	Физический коэффициент сцепления катящегося колеса с рельсом
				—	Расчётный коэффициент сцепления движущих колёс с рельсом
				—	Коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся частей

где I_d и R_d — момент инерции и радиус движущих колёсных пар;

I_n и R_n — момент инерции и радиус вагонных и поддерживающих колёсных пар;

I_a и μ — момент инерции якоря тягового двигателя и передаточное число.

Средние расчётные значения величин коэффициента γ основных типов подвижного состава приведены в табл. 2.

Таблица 2

Величины коэффициентов приведения вращающихся частей	
Подвижной состав	$1 + \gamma$
Грузовые вагоны двухосные:	
а) порожние	1,10 ÷ 1,12
б) гружёные	1,04 ÷ 1,05
Грузовые вагоны четырёхосные:	
а) порожние	1,07 ÷ 1,08
б) гружёные	1,03 ÷ 1,04
Пассажирские вагоны	1,04 ÷ 1,05
Моторные вагоны	1,10 ÷ 1,15
Электровозы	1,20 ÷ 1,40
Электровозы серии ВЛ19 ($\mu = 3,74$)	1,245
Электровозы серии ВЛ22 ($\mu = 4,45$)	1,280

Учёт инерции вращающихся частей для всего поезда, состоящего из электровоза и однотипных вагонов, может быть произведён по формуле

$$(1 + \gamma)_n = \frac{(1 + \gamma)_g P + (1 + \gamma)_e Q}{P + Q} \cdot (7)$$

Если в составе поезда имеются вагоны разных типов, то, зная вес каждой группы данного типа вагонов, аналогично можно определить средний коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся частей всего поезда.

С достаточной для практики точностью при тяговых расчётах можно принимать: для грузовых поездов из гружёных вагонов

$$\zeta = 122 \frac{\text{км} \cdot \text{т}}{\text{час}^2 \text{ кг}};$$

для грузовых поездов из порожних вагонов

$$\zeta = 115 \frac{\text{км} \cdot \text{т}}{\text{час}^2 \text{ кг}}.$$

Практически для эксплуатационных расчётов можно допускать величину $\zeta = 120 \frac{\text{км} \cdot \text{т}}{\text{час}^2 \text{ кг}}$, при которой приближённое уравнение движения в удельных единицах принимает вид:

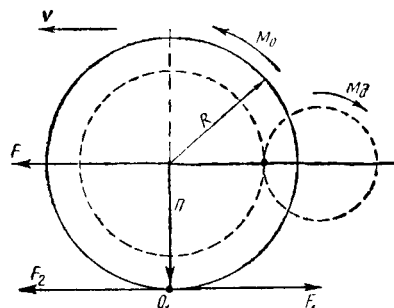
$$\frac{dv}{dt} = 120 f_d \frac{\text{км}}{\text{час}^2}. \quad (8)$$

СИЛА ТЯГИ И ХАРАКТЕРИСТИКА ТЯГОВОГО РЕЖИМА

Сила тяги

Вращающий момент от вала якоря тягового двигателя (фиг. 1) передаётся на движущую ось электровоза, образуя вращающий момент движущей колёсной пары M_d .

Вращающий момент оси M_d представляет пару сил $F - F_1$: сила F приложена в центре оси, а сила F_1 — в точке опоры колеса с рельсом, которая является мгновенным центром вращения. Для перемещения электровоза, кроме вращающего момента оси, необходимо сцепление движущих колёс с рельсами, которое возникает как результат давления движущей оси и трения между бандажом и рельсом.



Фиг. 1. Схема образования силы тяги

Сила F_1 , приложенная в точке опоры O_1 , вызывает равную себе реактивную силу F_2 , действующую от рельсов на колёса.

Эта внешняя касательная реактивная сила F_2 условно называется касательной силой тяги электровоза, или силой тяги на обод колеса, которую обычно вводят в тяговые расчёты.

Касательную силу тяги одной движущей оси определяют по формуле

$$F'_k = F_2 = F = \frac{M_d}{R} = \frac{M_d \mu \gamma_d}{R}, \quad (9)$$

а касательную силу тяги всего электровоза по формуле

$$F_k = F'_k n, \quad (10)$$

где n — число тяговых двигателей.

Расчётная сила тяги электровоза по условиям сцепления колёс с рельсами определяется уравнением

$$F_k = P_k \psi_k \cdot 1000 \text{ кг}. \quad (11)$$

Зная развиваемую электровозом силу тяги F_k , можно определить и реализуемый коэффициент сцепления

$$\psi = \frac{F_k}{P_k \cdot 1000}. \quad (12)$$

Отношение касательной силы тяги, реализуемой при отсутствии боксования осей электровоза, к его сцепному весу называют коэффициентом тяги.

Согласно Правилам производства тяговых расчётов расчётный коэффициент сцепления для грузовых электровозов принимается по формуле (при тяге)

$$\psi_k = 0,25 + \frac{8}{100 + 20 V}.$$

В зависимости от местных условий ψ_k может быть изменён Главным управлением локомотивного хозяйства.

Сила тяги на сцепке электровоза

Иногда используют понятие о силе тяги электровоза, величина которой определяется на первом сцепном приборе следующего за электровозом динамометрического вагона.

При постоянной скорости движения поезда сила тяги на сцепке будет равна касательной силе тяги на ободе движущих колёс за вычетом силы полного сопротивления самого электровоза, т. е.

$$F_n = F_k - P(\omega_0' \pm i + \omega_r). \quad (13)$$

При неравномерном движении поезда эта динамометрическая сила тяги, действующая на сцепной прибор, меняется за счёт изменения кинетической энергии электровоза. Тяговые же расчёты производятся по касательной силе тяги, развиваемой электровозом на ободе движущих колёс.

Характеристики тягового режима

Характеристики тягового режима электровоза подразделяются на электромеханические, электротяговые и тяговые.

Электромеханическими характеристиками называются характеристики тяговых двигателей, отнесённые к валу якоря, а именно:

$$n = f_1(I_d); \quad M = f_2(I_d) \quad \text{и} \quad \eta_d = f_3(I_d),$$

т. е. зависимости числа оборотов якоря n , момента M и к. п. д. η_d от тока якоря I_d при постоянном значении напряжения U_d на клеммах двигателя.

Электромеханические характеристики определяются при испытании двигателей на стенде заводом-изготовителем.

Электротяговыми характеристиками двигателя называются характеристики, отнесённые к ободу движущего колеса, а именно:

$$v = f_4(I_d); \quad F = f_5(I_d) \quad \text{и} \quad \eta_s = f_6(I_d),$$

т. е. зависимости скорости v , силы тяги F и к. п. д. электровоза (т. е. двигателя с передачей) η_s от тока якоря I_d .

Электротяговые характеристики рассчитываются на основании электромеханических характеристик тягового двигателя, заданного диаметра D движущих колёс, передаточного числа μ и η_s — к. п. д. зубчатой передачи или ΔP_s — потери в передаче.

Скоростная характеристика рассчитывается по уравнению

$$v = \frac{\pi D n \cdot 60}{1000 \mu} = 0,188 \frac{D}{\mu} n \frac{\text{км}}{\text{час}}. \quad (14)$$

Касательную силу тяги можно определить по уравнению

$$F_{k\partial} = 2 \frac{\mu}{D} M \eta_s \text{ кг}, \quad (15)$$

или значению мощности двигателя на ободе движущего колеса как

$$F_{k\partial} = 0,367 \frac{U_d I_d}{v} \eta_s. \quad (16)$$

При расчёте электротяговой характеристики $F_{k\partial} = f(I_d)$ необходимо знать к. п. д.

зубчатой передачи. Вместо к. п. д. передачи η_s обычно пользуются относительными потерями ΔP_s в передаче, выраженными в процентах от подведённой мощности:

$$\Delta P_s \% = 100 \frac{\Delta P_s}{UI} \%,$$

где ΔP_s — потери в передаче в *вт*.

По данным общесоюзного стандарта ГОСТ 2582—50 в табл. 3 приведены численные значения ΔP_s %, выраженные в процентах от номинального часового тока I_u двигателя, включая также потери в моторно-осевых подшипниках.

Таблица 3

Потери в зубчатой передаче и моторно-осевых подшипниках

$I\% = \frac{I}{I_u}$	25	30	40	50	60	75	100	125	150	200
ΔP_s %	8,5	6,7	4,40	2,0	2,7	2,5	2,5	2,7	3,0	3,5

Зная потери в передаче и к. п. д. тягового двигателя, можно получить к. п. д. на ободе движущего колеса электровоза в процентах:

$$\eta_s \% = \eta_d \% - \Delta P_s \%. \quad (17)$$

К. п. д. передачи η_s при различных токах двигателя можно представить так:

$$\eta_s = 1 - \frac{\Delta P_s \%}{100}. \quad (18)$$

Пересчёт электромеханических характеристик на электротяговые удобно свести в табл. 4.

Таблица 4

Пересчёт электромеханических характеристик на электротяговые

I_d	$v = 0,188 \frac{D}{\mu} n$	$\eta_s = \eta_d - \frac{\Delta P_s \%}{100}$	$F_{k\partial} = \frac{2 M}{D} \mu \eta_s$
a	$\frac{\text{км}}{\text{час}}$		кг

Общий порядок пересчёта состоит в следующем. Для разных значений тока якоря по формуле (14) определяют скорость, затем, зная к. п. д. двигателя η_d и нормы потерь в передаче, рассчитывают характеристику $\eta_s = f(I_d)$ и, наконец, пользуясь значениями скорости и к. п. д. электровоза, по формуле (16) вычисляют характеристику $F_{k\partial} = f(I_d)$.

В разделе «Тяговые двигатели» приведены электротяговые характеристики двигателей электроподвижного состава, получивших широкое применение.

В эксплуатационной практике для решения вопроса о лучшем использовании мощности электровозов приходится пересчитывать электротяговые характеристики $v = f(I_d)$ и $F_{k\partial} = f(I_d)$ существующих электровозов на изменённое передаточное число зубчатой передачи или другой диаметр движущих колёс.

Поскольку скорость пропорциональна диаметру D движущего колеса и обратно пропорциональна передаточному числу μ , то уравнение для пересчёта скорости будет иметь вид:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\mu_2 D_1}{\mu_1 D_2},$$

или

$$v_2 = v_1 \frac{\mu_1 D_2}{\mu_2 D_1} \frac{\kappa\text{м}}{\text{час}}. \quad (19)$$

Принимая мощность на ободе движущих колёс и к. п. д. электровоза при изменении μ и D неизменными, получим уравнение для пересчёта силы тяги

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\mu_1 D_2}{\mu_2 D_1},$$

или

$$F_2 = F_1 \frac{\mu_2 D_1}{\mu_1 D_2} \kappa\text{г}, \quad (20)$$

где v_1 , F_1 , μ_1 и D_1 — первоначальные известные параметры электровоза;

v_2 , F_2 , μ_2 и D_2 — его новые параметры.

Если изменяется только один параметр — или μ или D , то в приведённых уравнениях отношение неизменных параметров будет равно единице.

Пересчёт характеристик рекомендуется свести в табл. 5.

Таблица 5

Пересчёт характеристик при изменении передаточного числа и диаметра движущего колеса

I_∂	v_1	F_1	$v_2 = v_1 \frac{\mu_1 D_2}{\mu_2 D_1}$	$F_2 = F_1 \frac{\mu_2 D_1}{\mu_1 D_2}$
a	$\frac{\kappa\text{м}}{\text{час}}$	$\kappa\text{г}$	$\frac{\kappa\text{м}}{\text{час}}$	$\kappa\text{г}$

В тяговых расчётах, а также при изучении процесса движения поезда часто пользуются тяговыми характеристиками $v = f(F_\kappa)$, которые дают зависимость величины скорости от касательной силы тяги электровоза F_κ . Тяговые характеристики представляют собой семейство кривых, каждая из которых соответствует определённой схеме включения тяговых двигателей и степени ослабления поля возбуждения.

Зависимость v от F_κ определяется на основании электротяговых характеристик $v = f(I_\partial)$ и $F_{\kappa\partial} = (I_\partial)$ путём исключения I_∂ (фиг. 2).

Для этого задаются различными значениями тока двигателя I'_∂ и I''_∂ и т. д. и соответственно этим токам по электротяговым характеристикам находят значение скорости v' , v'' и силу тяги двигателя $F'_{\kappa\partial}$, $F''_{\kappa\partial}$. Умножив силу тяги одного двигателя на число двигателей, получают соответствующие значения касательной силы тяги электровоза F'_κ , F''_κ и т. д., которые будут представлять собой

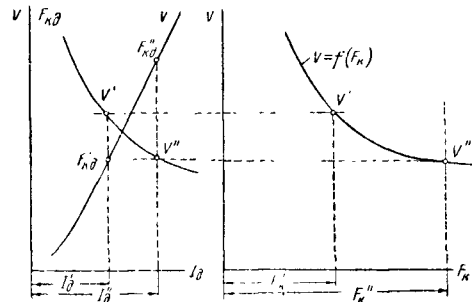
координаты точек кривой тяговой характеристики

$$v = f(F_\kappa).$$

Удельная сила тяги определяется по формуле

$$f_\kappa = \frac{F_\kappa}{P+Q} \frac{\kappa\text{г}}{т}. \quad (21)$$

Зная тяговые характеристики электровоза и вес поезда, можно получить удельно-тяговые характеристики, т. е. зависимость $v = \varphi(f_\kappa)$.



Фиг. 2. Построение тяговых характеристик

Пересчёт электротяговых и тяговых характеристик на удельно-тяговые сводится в табл. 6, на основании которой строится соответствующий график.

Таблица 6

Расчёт удельно-тяговых характеристик

I_∂	v	$F_{\kappa\partial}$	$F_\kappa = F_{\kappa\partial}^n$	$f_\kappa = \frac{F_\kappa}{P+Q}$
a	$\frac{\kappa\text{м}}{\text{час}}$	$\kappa\text{г}$	$\kappa\text{г}$	$\frac{\kappa\text{г}}{т}$
I'_∂	v'	$F'_{\kappa\partial}$	$F'_\kappa = F'_{\kappa\partial}^n$	$f'_\kappa = \frac{F'_\kappa}{P+Q}$
I''_∂	v''	$F''_{\kappa\partial}$	$F''_\kappa = F''_{\kappa\partial}^n$	$f''_\kappa = \frac{F''_\kappa}{P+Q}$

На этом же графике наносят и ограничение удельной силы тяги по условиям сцепления колёс с рельсами. Для этого удельную силу тяги, допустимую по сцеплению, определяют по формуле

$$f_{\kappa(м)} = \frac{F_{\kappa(м)}}{P+Q} \frac{\kappa\text{г}}{т}, \quad (22)$$

где

$$F_{\kappa(м)} = P_\kappa \psi_\kappa 1000.$$

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОВОЗА ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ

Скорость движения электровоза определяют исходя из уравнения равновесия электродвижущих сил тягового двигателя (при установившемся электрическом режиме):

$$U = E + Ir = C\Phi\omega + Ir,$$

откуда

$$v = \frac{U - Ir}{C\Phi}. \quad (23)$$

При данном токе двигателя скорость можно менять изменением напряжения U на коллекторе или магнитного потока Φ тягового двигателя. Электромеханические характеристики двигателя, а следовательно, и пересчитанные по ним электротяговые характеристики, отпесённые к ободу колеса, при разных напряжениях на коллекторе и для разных степеней изменения магнитного потока обычно снимаются на стенде заводом-изготовителем.

Если же нет характеристик при разных напряжениях, то их можно получить путём пересчёта. Для этого необходимо иметь характеристики какого-либо одного заданного режима работы двигателя. Обычно заданными бывают характеристики, снятые при номинальном напряжении на коллекторе (при параллельном соединении), которые приходится пересчитывать на пониженное напряжение (при последовательно-параллельном и последовательном соединениях двигателей).

Скорость при трёх разных напряжениях, соответствующих параллельному, последовательно-параллельному и последовательному соединениям тяговых двигателей, но при одном и том же токе двигателя, определяется уравнениями:

$$v_n = \frac{U_n - Ir}{C\Phi}; \quad v_{cn} = \frac{U_{cn} - Ir}{C\Phi};$$

$$v_c = \frac{U_c - Ir}{C\Phi}.$$

В этих уравнениях одному и тому же току соответствуют одинаковые магнитные потоки; поэтому, разделив первое уравнение на второе и второе на третье, получим формулы для пересчёта характеристик:

$$v_{cn} = v_n \frac{U_{cn} - Ir}{U_n - Ir}; \quad (24)$$

$$v_c = v_n \frac{U_c - Ir}{U_n - Ir}, \text{ или } v_c = v_{cn} \frac{U_c - Ir}{U_{cn} - Ir}. \quad (25)$$

Расчёт рекомендуется свести в табл. 7.

Силу тяги $F = C\Phi I$ практически можно считать не зависящей от напряжения двигателя; поэтому электротяговые характеристики

$F = f(I)$ принимаются одинаковыми при любом соединении тяговых двигателей на полном поле.

Учитывая, что падение напряжения Ir по сравнению с напряжением U на коллекторе невелико, приближённо можно считать, что скорости при разных соединениях двигателей пропорциональны напряжениям на коллекторе. В этом случае пересчёт скоростных характеристик производят приближённо по формуле

$$v_{cn} \approx v_n \frac{U_{cn}}{U_n},$$

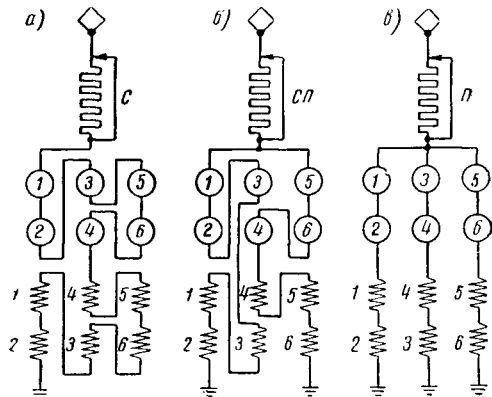
или в общем виде

$$v_2 \approx v_1 \frac{U_2}{U_1}. \quad (26)$$

Расчёт характеристик при включённых пусковых реостатах производят по формуле

$$v_R = v \frac{U - I(r + R)}{U - Ir}, \quad (27)$$

где R — сопротивление пусковых реостатов.



Фиг. 3. Схемы включения тяговых двигателей электровозов

Схемы включения тяговых двигателей электровозов и моторных вагонов, эксплуатируемых на электрифицированных участках наших дорог, даны на фиг. 3 и 4. В схемах

Таблица 7

Расчёт электротяговых характеристик для разных напряжений на коллекторе

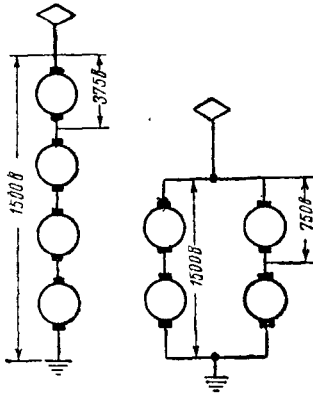
I_{∂} в а	v_n в км/час	Ir в в	$U_n - Ir$ в в	$U_{cn} - Ir$ в в	$U_c - Ir$ в в	v_{cn} в км/час	v_c в км/час	F в кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблица 8

Расчёт электротяговых и тяговых характеристик

I_{nn}	β	$\frac{I_{nn}}{\beta}$	v_{nn}	$U - \frac{I_{nn}}{\beta}(r_{\text{я}} + \beta r_{\text{в}})$	η	$U - I_{nn}(r_{\text{я}} + r_{\text{в}})$	v_{on}	F_{nn}	F_{on}
а	а	—	км/час	—	—	в	км/час	кг	кг

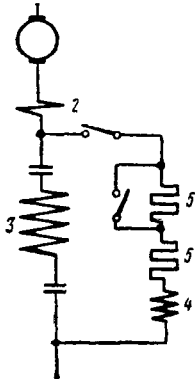
соединения тяговых двигателей моторных вагонов для простоты не показаны обмотки возбуждения.



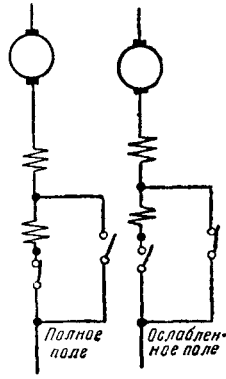
Фиг. 4. Схемы включения тяговых двигателей моторных вагонов

Электротяговые характеристики при ослабленном поле

Регулирование возбуждения тяговых двигателей, а следовательно, и скорости ослаблением магнитного потока осуществляется двумя способами: или шунтированием обмоток возбуждения сопротивлением (фиг. 5) или выключением части витков катушек главных полюсов (фиг. 6).



Фиг. 5. Схема шунтирования обмоток возбуждения



Фиг. 6. Схема выключения части витков

Коэффициент регулирования возбуждения определяется по формуле

$$\beta = \frac{AW_{on}}{AW_{nn}}, \quad (28)$$

где AW_{on} — м. д. с. возбуждения при ослабленном поле;

AW_{nn} — м. д. с. возбуждения при полном поле.

При регулировании скорости включением шунтирующего сопротивления коэффициент регулирования будет

$$\beta = \frac{I_e}{I_{\gamma}}.$$

При ослаблении поля выключением части витков обмотки возбуждения коэффициент регулирования будет

$$\beta = \frac{\omega_1}{\omega}, \quad (29)$$

где ω — общее число витков;

ω_1 — оставшееся число витков.

На электровозах серий ВЛ19, ВЛ22 и ВЛ22^м имеются две степени регулирования возбуждения:

$$\beta_1 = 67\% \text{ при ОП-1}$$

и

$$\beta_2 = 50\% \text{ при ОП-2.}$$

На моторных вагонах одна степень регулирования

$$\beta_1 = 57,5\%.$$

Скоростные электротяговые характеристики при ослабленном поле $v_{on} = f(I)$ с учётом падения напряжения в обмотках двигателя и при условии одной и той же м. д. с. возбуждения рассчитывают по уравнению

$$v_{on} = \frac{U - \frac{I_{nn}}{\beta}(r_{\gamma} + \beta r_e)}{U - I_{nn}(r_{\gamma} + r_e)} v_{nn}. \quad (30)$$

Более точное построение этих характеристик, с учётом влияния реакции якоря, можно произвести при наличии характеристик намагничивания $C\Phi_{on} = f(I_e)$ из уравнения

$$v_{on} = \frac{U - I_{nn}(r_{\gamma} + \beta r_e)}{C\Phi_{on}}. \quad (31)$$

Значение $C\Phi_{on}$ определяется по формуле (31), из неё находят м. д. с. при ослабленном поле, а следовательно, и $C\Phi_{on}$. Приближённо скоростные характеристики $v_{on} = f(I)$ получают из равенства $v_{on} \approx v_{nn}$, причём обе скорости берутся при одинаковом токе в обмотке возбуждения; при этом скорость при токе якоря I и ослабленном поле (т. е. токе βI в обмотке возбуждения) приблизительно равна скорости, которую имел бы поезд при полном поле и токе βI в цепи якоря и обмотке возбуждения.

Электротяговые характеристики $F_{on} = f(I)$ определяются из уравнения

$$F_{on} = \frac{0,367 U I_{on} \eta_{on}}{v_{on}}. \quad (32)$$

Если неизвестны характеристика и к. п. д. $\eta_{on} = f(I)$, то для приближённых подсчётов можно принять $\eta_{nn} \approx \eta_{on}$ и, следовательно,

$$F_{on} = \frac{F_{nn}}{\beta}, \quad (33)$$

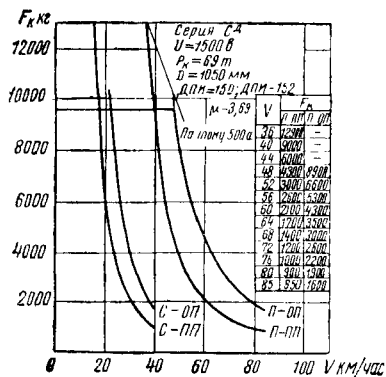
так как

$$F_{on} \approx K \Phi I_{on} = K \Phi \frac{I_{nn}}{\beta} \approx \frac{F_{nn}}{\beta}.$$

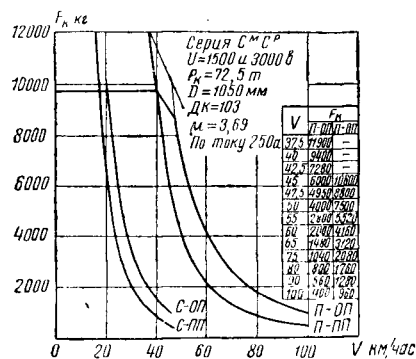
Расчёт электротяговых и тяговых характеристик сводится в табл. 8.

Пользуясь приведённым выше порядком пересчёта, получают тяговые характеристики $F = f(v)$ для всех соединений двигателей и при ослаблении магнитного потока.

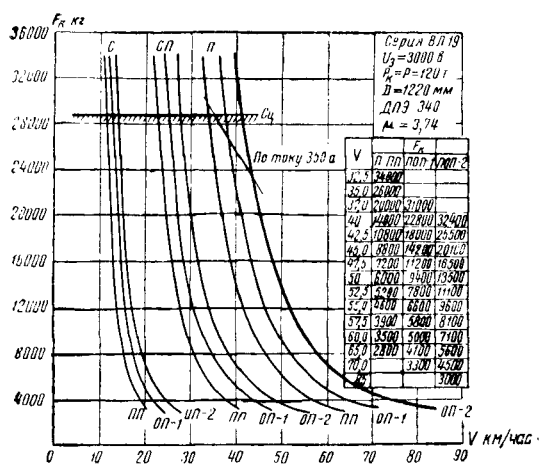
Тяговые характеристики для советских электровозов и моторных вагонов приведены на фиг. 7—12.



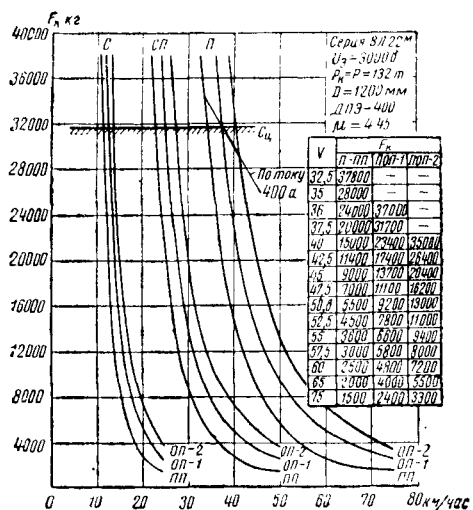
Фиг. 7. Тяговые характеристики электросекции серии СД



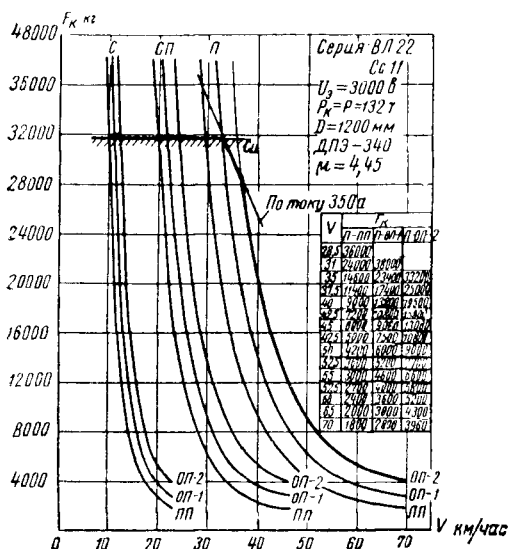
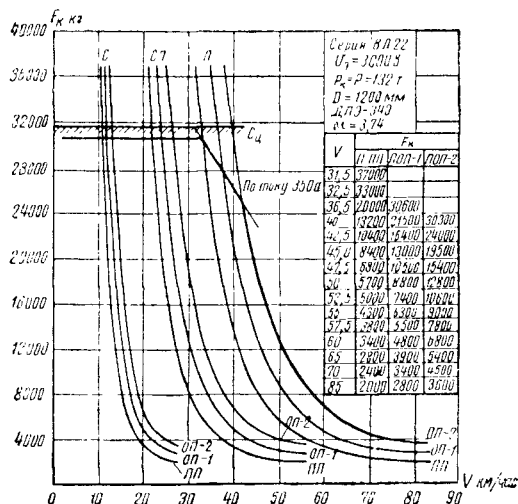
Фиг. 8. Тяговые характеристики электросекций серий СМ и СР



Фиг. 9. Тяговые характеристики электровоза серии ВЛ19



Фиг. 10. Тяговые характеристики электровозов серий ВЛ22М

Фиг. 11. Тяговые характеристики электровоза серии ВЛ22 и Сс11 при $\mu=4,45$ Фиг. 12. Тяговые характеристики электровоза серии ВЛ22 при $\mu=3,74$

СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ПОЕЗДА

При всех режимах движения поезда действуют силы сопротивления, которые обычно принято называть сопротивлением движению поезда.

Сопротивлением движению поезда являются внешние, не зависящие от воли машиниста (неуправляемые) силы, направленные против движения поезда.

Суммарное сопротивление поезда состоит из основного и дополнительных и определяется по формуле

$$W = W_o \pm W_i + W_r + W_d. \quad (34)$$

Основное сопротивление поезда W_o действует постоянно, т. е. в любом месте участка пути, при любом режиме ведения поезда и на прямом горизонтальном участке пути.

Основное сопротивление зависит от многих причин, наиболее характерными из которых являются: трение в подшипниках; трение качения на ободе колёс; трение скольжения между бандажом и рельсом; удары на стыках и деформация пути; сопротивление воздушной среды.

Дополнительные сопротивления поезда состоят из W_i от уклонов и W_r — от кривизны пути. Добавочные сопротивления W_d при сильных морозах, ветрах, метелях и снегопадах в расчётах обычно не учитываются, так как имеют временный характер и всегда могут быть преодолены за счёт запаса мощности электровоза. Добавочное сопротивление в тоннелях устанавливается в каждом отдельном случае опытным путём.

Полное сопротивление движению поезда можно представить также, как сумму полных сопротивлений движению электровоза и состава поезда

$$W = W' + W'' \text{ кг.}$$

Расчёты обычно ведут по удельным сопротивлениям, т. е. приходящимся на одну тонну веса поезда, которые можно определить по формуле

$$w = w' + w'' \frac{\text{кг}}{т},$$

или

$$w = \frac{W \pm W_i + W_r}{P + Q} \frac{\text{кг}}{т}. \quad (35)$$

Зная удельные сопротивления w_o , w_i и w_r , а также вес локомотива P и состава Q в тоннах, можно найти полное сопротивление поезда при езде под током:

$$W = (w_o' \pm w_i' + w_r') P + (w_o'' \pm w_i'' + w_r'') Q \text{ кг.} \quad (36)$$

В случае езды без тока сопротивление движению электровоза возрастает за счёт трения в подшипниках и зубчатых передачах и определяется, как

$$W = (w_o' + w_d \pm w_i + w_r') P + (w_o'' \pm w_i + w_r'') Q \text{ кг.} \quad (37)$$

Основное удельное сопротивление поезда при движении под током определяется по формуле

$$w_o = \frac{w_o' P + w_o'' Q}{P + Q} \frac{\text{кг}}{т}. \quad (38)$$

При езде без тока, т. е. на выбеге, основное замедляющее удельное сопротивление будет равно

$$w_{os} = \frac{(w_o' + w_d) P + w_o'' Q}{P + Q} \frac{\text{кг}}{т}. \quad (39)$$

Если состав поезда состоит из двухосных и четырёхосных гружёных и порожних вагонов, то учитывается удельное сопротивление двух- и четырёхосных вагонов пропорционально части веса состава, приходящейся на эти вагоны. В этом случае подсчитывается среднее основное удельное сопротивление всего поезда по формуле

$$w_o = \frac{w_o' P + w_o''(2\text{-осн.}) Q_{(2\text{-осн.})} + w_o'''(4\text{-осн.}) Q_{(4\text{-осн.})}}{P + Q}. \quad (40)$$

Расчётные формулы основного удельного сопротивления

Ввиду того что основное сопротивление движению зависит от многих факторов, дать точную теоретическую формулу для определения w_o невозможно; поэтому пользуются эмпирическими формулами, полученными в результате опытных поездок. В этих формулах учитываются только главные факторы, влияющие на основное сопротивление: скорость движения поезда, вес и род подвижного состава.

Приведённые ниже расчётные эмпирические формулы получены в результате проведённых опытов в нормальных условиях эксплуатации на железных дорогах СССР.

Основное удельное сопротивление на прямом горизонтальном пути для вагонов определяется в килограммах на тонну по формулам:

двухосные грузовые (всех типов)

$$w_o'' = 1,4 + 0,02 v + \frac{0,5}{q} v; \quad (41)$$

четырёхосные грузовые (всех типов)

$$w_o'' = \frac{65 + v}{12 + 0,55 q}; \quad (42)$$

пассажирские двухосные и трёхосные вагоны

$$w_o'' = 1,4 + 0,017 v + 0,0003 v^2; \quad (43)$$

пассажирские вагоны на тележках

$$w_o'' = 1,4 + 0,012 v + 0,0003 v^2 \frac{\text{кг}}{т}, \quad (44)$$

где q — вес вагона брутто в $т$.

Основное удельное сопротивление цельнометаллических пассажирских вагонов с включённым электрическим генератором определяется по формуле

$$w_o'' = 1,4 + 0,012 v + 0,0003 v^2 + \frac{20}{v}. \quad (45)$$

Последний член $\left(\frac{20}{v}\right)$ учитывается, начиная только со скорости 20 км/час и выше.

Для моторвагонных электропоездов основное удельное сопротивление в килограммах на тонну определяется по формулам:

при движении под током

$$\omega'_0 = 1,60 + 0,014 v + \left[\frac{0,0064 (n_s - 1) + 0,045}{P + Q} \right] v^2; \quad (46)$$

при движении без тока

$$(\omega'_0 + \omega_\partial) = 2,5 + 0,03 v + \left[\frac{0,0064 (n_s - 1) + 0,045}{P + Q} \right] v^2, \quad (47)$$

где n_s — общее число вагонов в электропоезде;
 P — вес моторных вагонов поезда в t ;

Q — вес прицепных вагонов в электропоезде в t .

Для электропоездов серий ВЛ19; ВЛ22; ВЛ22М основное удельное сопротивление можно определять по формулам:

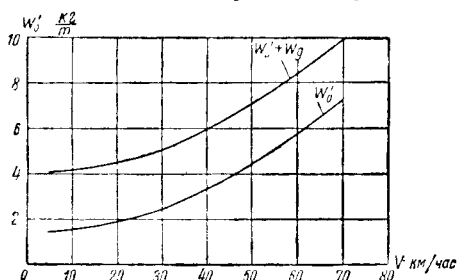
при движении под током

$$\omega'_0 = 1,4 + 0,0012 v^2; \quad (48)$$

при движении без тока

$$(\omega'_0 + \omega_\partial) = 4,0 + 0,0012 v^2. \quad (49)$$

Зависимость основного удельного сопротивления электропоездов под током и без тока представлена в виде кривых на фиг. 13.



Фиг. 13. Основное удельное сопротивление электропоездов под током и без тока

Для поездов метрополитена при движении под током основное удельное сопротивление определяется как

$$\omega'_0 = 2,9 + 0,012 v + 0,0007 v^2 \frac{\kappa z}{m}. \quad (50)$$

Дополнительное сопротивление при движении без тока для поездов метрополитена колеблется в пределах 1,0 — 1,5 кг/т и может быть определено по приближенной формуле

$$\omega_\partial = \frac{2 F_\kappa}{100 G} \frac{\kappa z}{m}, \quad (51)$$

где F_κ — часовая (номинальная) сила тяги моторных вагонов поезда в кг;
 G — полный вес поезда в t .

Сопротивление от уклона пути

Сопротивление от уклона пути i ‰ (подъема или спуска) добавляется к основному сопротивлению движения. Удельное сопротивление от уклона принимается численно равным числу тысячных подъема или спуска:

$$\omega_i = i \frac{\kappa z}{m}. \quad (52)$$

Цифровому выражению величин ω_i и i в случае подъема придается знак плюс, а при движении по спуску — знак минус.

Сопротивление от кривизны пути

При проходе кривых поезд испытывает дополнительное сопротивление ω_r (кроме основного), которое зависит от многих факторов: радиуса кривой, дополнительного поперечного и продольного трения скольжения, скорости поезда, возвышения наружного рельса в кривых и т. д. Вследствие этого определить его теоретическим путем очень трудно. Поэтому определяют удельное сопротивление по эмпирической формуле

$$\omega_r = \frac{700}{R}. \quad (53)$$

По этой формуле определяют ω_r в том случае, если длина поезда меньше или равна длине кривой. Если же длина поезда больше длины кривой, тогда определяют по формулам:

$$\omega_r = \frac{700}{R} \cdot \frac{S_{кр}}{l_n}, \quad (54)$$

или

$$\omega_r = \frac{12,2 \alpha}{l_n}, \quad (55)$$

где R — радиус кривой в m ;
 $S_{кр}$ — длина кривой в m ;
 l_n — длина поезда в m ;
 α — центральный угол кривой в градусах.

В том случае, когда известны величина α центрального угла кривой и длина кривой $S_{кр}$ и неизвестна величина радиуса, тогда ω_r определяют по формуле, как

$$\omega_r = \frac{12,2 \alpha}{S_{кр}}. \quad (56)$$

При производстве тяговых расчетов дополнительное сопротивление от кривой ω_r обычно заменяют фиктивным подъемом, дающим такое же сопротивление, как и кривая. Поэтому при наличии кривой на уклоне сопротивление от профиля

$$i_k = \pm i + \frac{700}{R} \frac{\kappa z}{m}. \quad (57)$$

Этот фиктивный уклон i_k называется приведенным уклоном. Сопротивление от кривой имеет знак плюс, а уклон — в зависимости от направления движения поезда: при подъеме — плюс, а при движении поезда по спуску — минус.

Сопротивление при трогании с места

Приведённые выше эмпирические формулы для определения основного удельного сопротивления w_0 локомотивов и вагонов действительны при условии установившегося движения со скоростью 10 км/час и выше. При трогании поезда с места появляются дополнительные сопротивления, которые обусловлены повышенным коэффициентом трения в подшипниках и отчасти сопротивлением пути. Поэтому при определении сопротивления поезда при трогании с места к основному удельному сопротивлению, определённому по эмпирическим формулам для скоростей 10 км/час и выше, прибавляется ещё дополнительное сопротивление, которое на основании опытов принимают равным 4 кг/т или определяют по формуле

$$w_{тр} = 2,0 + 0,3 i_{тр} \frac{\text{кг}}{т},$$

где $i_{тр}$ — величина подъёма, на котором расположен остановочный пункт.

Величина сопротивления поезда в пределах скоростей от 0 до 10 км/час принимается постоянной.

Полное удельное сопротивление поезда с учётом подъёма и кривой

$$w_k = w_0 + i_k \frac{\text{кг}}{т}. \quad (58)$$

Значение w'_0 и w''_0 определяется по соответствующим эмпирическим формулам в зависимости от типа подвижного состава.

ТОРМОЗНАЯ СИЛА ПОЕЗДА

От тормозных средств поезда и величины тормозной силы зависит реализация больших скоростей при соблюдении условия безопасности движения.

Внешние силы, управляемые человеком, приложенные к поезду и направленные против движения, называются тормозными силами. На электроподвижном составе применяются следующие виды торможения: ручное, воздушное, автоматическое (автотормоза), электровоздушное, рекуперативное, реостатное.

У первых трёх видов тормозная сила образуется вследствие возникновения сил трения при нажатии тормозных колодок на бандажи колёсных пар. При рекуперативном и реостатном торможении тормозная сила образуется вследствие возникновения тормозных моментов двигателей, работающих генераторами.

У первых трёх видов торможения сила трения $K\varphi_k$, действуя на колесо, передаётся на рельс и вызывает в точках опоры горизонтальную реакцию $B = K\varphi_k$, направленную в сторону, обратную движению поезда (фиг. 14).

Тормозная сила поезда определяется при этом по формуле

$$B_m = 1000 \sum (\varphi_k K) \text{ кг}, \quad (59)$$

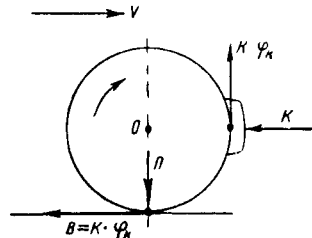
где K — действительное нажатие колодки на колесо в т;

φ_k — действительный коэффициент трения колодки о колесо.

Для обычных чугунных колодок коэффициент трения определяют по эмпирической формуле

$$\varphi_k = 0,6 \frac{16K + 100}{80K + 100} \cdot \frac{100 + v}{5v + 100}. \quad (60)$$

Согласно формуле (60) коэффициент трения φ_k зависит от силы нажатия и от скорости; поэтому если в поезде имеются вагоны



Фиг. 14. Схема образования тормозной силы

с разными нажатиями колодок, то расчёт тормозной силы поезда усложняется. В этом случае используют так называемый метод приведения.

Расчётная сила нажатия на колодку K_p при этом определяется из равенства

$$K\varphi_k = K_p\varphi_{kp},$$

где φ_{kp} — расчётный коэффициент трения при постоянном ($K = 2,7 \text{ т}$) нажатии на колодку, определяемый из формулы (60):

$$\varphi_{kp} = 0,27 \frac{v + 100}{5v + 100}; \quad (61)$$

$K = 2,7 \text{ т}$ условно принимается как среднее значение действительного нажатия на колодку четырёхосного вагона при гружёном и порожнем режимах торможения.

Величина расчётного нажатия всех тормозных колодок на одну колёсную пару приведена в табл. 9, которой можно пользоваться при определении тормозных сил эксплуатируемого подвижного состава.

В этом случае тормозная сила поезда

$$B_m = 1000 \varphi_{kp} \sum K_p \text{ кг}. \quad (62)$$

В тяговых расчётах тормозную силу, как и другие силы, обычно относят к одной тонне веса поезда и определяют по формуле

$$b = \frac{B_m}{P + Q} = 1000 \varphi_k \left(\frac{\sum K' + \sum K''}{P + Q} \right) = 1000 \varphi_k (\varphi'_p + \varphi''_p), \quad (63)$$

где φ'_p — тормозной коэффициент электроваза;

φ''_p — тормозной коэффициент состава;

$\sum K'$ — сумма нажатий всех колодок электровоза;

$\sum K''$ — сумма нажатий всех колодок вагонов.

Для грузовых поездов согласно ПТЭ на спусках не круче 20‰ вес и тормоза локомо-

Таблица 9
Расчётное нажатие на ось

Род подвижного состава	Величина расчётного нажатия тормозных колодок на ось в т
Пассажирские вагоны длиной до 20,2 м (двухосные, трёхосные, четырёхосные) старого типа . . .	6,0
Пассажирские вагоны длиной 20,2 м и более (четырёх- и шестиосные)	9,0
Пассажирские цельнометаллические вагоны	10,0
Все грузовые вагоны при порожнем режиме торможения и вагоны с односторонним тормозом	4,0
Четырёхосные грузовые вагоны с односторонним торможением на гружёном режиме торможения	6,5
Двухосные грузовые вагоны на гружёном режиме торможения (кроме цистерн подъёмной силой 25 т)	7,0
Тепловозы и электровозы	10,0
Моторные вагоны электросекций и прицепные к ним	9,0
Двухосные цистерны подъёмной силой 25 т	8,0
Четырёхосные изотермические вагоны с односторонним торможением при включении на гружёный режим	6,0

тива не учитываются, поэтому в тяговых расчётах тормозным коэффициентом будет

$$\vartheta'' = \frac{\Sigma K''}{Q}. \quad (64)$$

Для уклонов свыше 20‰ количество действующих тормозов устанавливается опытным путём и объявляется приказом начальника дороги.

Для пассажирских же поездов согласно ПТЭ вес и тормоза локомотива следует учитывать и поэтому тормозной коэффициент определится, как

$$\vartheta_p = \vartheta'_p + \vartheta''_p = \frac{\Sigma K'_p + \Sigma K''_p}{P + Q}. \quad (65)$$

В таблицах ПТЭ значения этих тормозных коэффициентов для различных скоростей и крутизны спусков увеличены в 100 раз, т. е. приведена сила нажатия колодок в тоннах, приходящаяся на каждые 100 т веса поезда.

При определении допускаемых скоростей на спусках значение тормозного коэффициента следует принимать равным его полной расчётной величине. При расчётах служебного торможения на остановках на отдельных пунктах значение тормозного коэффициента принимается равным 65% расчётной величины. Для поездов с электровоздушным тормозом тормозной коэффициент при служебном торможении принимается равным 80% его полной расчётной величины.

При движении поезда по уклону без тока при действии тормозов равнодействующая удельных сил поезда будет равна

$$b_m + w_0 + i_k = 1000 \varphi_k \vartheta + \frac{\dot{w}_0 P + \dot{w}_0'' Q}{P + Q} \pm i. \quad (66)$$

Ограничение тормозной силы

Тормозная сила колёсной пары не должна превышать силы сцепления колёс с рельсами, так как иначе произойдёт заклинивание колёсной пары (юз). Поэтому всегда нужно соблюдать условие $K\varphi_0 < P'\psi_k$, откуда сила нажатия

$$K < P' \frac{\varphi_k}{\varphi_0}, \quad (67)$$

где φ_0 — коэффициент трения покоя между бандажом и колодкой;
 ψ_k — коэффициент сцепления.

Отношение силы нажатия колодок к статической нагрузке P' колеса на рельс $\frac{K}{P'} = \delta$ есть коэффициент нажатия.

При проектировании подвижного состава обычно коэффициент нажатия принимают: для локомотивов $\delta = 0,5$; для грузовых вагонов $\delta = 0,6 - 0,7$; для пассажирских вагонов $\delta = 0,7 - 0,9$.

Для производства тяговых расчётов необходимо определить удельные тормозные характеристики $v = f(b)$ и удельные замедляющие характеристики $v = f(b_3)$, порядок расчёта которых сведён в табл. 10.

Исходными данными для расчёта этих характеристик является тормозной коэффициент ϑ .

Таблица 10
Расчёт удельных тормозных и замедляющих характеристик

v	0	10	20	и др.
Расчётная формула				
$\varphi_{kp} = 0,27 \frac{v+100}{5v+100}$				
$b_m = 1000 \varphi_{kp} \vartheta_p$				
$w_{03} = \frac{(\dot{w}_0' + w_0'') P + \dot{w}_0'' Q}{P + Q}$				
$b_3' = b_m + w_{03}$ (при 100%-ном торможении)				
$b_3'' = b_m + w_{03}$ (при 65%-ном или 80%-ном торможении).				

где b_m — удельная тормозная сила;
 b_3 — удельная замедляющая тормозная сила (с учётом основного сопротивления при движении на выбеге)

Удельные характеристики $v = f(w_{03})$ и $v = f(b_3)$ следует представить в виде графиков.

Расчёт веса составов

Вес состава поезда зависит от характера профиля пути и обычно определение его производится в следующем порядке:

1) из условий движения по труднейшим подъёмам с неравномерной скоростью и с использованием кинетической энергии поезда;

2) из условий движения по расчётному за-тяжному подъёму с равномерной скоростью;

3) проверяют вес состава на трогание с места;

4) производят окончательное установление веса состава после проверки тягового двигателя по нагреванию.

При расчёте веса состава поезда необходимо учитывать опыт работы передовых машинистов и результат периодически проводимых опытных поездок по установлению весовых норм.

Зная силу тяги электровоза $F_{\kappa}(сц)$ по условиям сцепления и расчётную скорость движения v_p на руководящем подъёме, производят предварительное определение веса состава поезда, исходя из полного использования сил сцепления:

$$F_{\kappa}(сц) = P \psi_{\kappa} \cdot 1000 \text{ кг.}$$

Расчётная скорость v_p на руководящем подъёме определяется пересечением тяговой характеристики $F=f(v)$ и силы тяги по сцеплению $F_{\kappa}(сц)$. Значения этих величин для электровозов приведены в табл. 11.

Таблица 11
Значения силы тяги и скорости на расчётном подъёме

Серия электровозов	Передающее число	Режим работы двигателей	Сила тяги в кг	Скорость в км/час
Сс11 и ВЛ22	4,45	П-ОП-1	34 400	31,5
ВЛ119	3,74	П-ПП	32 200	33,0
ВЛ22 ^в	3,74	П-ПП	33 000	32,0
ВЛ22 ^м	4,45	П-ОП-1	34 400	36,5
Н8	3,90	П-ОП-1	46 300	43
ВЛ23	3,90	П-ОП-1	26 400	42,6

Расчётным подъёмом на данном участке считается один из наиболее крутых подъёмов, на протяжении которого будет достигнута равномерная скорость поезда, т. е. такой подъём, который не может быть взят с разгона. Это зависит от прилегающих к расчётному подъёму элементов профиля пути и от расположения остановочных пунктов.

Анализируя заданный профиль, решают, какой из подъёмов можно предварительно принять за расчётный i_p . Вес состава поезда в этом случае определяют по формуле

$$Q = \frac{F_{\kappa}(сц) - P(\omega'_o + i_p)}{\omega''_o + i_p} \text{ т.} \quad (68)$$

Если же характер и расположение отдельных пунктов не дают оснований для выбора расчётного подъёма, тогда определение веса состава необходимо производить методом подбора, который заключается в следующем.

За расчётный подъём принимают подъём меньшей крутизны, чем максимальный на данном участке, и по формуле (68) определяют Q . Определяют вес состава на возможность прохождения подъёмов наибольшей

крутизны за счёт использования кинетической энергии поезда. При этом проверку веса можно производить графическим способом путём построения кривой $v=f(S)$ или аналитическим по формуле

$$S = \frac{4,17 (v_{\kappa}^2 - v_n^2)}{f_{\kappa} - \omega_{\kappa}}, \quad (69)$$

где S — длина проверяемого участка профиля с подъёмом максимальной крутизны;

v_n — скорость поезда в начале этого подъёма;

v_{κ} — скорость в конце этого подъёма;

$f_{\kappa} - \omega_{\kappa}$ — средняя удельная ускоряющая сила в пределах скоростей от v_n до v_{κ} .

Скорости в конце проверяемого подъёма, найденные расчётом, должны быть не ниже расчётных скоростей.

Интервалы между конечной и начальной скоростью следует брать примерно 10 км/час и затем суммировать полученные отрезки пути S_1, S_2 . Если общая длина их получится такой же, как длина проверяемого подъёма i или больше, то этот вес состава принимают за расчётный. Если общая длина будет меньше длины i , то необходимо изменить вес состава и опять произвести проверку, пока не будет соблюдено предыдущее условие.

Рассчитанный таким образом вес состава поезда необходимо проверить на условие трогания поезда с места на заданных остановочных пунктах.

Проверку на трогание производят по формуле

$$Q_{mp} = \frac{F_{\kappa}(mp) - P(\omega'_o + i_{mp} + \omega_{mp})}{\omega''_o + i_{mp} + \omega_{mp}}, \quad (70)$$

где $F_{\kappa}(mp)$ — сила тяги при трогании с места, определяемая из выражения

$$F_{\kappa}(mp) = P_{\kappa}(сц) \psi_{\kappa, mp} \cdot 1000 \text{ кг,} \\ \text{при } \psi_{\kappa, mp} = 0,33.$$

Основные удельные сопротивления ω'_o и ω''_o в этом случае принимают при скорости $v = 10$ км/час, а дополнительное сопротивление принимают для гружёных поездов $\omega_{mp} = 4$ кг/т с учётом неодновременного трогания состава.

i_{mp} — величина подъёма, на котором расположен остановочный пункт.

Если при проверке окажется, что $Q_{mp} > Q$, то расчётным остаётся вес Q . Если же $Q > Q_{mp}$, то расчётным будет Q_{mp} .

Окончательное установление веса состава поезда необходимо произвести после проверки нагревания тяговых двигателей при работе по всему участку. Весовые нормы маршрутных поездов на тяговом участке окончательно устанавливаются в зависимости от весовых норм для всего направления дороги и ряда дорог. Исходя из этих условий определяется необходимость применения двойной тяги или подталкивания.

СПРЯМЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ ПУТИ

Для сокращения времени на тяговые расчёты, а также для повышения точности их необходимо спрямлять профиль. Спрявление заключается в том, что небольшие по длине и близкие по крутизне смежные элементы профиля заменяют одним элементом постоянной крутизны i'_c , который по длине равен сумме длин, вошедших в спрямлённый элемент.

Крутизна спрямлённого профиля определяется из условий равенства механической работы, выполняемой локомотивом на спрямлённом и действительном профиле.

Кроме спрямления элементов в профиле пути, производят ещё дальнейшее упрощение, так называемое приведение профиля, при котором заменяют кривые добавочным фиктивным подъёмом i'_c , распространяемым на всю длину спрямлённого участка. Таким образом, крутизна спрямлённо-приведённого фиктивного элемента i'_c представляет собой величину

$$i'_c = \pm i'_c + i''_c; \quad (71)$$

при этом

$$i'_c = \frac{(H_n - H_k) 1000}{S_c} \%_{000}, \quad (72)$$

или

$$i'_c = \frac{\sum i_i S_i}{S_c},$$

где i'_c — фиктивный уклон спрямлённого участка;

H_n и H_k — начальная и конечная отметки спрямлённого участка;

i_i — действительный уклон каждого элемента, входящего в спрямляемый;

$S_c = \sum S_i$ — длина спрямляемого участка.

Добавочный фиктивный уклон от нескольких кривых на спрямлённом участке определяется по формуле

$$i''_c = \frac{1}{S_c} \left(\frac{700}{R_1} S_1 + \frac{700}{R_2} S_2 + \dots \right) = \frac{700}{S_c} \sum \frac{S_i}{R_i}, \quad (73)$$

или

$$i''_c = 12,2 \frac{\sum \alpha}{S_c}, \quad (74)$$

где S_i — длина каждой кривой в пределах спрямляемого участка;

R_i — радиус кривой;

$\sum \alpha$ — сумма центральных углов в пределах спрямляемого участка.

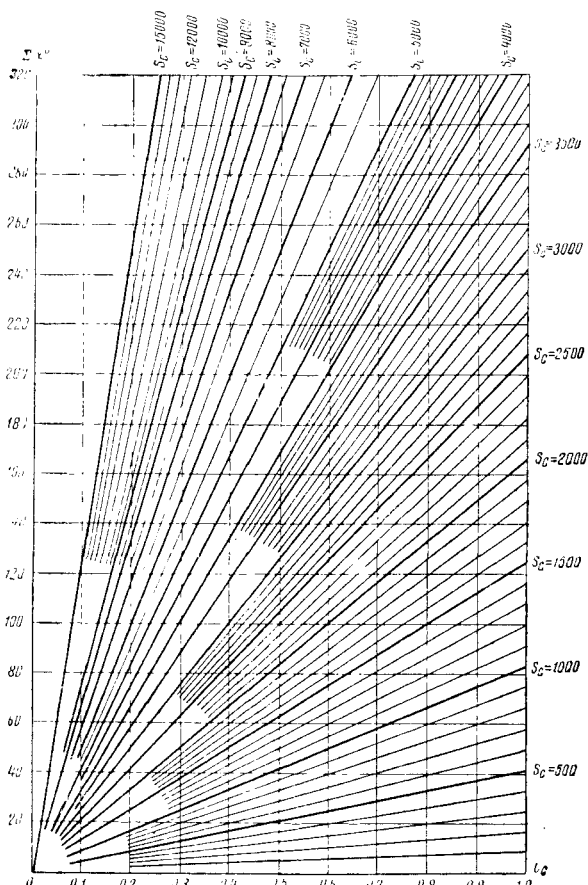
Для определения i'_c можно пользоваться графиком, приведённым на фиг. 15. Для этого по оси ординат надо отложить величину $\sum \alpha$, снести отсчёт на луч, соответствующий длине спрямляемого участка S_c , а по оси абсцисс прочитать соответствующий фиктивный подъём i'_c .

Возможность спрямления отдельных элементов проверяется по условию

$$S < \frac{2000}{\Delta i}, \quad (75)$$

где S — длина каждого элемента, входящего в спрямляемый участок, в м;

Δi — абсолютная разность между фиктивным уклоном спрямляемого участка и уклоном каждого проверяемого элемента действительного профиля пути.



Фиг. 15. График для определения фиктивного подъёма

Если один из проверяемых элементов действительного профиля не удовлетворяет условию (75), то необходимо заново перегруппировать элементы и вторично произвести проверку на возможность спрямления их.

Границы возможного спрямления элемента профиля представлены также в виде кривой на фиг. 16.

Элементы профиля остановочных пунктов спрямлять не следует.

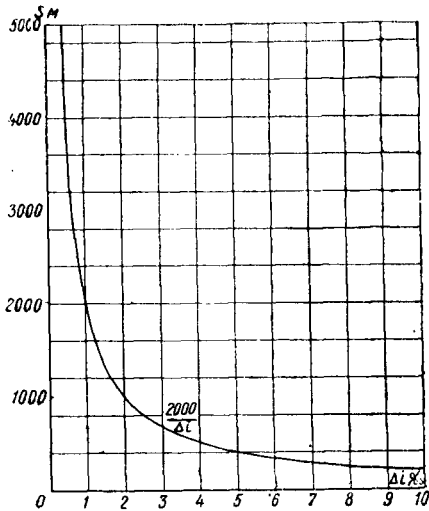
Результаты расчётов по спрямлению профиля сводятся в табл. 12.

Графы 6—9 характеризуют спрямлённые участки, которые заносятся под порядковыми номерами в графу 10. Рассчитанный спрямлённый профиль наносят затем на миллиметровую бумагу в установленном масштабе.

Таблица 12

Расчёт спрямления профиля

№ элементов	S в м	$\pm i$ в ‰	Кривые		$S_c = \Sigma S$ в м	i'_c в ‰	i''_c в ‰	$i_c = \pm i' + i''$	№ спрям- лённых элементов	Примечание
			R в м	$S_{кр}$ в м						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11



Фиг. 16. График для определения допустимых границ спрямления

РАСЧЁТ И ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА

Расчёт и построение кривых движения поезда $v = f(t)$, $v = f(S)$ и $t = f(S)$ основаны на решении уравнения движения поезда $\frac{dv}{dt} = \xi f_\partial$ аналитическим, или графо-аналитическим, или графическим, или же приближённым методом. Первый метод построения кривых движения поезда заключается в аналитическом решении уравнения движения. Непосредственное интегрирование уравнения затрудняется вследствие невозможности представить силу f_∂ , действующую на поезд, как непрерывную функцию скорости; в связи с изменением профиля пути затрудняется также установление пределов интегрирования.

Графо-аналитический метод решения уравнения движения поезда основан на приближённой замене бесконечно малых приращений скорости конечными величинами.

В пределах этих приращений усилие, действующее на поезд, принимается постоянным, соответствующим среднему значению скорости в данном интервале.

Уравнение движения поезда при этом методе принимает вид:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \xi f_\partial (cp). \quad (76)$$

Удельные усилия, действующие на поезд, определяются по кривым:

$$f_\partial = f - \omega_0 = \varphi(v);$$

$$\omega_{0s} = f(v); \quad b_s = f(v),$$

а время хода и путь, пройденный поездом, — по формулам:

$$\Delta t = \frac{30 \Delta v}{f_\partial (cp)} \text{ сек.}; \quad (77)$$

$$\Delta S = \frac{4,17 (v_2^2 - v_1^2)}{f_\partial (cp)} \text{ м},$$

или

$$\Delta S = v_{cp} \Delta t \frac{1}{3,6} \text{ м}, \quad (78)$$

где $v_2 - v_1 = \Delta v$ — интервал скорости в км/час;
 $f_\partial (cp)$ — среднее удельное усилие, действующее в этом интервале скорости;

ΔS — путь, пройденный в м за время Δt .

Точность расчёта при графо-аналитическом методе зависит от величины выбираемых интервалов скорости Δv : чем меньше интервал, тем точнее расчёты.

При большой протяжённости участка пути для расчёта кривых движения поезда требуется много времени. Поэтому этим методом пользуются сравнительно редко, обычно в тех случаях, когда расчёты надо произвести для небольшого участка пути длиной примерно $10 \div 20$ км.

Результаты расчётов сводятся в табл. 13. Графический метод основан на графическом интегрировании уравнения движения поезда $\frac{\Delta v}{\Delta t} = \xi f_\partial (cp)$ при замене бесконечно малых приращений скорости конечными.

Этот метод получил широкое распространение при производстве тяговых расчётов, как наиболее простой и требующий сравнительно мало времени для выполнения.

Обоснование и изложение этого метода можно найти в любом курсе по тяге поездов, поэтому здесь даются краткие сведения о технике применения этого метода и необходимые указания для построения кривых скорости и времени.

В зависимости от рода тяги (пассажирская или грузовая), протяжённости участка и желаемой точности результатов при гра-

Таблица 13

Расчёт кривых движения поезда графо-аналитическим способом

№ по пор.	Профиль		Скорость в км/час					Удельные силы в кг/т			Время в сек.		Путь в м	
	i в ‰	S в м	v_0	v_1	Δv	v_{cp}	v_{max}	f_0 (ср)	w_{03} ср	b_3 (ср)	Δt	T	ΔS	L

фическом методе построения кривых движения рекомендуется принимать масштабы, указанные в табл. 14.

Таблица 14

Рекомендуемые масштабы для графического построения кривых движения

Масштабы и размерности	Для общих расчётов				Для тормозных и других специальных расчётов	
	номера масштабов					
	1	2	3	4	5	6
Скорость $m_v \left(\frac{\text{мм}}{\text{км/час}} \right)$	2	1	2	2	2	1
Тяга $m_f \left(\frac{\text{мм}}{\text{кг/т}} \right)$	12	6	4	8	2	1
Путь $m_S \left(\frac{\text{мм}}{\text{км}} \right)$	40	20	120	60	240	120
Время $m_t \left(\frac{\text{мм}}{\text{мин}} \right)$	10	10	30	15	—	—
Время $m_t \left(\frac{\text{мм}}{\text{час}} \right)$	600	600	1800	900	—	—
Δ постоянная (мм)	30	30	30	30	—	—

Следует иметь в виду, что масштабы связаны между собой соотношениями:

$$m_S = \frac{\zeta m_v^2}{m_f} \text{ мм/км}; \quad (79)$$

$$m_t = \frac{\Delta m_S}{60 m_v} \text{ мм/мин}, \quad (80)$$

где $\zeta = \frac{127}{1+\gamma}$; обычно в расчётах принимается $\zeta = 120$, а постоянный отрезок $\Delta = 20 \div 30$ мм.

Графическое интегрирование уравнения движения производится на основании исходных данных удельных характеристик $v = \varphi(f_0)$, $v = f(w_{03})$ и $v = f(b_3)$. Поэтому, рассчитав эти характеристики, необходимо установить соотношение масштабов для дальнейшего графического построения кривых движения поезда.

Обычно задаются масштабами скорости m_v и сил m_f и определяют масштаб пути m_S по формуле (79). Затем, зная масштаб пути m_S и скорости m_v , по формуле (80) определяют масштаб времени m_t . Выбор и определение величин масштабов зависят от рода электротяги. Для электровозной тяги рекомендуется применять

масштабы № 1, 2 и 4; для моторвагонной тяги пригородных дорог и метрополитена — масштаб № 3; для тормозных и других расчётов — № 5 и 6.

После определения масштабов на миллиметровой бумаге строят кривые удельных сил и наносят спрямлённый профиль пути. В левом координатном квадранте строится кривая ускоряющих усилий $v = \varphi(f_0)$, при этом по оси ординат откладывают скорость, а по оси абсцисс — ускоряющее усилие. В правом квадранте по оси абсцисс откладывают длину перегона L и наносят профиль с указанием подъёмов, спусков и площадок.

Силу тяги электровозов при пуске принимают постоянной за весь период разгона (от нулевой скорости до выхода на автоматические характеристики). Для всех типов электровозов её принимают равной наибольшей силе тяги, допускаемой по условиям сцепления.

Для моторвагонных электропоездов сила тяги при пуске ограничена не сцеплением, а коммутацией. Поэтому силу тяги при пуске необходимо принимать по средним пусковым токам полного поля, а далее по автоматической характеристике ослабленного поля параллельного соединения двигателей.

Точка пересечения характеристики удельно ускоряющих усилий с осью ординат определяет наибольшую установившуюся скорость.

Установившаяся скорость при движении по уклонам определяется перенесением оси ординат: в случае движения по подъёмам — в левую сторону, а по уклонам в правую. При этом для каждого одностысячного уклона ось ординат смещается на единицу масштаба сил, т. е. на 1 кг/т.

Для периода движения без тока построение кривой $v = f(S)$ производится по характеристике замедляющих усилий $v = f(w_{03})$.

При тормозном режиме построение кривой скорости производится по характеристике замедляющих усилий $v = f(b_3)$.

Тормозных характеристик $v = f(b_3)$ обычно строят две: одну при 100%-ном тормозном коэффициенте β для всех поездов и вторую при 65%-ном β для грузовых поездов и 80%-ном β для поездов на электровоздушном тормозе при расчётах служебного торможения на остающихся раздельных пунктах.

В случае применения рекуперативного торможения при движении по перегону на вредных спусках необходимо пользоваться рекуперативными тормозными характеристиками $B_{mp} = f(v)$.

Если тормозная сила электровоза от рекуперативного торможения окажется недостаточной при заданных условиях (вес поезда, скорость и спуск), то необходимо применять смешанное торможение, т. е. использовать подтормаживание состава автотормозами.

В целях максимального использования кинетической энергии поезда перед подъёмами необходимо доводить скорость до максимально допустимой при данной конструкции локомотива, тормозах или состоянии пути.

Остановка поезда обычно осуществляется автоматическими тормозами, поэтому построение кривой $v = f(S)$ для этого периода производится при помощи характеристики $v = f(b_s)$ воздушного торможения.

Следует учитывать ограничение скорости на стрелках и при проследовании мест с постоянно действующими предупреждениями о снижении скорости.

При безостановочном проследовании отдельных пунктов и обмене жезлов скорость необходимо снижать до установленной приказом по дороге.

Общий порядок построения кривых движения $v = f(S)$ и $t = f(S)$ рекомендуется следующий:

- 1) произвести спрямление и приведение заданного участка профиля пути;
- 2) рассчитать характеристики удельных усилий, действующих на поезд;
- 3) расчёт этих характеристик следует свести в табл. 15, 16 и 17.

Таблица 15

Расчёт удельно ускоряющих характеристик $v = f(f_y)$

v	ω'_0	ω''_0	ω_0	F_k	f_k	$f_\partial = f_k - \omega_0$
1	2	3	4	5	6	7

Таблица 16

Расчёт удельно замедляющих характеристик $v = f(\omega_{03})$ при езде на выбеге

v	ω'_0	$\omega'_0 + \omega_\partial$	ω_{03}
1	2	3	4

Таблица 17

Расчёт удельно замедляющих характеристик $v = f(b_s)$ при торможении на площадке

v	ω_{03}	φ_k	b_m	$b_m + \omega_{03}$	или $0,65 b_m + \omega_{03}$ или $0,85 b_m + \omega_{03}$
1	2	3	4	5	6

4) определить масштабы скорости, сил, пути и времени и нанести на миллиметровку графики $v = f(f_y)$, $v = f(\omega_{03})$ и $v = f(b_s)$; при построении этих графиков учитывать ограниченные скорости по конструкции локомотива и по тормозам в зависимости от крутизны спусков, т. е. $v = f(i)$, а также проверить максимально возможную или допустимую скорость поезда на каждом элементе профиля пути;

5) по кривым движения, зная время хода, а также стоянки и длину пути, определить среднетехнические и участковые скорости:

$$v_{tex} = \frac{L}{\Sigma t}; v_{ком} = \frac{L}{\Sigma t + t_c},$$

где L — длина участка;

Σt — время хода по участку;

t_c — время стоянок.

Приближённый способ, получивший название способа равновесных скоростей, имеет большое применение для предварительных расчётов времени хода поезда по перегонам. Он основан на предположении, что скорость поезда при переходе с одного элемента профиля на другой изменяется мгновенно и что поезд движется по каждому элементу с равномерной скоростью, которая может быть определена из графиков ускоряющих $v = f(f_y)$ и замедляющих сил $v = f(\omega_{03})$ как точка пересечения указанных кривых с осью ординат, смещённой вправо или влево от начала координат на величину крутизны данного уклона.

При известной скорости v и длине S_c каждого элемента спрямлённого профиля время прохождения по перегону в минутах определяется, как

$$t_x = \Sigma t = \Sigma \frac{S_c}{v}.$$

Все расчёты времени хода сводятся в табл. 18.

Таблица 18

Расчёт времени хода поезда

№ элементов	Элементы профиля		Скорость v в км/час	Время прохождения 1 км $\frac{60}{v}$ в мин.	Время прохождения элемента $\frac{60 S}{v}$ в мин.	Время хода поезда по перегону $t_x = \Sigma \frac{60 S_c}{v}$
	длина S в км	уклон $\pm i$ в ‰				
1						
2						
и т. д.						

При этом способе на каждую остановку поезда на отдельном пункте следует обычно добавлять 3 мин. (2 мин. на разгон и 1 мин. на замедление).

Для облегчения расчётов этим способом рекомендуется предварительно построить гра-

фик $\frac{60}{v} = f(i)$, который позволяет для любого дробного значения уклона i быстро определить величину $\frac{60}{v}$ и этим ускорить подсчёт. Этот способ расчёта не даёт точных результатов, так как здесь не учитывается кинетическая энергия поезда. Поэтому пользоваться им разрешается только для предварительных расчётов.

Если вес состава рассчитывают с учётом кинетической энергии, то время хода по расчётному перегону необходимо определять точным способом.

При проследовании промежуточных отдельных пунктов без остановки скорость по прямому пути устанавливается приказом начальника дороги, а при приёме на боковой путь с остановкой согласно ПТЭ — равной 25 км/час. При построении кривой скорости на спусках следует принимать во внимание необходимость периодических торможений со снижением скорости ниже допустимой на этих спусках меньшую на 5%, чем допускается по тормозам или по состоянию пути. Если профиль пути имеет затяжные крутые спуски, то на спусках круче 20‰ при тормозах грузового типа необходимо предусматривать пятиминутные остановки на каждом отдельном пункте. При окончательном установлении полуперегонных времён хода для графика движения поездов расчётное перегонное время следует округлять до целых минут. При этом увеличение общего времени ходов по перегонам, включая округления, не должно превышать 5% общего расчётного времени хода по тяговому участку.

ТОРМОЗНЫЕ РАСЧЁТЫ

Общие указания

Подвижной состав наших железных дорог оборудован советскими автотормозами системы Матросова и Казанцева. Согласно ПТЭ количество тормозов в каждом поезде должно соответствовать руководящему спуску участка, весу поезда и скорости, принятым на данном участке, и определяется для грузовых и пассажирских поездов по ПТЭ. Для грузовых поездов МПС устанавливает единое тормозное нажатие на каждые 100 т веса состава.

Это обстоятельство требует установления определённой зависимости между скоростью движения поезда v , уклоном профиля участка пути i , наличием тормозных средств (количеством тормозных осей) или тормозным коэффициентом ϕ и длиной расчётного тормозного пути S_m . Эта зависимость определяется тормозными расчётами, которые связывают четыре указанные величины, и решение тормозных задач сводится к определению одной из этих величин при остальных заданных.

Руководящий спуск i_p и установленные графиком скорости поездов утверждаются МПС и объявляются приказом начальника дороги. При определении спуска нужно принимать во внимание сопротивления кривых.

Расчётный тормозной путь S_m для поездов, следующих на автоматическом торможении, обычно принимают равным 800 м или устанавли-

вают отдельно на дорогах. Расчётным тормозным путём является наибольшее расстояние от начала торможения до полной остановки, которое на руководящем спуске проходит поезд, следующий до начала торможения с максимальной установленной скоростью.

Из четырёх неизвестных v , ϕ , i_p и S_m величины i_p и S_m в тягово-эксплуатационных расчётах обычно бывают заданными. Поэтому наиболее часто встречающиеся тормозные расчёты делятся на две группы:

1) определение максимально допустимой скорости на известном уклоне i_p при заданных тормозных средствах, т. е. заданном тормозном коэффициенте и тормозном пути $S_m = 800$ м;

2) определение необходимого количества тормозных средств, т. е. нахождение потребной величины тормозного коэффициента для движения поезда с заданной скоростью по известному уклону и $S_m = 800$ м.

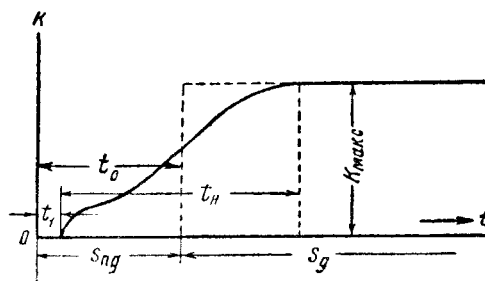
Иногда в эксплуатационной практике могут возникнуть и такие задачи, как определение длины тормозного пути или величины уклона. Тогда заданными будут скорость и тормозные средства.

Тормозной путь

Полный тормозной путь — это путь, проходимый с момента начала торможения до остановки поезда и представляющий собой сумму действительного тормозного пути S_d и пути S_{nd} , проходимого за время подготовки тормозов к действию:

$$S_m = S_d + S_{nd}.$$

Действительный тормозной путь S_d — это расстояние, проходимое поездом за время, прошедшее от прижатия тормозных колодок до полной остановки. Считают, что за время



Фиг. 17. Нарастание силы нажатия тормозных колодок

действия тормозной силы с начала торможения и до остановки (по истечении времени подготовки тормозов к действию) величина давления сжатого воздуха в тормозном цилиндре, а следовательно, и сила нажатия тормозных колодок K , являются постоянными и наибольшими (фиг. 17).

При этом

$$t_0 = t_1 + 0,5 t_n,$$

где t_0 — время, затраченное на подготовку тормозов к действию, в сек.;
 t_1 — время от момента поворота ручки крана машиниста до начала возникновения тормозного усилия;
 t_n — время наполнения тормозного цилиндра сжатым воздухом до полного давления.

Путь подготовки тормозов к действию $S_{пд}$ есть расстояние, проходимое поездом от момента поворота ручки крана машиниста до начала действия полной тормозной силы:

$$S_{пд} = \frac{v_{нт} t_0}{3,6},$$

где t_0 — время в сек.;
 $v_{нт}$ — скорость в км/час.

Полный тормозной путь определяется по формуле

$$S = \frac{v_{нт} t_0}{3,6} + \sum \frac{4,17 (v_{нт}^2 - v_k^2)}{b_s \pm i_c}, \quad (81)$$

где i_c — спрямлённо-приведённый уклон в ‰.

Конечные разности скоростей в приведённой формуле берутся с интервалами не более 10 км/час, причём зависящие от скорости величины $\varphi_{кр}$ и $\omega_{ос}$ принимаются в пределах каждого интервала постоянными и соответствующими средней скорости интервала.

Время подготовки тормозов к действию определяется в зависимости от тормозной системы, а также от крутизны спуска по следующим формулам:

при автоматических тормозах грузового типа

$$t_0 = 7 - \frac{10i}{1000 \varphi_{кр}} \text{ сек.} \quad (82)$$

и автоматических тормозах пассажирского типа

$$t_0 = 4 - \frac{5i}{1000 \varphi_{кр}} \text{ сек.} \quad (83)$$

При электровоздушных тормозах $t_0 = 2$ сек.; при ручных тормозах для грузовых вагонов $t_0 = 30$ сек.; при ручных тормозах для пассажирских вагонов $t_0 = 60$ сек.

В формулах (82) и (83) численную величину i принимают со знаком минус для спусков и со знаком плюс для подъёмов. Величину $\varphi_{кр}$ принимают по начальной скорости торможения.

Решение тормозных задач производится одним из методов, которыми строятся кривые движения поезда.

Для приближённых расчётов тормозные задачи решаются графо-аналитическим способом, а более точное решение получают графическим методом.

Определение допустимых скоростей

Тормозную задачу по определению максимально допустимых скоростей начала торможения $v_{нт}$ в зависимости от крутизны спуска при заданных величинах i , S_m , φ и $v_k = 0$ можно решить аналитическим или графическим способом.

Приближённое аналитическое определение $v_{нт}$ основано на решении уравнения

$$S_m - \frac{v_{нт} t_0}{3,6} = \frac{4,17 (v_{нт}^2 - v_k^2)}{\omega_{ос} + b_m + i}. \quad (84)$$

Неизвестным в последнем уравнении будет $v_{нт}$, так как $v_k = 0$, $S_m = 800$ м. Удельная тормозная сила b_m определяется по заданным φ и принимается в этом случае постоянной, равной средней величине в интервале скоростей $v_{нт}$ и $v_k = 0$. Для этой же скорости определяется и $\omega_{ос}$. Определение времени подготовки тормозов к действию было указано выше.

Зависящая от скорости величина $\varphi_{кр}$ принимается в пределах каждого интервала скоростей постоянной и равной значению, соответствующим средней скорости интервала. Для этих интервалов необходимо определить тормозной путь S , пока он не окажется равным 800 м.

В том случае, когда задана максимальная скорость начала торможения $v_{нт}$, можно согласно уравнению (81) определить тормозной путь как

$$S = \frac{v_{нт} t_0}{3,6} + \sum \frac{4,17 (v_{нт}^2 - v_k^2)}{\omega_{ос} + b_m + i}.$$

Для определения максимально допустимых скоростей $v_{нт}$ в зависимости от спусков при графическом способе должна быть известна удельная тормозная характеристика $v = f(b_s)$ для 100 %-ного нажатия тормозных колодок.

При этом для грузового поезда учитывается тормозная сила только одного состава (вагонов) при спуске до $i = 20\text{‰}$. Для пассажирского поезда во всех случаях, а для грузового при спусках больше 20‰ количество действующих тормозов устанавливается опытным путём приказом начальника дороги на основании указания МПС.

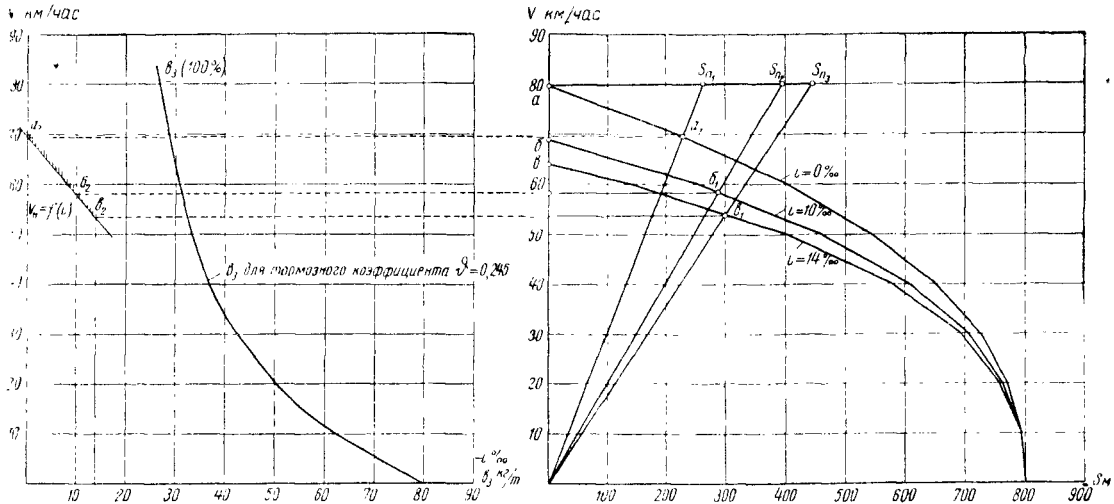
Для решения тормозной задачи графическим способом выбирают масштабы согласно табл. 14. На миллиметровку в масштабе наносят зависимость $v = f(b_s)$ при 100% нажатия, а также длину тормозного пути $S = 800$ м (фиг. 18).

Решая графически систему уравнений $v = f(i)$ и $S = f(v_{нт})$ для каждого из спусков i , получают точки a_1 , b_1 и e_1 , пересечения прямых $S_n = f(v_{нт})$ с кривыми $v = f(S)$ и определяют максимальные скорости начала торможения поезда при известных тормозных средствах b_s на заданных спусках i при тормозном пути 800 м.

Значения максимально допустимых скоростей (точки a_1 , b_1 , e_1) наносят на график в координатной системе $v_{нт} = f(i)$. Через эти точки проводят плавную кривую $v_{нт} = f(i)$ (фиг. 19), по которой можно определить максимально допустимую скорость для любого уклона заданного профиля, лежащего в интервале уклонов, принятых при построении.

Допускаемые скорости движения по спускам в зависимости от заданных тормозных средств φ даны в ПТЭ.

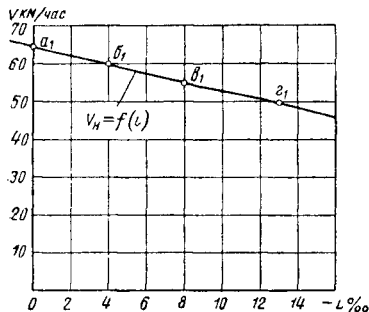
Так, если задан тормозной коэффициент $\varphi = 20$ т на 100 т веса состава грузового



Фиг. 18. Графическое решение тормозной задачи

поезда, то наибольшая скорость движения определится для спусков:

$i = 0\text{‰}$	$v_n = 66 \text{ км/час}$
$i = 4 \text{ ‰}$	$v_n = 61 \text{ ″}$
$i = 8 \text{ ‰}$	$v_n = 55 \text{ ″}$
$i = 13 \text{ ‰}$	$v_n = 49 \text{ ″}$



Фиг. 19. Определение максимально допустимых скоростей в зависимости от крутизны спуска

Определение тормозного коэффициента

Тормозные задачи по определению необходимых тормозных средств в поезде (тормозного коэффициента ϑ , числа тормозных осей n и тормозных характеристик b_s) обычно решаются при помощи графической интерполяции. Для ориентировочных расчётов величина тормозного коэффициента может быть определена аналитически из уравнения, где $b_m = 1000 \varphi_k \vartheta$. Величины ω_{03} и φ_{kr} определяют при средней скорости

$$v_{cp} = \frac{v_n + v_k}{2}.$$

Заданными являются: расчётный тормозной путь $S_m = 800$ м, руководящий спуск i_p и наибольшая скорость поезда v_n на данном спуске.

Тормозной коэффициент ϑ_p , а следовательно, соответствующее этому коэффициенту число тормозных осей в поезде должны обеспечить

остановку его на расстоянии расчётного тормозного пути (800 м) при условии, если машинист начнёт тормозить с наибольшей заданной скоростью $v_{n, макс}$ на заданном спуске $i_{макс}$.

При графическом решении этой задачи рекомендуется соблюдать следующий порядок:

1) задаются несколькими (не менее трёх) значениями тормозных коэффициентов ϑ , например: 0,15, 0,20; 0,25;

2) для каждого из принятых значений ϑ рассчитывают свою характеристику удельных тормозных усилий $v = f(b_s)$;

3) в выбранных масштабах, как и в предыдущей задаче, строятся кривые $v = f(b_s)$ при движении по площадке и для каждого ϑ . В левом квадранте откладывают длину тормозного пути $S_m = 800$ м и графическим методом МПС строят кривые $v = f(S)$ для каждой тормозной характеристики;

4) на графике $v = f(S)$ откладывают пути подготовки тормозов к действию S_{n0} для соответствующих ϑ ;

5) графическим решением зависимостей $v = f(S)$ и $S_{n0} = f(v_n)$ находят точки пересечения этих кривых, которые определяют максимально допустимые скорости поезда по данному спуску.

В координатной системе $\vartheta = f(v_n)$ наносят найденные значения скоростей и соответствующие тормозные коэффициенты. Соединяя плавной кривой эти точки, получают зависимость

$$\vartheta = f(v_{n, макс}).$$

По оси абсцисс откладывают заданную максимальную скорость $v_{макс}$ для данного элемента профиля пути и по кривой находят искомое значение ϑ_p .

Зная величину расчётного тормозного коэффициента ϑ_p , определяют необходимое число тормозных осей n_m для грузового поезда из выражения

$$\vartheta_p = \frac{\sum K_{op}}{Q}$$

или

$$\Sigma K_{op} = \vartheta_p Q = n_m K_{op},$$

откуда

$$n_m = \frac{\vartheta_p Q}{K_{op}},$$

где ϑ_p — расчётный тормозной коэффициент состава поезда;

K_{op} — расчётное нажатие колодок на ось.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРО-ЭНЕРГИИ

Расход энергии на тягу поездов

Расход электроэнергии на тягу поездов определяют или опытным путём — по показаниям счётчиков, установленных на электровагонах и моторных вагонах, или расчётным путём — графо-аналитическим или аналитическим методами.

При графо-аналитическом методе определяют расход энергии, отнесённый к токоприёмнику, по выражению

$$A = U \int_0^t I_{\partial} dt \text{ вт-сек.}$$

Для этого необходимо иметь зависимости $I_{\partial} = f(S)$ и $t = f(S)$. Исключением S получают зависимость $I_{\partial} = f(t)$.

Исходными данными для построения кривых тока, $I_{\partial} = f(S)$, потребляемого тяговыми двигателями, являются зависимости $v = f(I_{\partial})$ и $v = f(S)$; исключением v из этих зависимостей получают кривую $I_{\partial} = f(S)$.

Предварительно для построения зависимости $v = f(I_{\partial})$ необходимо иметь электро-тяговые характеристики $v = f(I_{\partial})$, знать число параллельных групп двигателей в локомотиве и среднее значение пускового тока.

Порядок построения кривой $v = f(I_{\partial})$ следующий:

1) подсчитывают пусковой ток, который для грузовых электровазозов определяется условиями сцепления:

$$F_k (сц) = P_{(сц)} \psi_k \cdot 1000 \text{ кг,}$$

а для моторных вагонов — условиями коммутации:

$$I_n (макс) = 1,6 \div 1,8 I \text{ час.}$$

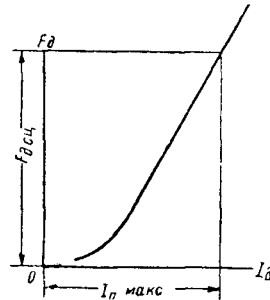
или максимально допустимым ускорением при пуске, равным $0,5 \text{ м/сек}^2$, на основании ко-

торого из уравнения движения находят пусковое усилие тяги;

2) определяют силу тяги одного двигателя:

$$F_{\partial} (сц) = \frac{F_k (сц)}{n};$$

3) по электро-тяговой характеристике $F_{\partial} (сц) = f(I_{\partial})$ определяют максимальное значение пускового тока $I_n (макс)$ (фиг. 20);



Фиг. 20. Определение пускового тока по условиям сцепления

4) среднее значение пускового тока определяют по формуле, зная коэффициент неравномерности пуска K_H :

$$I_n (ср) = \frac{I_n (макс)}{1 + K_H}.$$

Коэффициент неравномерности пуска принимают:

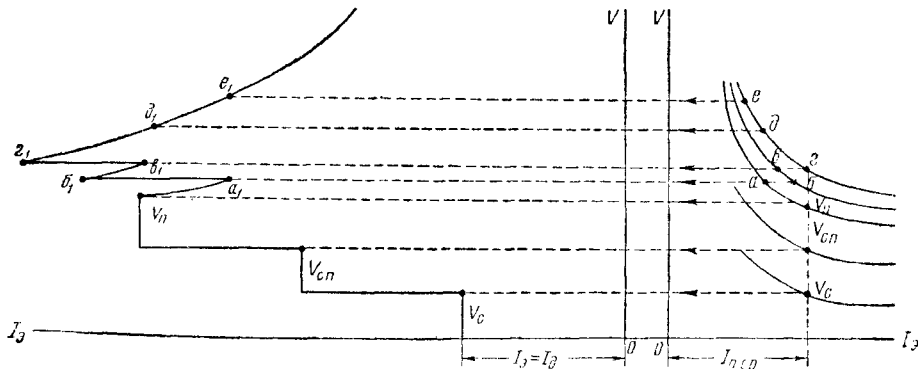
Для электровазозов. . . $K_H = 0,07 \div 0,10$
 • моторных вагонов. $K_H = 0,12 \div 0,20$

На фиг. 21 приведено построение кривой $v = f(I_{\partial})$. Построение кривой $I_{\partial} = f(S)$ дано на фиг. 22).

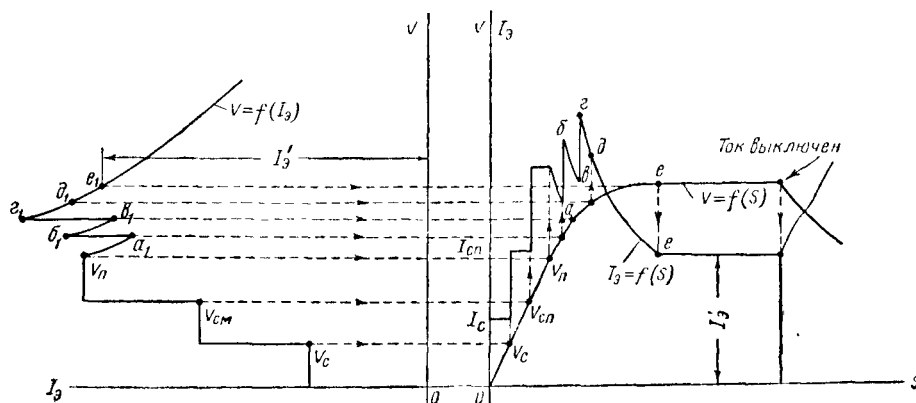
При построении зависимости $v = f(I_{\partial})$ при переходе с одного соединения двигателей на другое принимают значения скорости, соответствующие среднему пусковому току.

После выхода на характеристику второй ступени ослабления поля (ОП-2) характеристика $v = f(I_{\partial})$ строится по точкам ∂ и ∂_1 , e и e_1 и т. д. в зависимости от скорости движения и схемы соединения тяговых двигателей.

Характеристика $I_{\partial} = f(S)$, т. е. тока, потребляемого тяговыми двигателями электровазоза



Фиг. 21. Пример построения кривой тока, потребляемого тяговыми двигателями

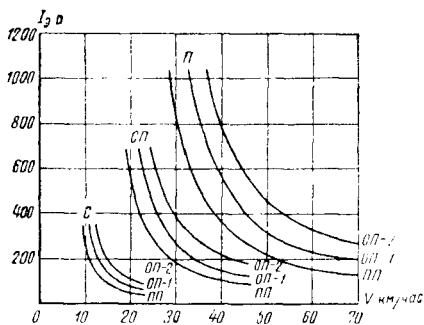


Фиг. 22. Пример построения кривой тока тяговых двигателей по участку пути

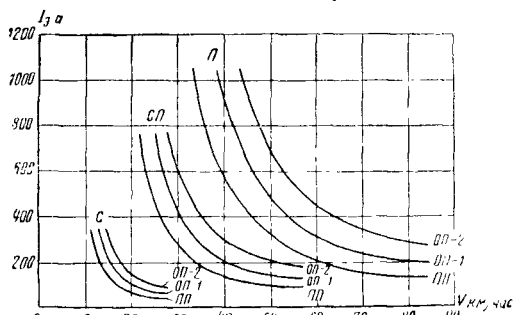
в функции пути, строится по исходным данным $v = f(I_3)$ и $v = f(S)$ путём исключения скорости v , как это показано на фиг. 22.

Кривую тока электроваза при рекуперативном торможении строят также по кривой скорости $v = f(S)$ и характеристикам рекуперативного торможения $v = f(I_{ap})$ для разных схем соединения двигателей и соответствующих позиций рукоятки контроллера.

Для построения кривых $I_{ap} = f(S)$ пользуются характеристиками тока рекуперации $I_{ap} = f(v)$ и кривыми $v = f(S)$. Путём исключения скорости v из этих зависимостей строят $I_{ap} = f(S)$. Максимально допустимые скорости движения поезда по спускам в этом случае принимают на основании данных раздела «Расчёт и построение кривых движения поезда».



Фиг. 23. Зависимость тока от скорости при тяговом режиме электроваза серии ВЛ19



Фиг. 24. Зависимость тока от скорости при тяговом режиме электровазов серий Сс11 и ВЛ22

Кривые зависимости тока от скорости $I_3 = f(v)$ для электровазов серий ВЛ19, Сс, ВЛ22, ВЛ22^М, а также для моторных вагонов СД, СМ и СР представлены на фиг. 23 — 28.

Полный расход энергии на движение поезда по участку в кВт-ч определяется по формуле

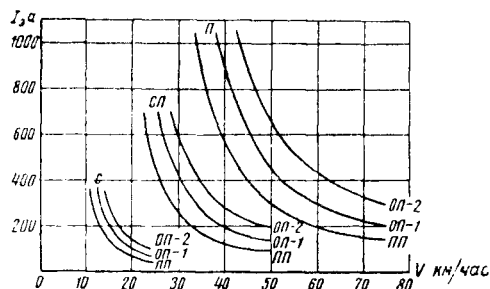
$$A = \frac{U_{\Sigma} \sum_0^t I_{\Sigma} (ср) \Delta t}{60 \cdot 1000} \quad (85)$$

и удельный расход в $\frac{\text{вт} \cdot \text{ч}}{\text{ткм}}$

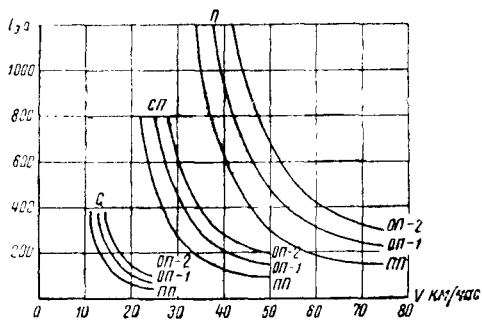
$$\Delta A = \frac{U_{\Sigma} \sum_0^t I_{\Sigma} (ср) \Delta t}{60 LG}, \quad (86)$$

где Δt — время в мин.;

U_{Σ} — напряжение на токоприёмнике в в.



Фиг. 25. Зависимость тока от скорости при тяговом режиме электровазов серии ВЛ22 при $\mu = 3,74$



Фиг. 26. Зависимость тока от скорости при тяговом режиме электровазов серии ВЛ22^М

и сравнить эту температуру с максимально допустимой. В соответствии с ГОСТ 2582-50 наибольшая допустимая температура обмоток тягового двигателя принимается равной $\theta_{доп} = 145^\circ\text{C}$ для изоляции класса В. В большинстве случаев наиболее опасной в тепловом отношении является обмотка якоря и, реже, обмотки полюсов.

При проверке на нагревание тяговых двигателей типа ДПЭ-400 необходимо определять температуру как обмотки якоря, так и обмотки главных полюсов, потому что при некоторых определенных режимах работы тяговых двигателей (длительная работа на полном поле) может оказаться, что обмотки главных полюсов этих двигателей будут перегреваться больше, чем обмотка якоря. В результате теплового расчёта устанавливается температура перегрева обмоток (а не абсолютная температура), т. е. разность температуры двигателя и окружающей среды.

Допустимый перегрев $\tau_{доп}$ определяется соотношением

$$\tau_{доп} = \theta_{доп} - \theta_{окр}, \quad (89)$$

где $\theta_{доп}$ — допустимая температура нагрева;
 $\theta_{окр}$ — температура окружающей среды в $^\circ\text{C}$.

Расчётную летнюю температуру наружного воздуха следует принимать по данным метеорологических станций как среднюю величину с мая до октября за предыдущие 5 лет.

Для зимнего периода с ноября до апреля расчётную температуру окружающей среды всех районов СССР следует принимать по данным метеорологических станций за последние три года как среднюю дневную температуру.

Расчёт нагревания тяговых двигателей ведётся на основе уравнения нагревания однородного твёрдого тела:

$$\Delta P dt = C d\tau + \tau B dt, \quad (90)$$

где ΔP — потери мощности в двигателе за бесконечно малое время в вт ;

τ — перегрев в $^\circ\text{C}$;

C — теплоёмкость в $\frac{\text{вт} \cdot \text{мин}}{^\circ\text{C}}$;

B — коэффициент теплоотдачи в $\frac{\text{вт}}{^\circ\text{C}}$.

Решение этого уравнения даёт расчётную формулу для определения температуры перегрева обмоток тяговых двигателей.

$$\tau = \tau_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}}, \quad (91)$$

где τ_{∞} — установившийся перегрев в $^\circ\text{C}$, равный $\frac{\Delta P}{B}$;

T — постоянная времени нагревания в мин., равная $\frac{C}{B}$;

τ_0 — начальный перегрев в $^\circ\text{C}$;

e — основание натуральных логарифмов.

Тепловые параметры τ_{∞} и T , входящие в это расчётное уравнение, устанавливаются обычно на основании испытаний двигателей на стенде.

Кривые зависимости тепловых параметров τ_{∞} и T от нагрузки при полном поле возбуждения для обмотки якоря тяговых двигателей ДПЭ-340, ДПЭ-400 и ДПИ-150, а также для обмотки главных полюсов тягового двигателя ДПЭ-400 А приведены в разделе «Тяговые двигатели».

При режимах ослабленного поля возбуждения тяговых двигателей можно пользоваться этими же кривыми тепловых параметров полного поля, так как изменение потерь в стали и дополнительных потерь при ослабленном поле практического влияния на нагревание обмоток не оказывает.

Определение температуры перегрева по формуле (91) усложняется необходимостью

вычисления показательной функции $e^{-\frac{t}{T}}$. Для ускорения расчёта нагревания можно применять приближённую формулу

$$\tau = \tau_{\infty} \cdot \frac{\Delta t}{T} + \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right), \quad (92)$$

при пользовании которой необходимо соблюдать следующее условие: $\frac{\Delta t}{T} \leq 0,1$, т. е. брать

небольшие интервалы времени Δt , в границах которых тепловые параметры двигателя можно считать неизменными.

В тех случаях, когда отношение $\frac{\Delta t}{T} > 0,1$,

следует разделить этот интервал времени Δt на несколько отрезков, для которых будет удовлетворяться указанное выше условие, а следовательно, и возможность пользования формулой (92).

Для решения уравнения (91) или (92) необходимо знать начальную температуру τ_0 .

При отправлении электропоездов со станций после стоянок свыше 2 час. начальную температуру перегрева следует принимать на 15° выше установленной расчётной температуры наружного воздуха в зависимости от данной местности и времени года. При стоянках электропоезда менее 2 час. температуру перегрева обмоток необходимо определять по предыдущему рейсу, как температуру в момент прибытия поезда, определяя её снижение за время стоянки по кривым охлаждения, представленным в виде сетки температурных кривых $\tau = f(I; t)$.

При расчёте нагревания тяговых двигателей моторного вагона температуру начального перегрева обмоток двигателя обычно принимают равной $+30^\circ\text{C}$.

Расчёт перегрева обмоток тяговых двигателей указанным аналитическим способом сводят в табл. 20.

Расчёт перегрева обмоток двигателя электропоезда, как правило, необходимо производить для всего тягового участка при работе с наиболее тяжёлым составом и в наиболее трудном направлении. При вариантах с разными весами состава, а также с разными режимами ведения электропоезда расчёт разре-

Таблица 20

Расчёт перегрева обмоток тягового двигателя

№ по пор.	$I_{ср.дв}$ в а	Δt в мин.	τ_{∞} в °C	T в мин.	$\frac{\Delta t}{T}$	$1 - \frac{\Delta t}{T}$	$\tau_{\infty} \frac{\Delta t}{T}$ в °C	$\tau_0 (1 - \frac{\Delta t}{T})$ в °C	τ в °C	Примечание

шается производить только для наиболее трудной части участка, и перегрев двигателя в начале этого участка можно определять, пользуясь приближённым способом по среднеквадратичному току (см. ниже). Расчёт нагревания обмоток тягового двигателя моторного вагона необходимо производить по наиболее трудному маршруту, с наименьшими стоянками на конечных пунктах и с постоянной максимально возможной нагрузкой пассажирами.

Расчёт температуры перегрева обмоток тягового двигателя можно производить и графическим способом по кривым нагревания и охлаждения, полученным опытным путём при испытании двигателя на стенде. Эти кривые нагревания и охлаждения $\tau = f(I; t)$, называемые иногда сеткой температурных кривых тяговых двигателей, для эксплуатируемого электроподвижного состава приведены в разделе «Тяговые двигатели».

Графический метод определения температуры перегрева обмоток двигателя наиболее простой. Сущность его заключается в использовании сетки температурных кривых.

По этой сетке, соответствующей кривой $\tau = f(I_{дв. ср})$ и времени Δt действия среднего значения тока, непосредственно определяется изменение температуры от первоначальной τ_0 до конечной температуры τ , соответствующей концу принятого интервала времени Δt .

При этом начальный перегрев для любого участка равен конечному перегреву на предыдущем участке. Если же начальный перегрев окажется выше установившегося при данном среднем значении тока двигателя, то двигатель будет охлаждаться. При этом температура обмотки будет уменьшаться по кривой охлаждения, соответствующей данному среднему значению тока двигателя. Если на сетке температурных кривых нет кривой, соответствующей данному значению тока двигателя, то перегрев при этом значении тока определяется интерполяцией при использовании ближайших кривых.

Для большей точности определения температуры обмоток двигателя по кривым нагревания и охлаждения последние рекомендуется строить в увеличенном масштабе. Графический расчёт иллюстрируется примером, представ-

ленным табл. 21 и фиг. 30. По кривым $I_{дв} = f(S)$ и $t = f(S)$ определены средние значения тока двигателя $I_{дв. ср}$ для каждого интервала времени Δt .

Процесс нагревания и охлаждения двигателей, а также перехода с одной температурной кривой на другую применительно к данным табл. 21 отмечен на фиг. 30 жирными линиями.

Как видно из графика, наибольший перегрев определился в конце шестого интервала и достиг $\tau = 86,5^\circ\text{C}$. Восьмой интервал соответствует движению без тока и стоянке электровагона, когда температура снижается (по кривой при $I_{дв} = 0$) до $\tau = 63^\circ\text{C}$.

Для приближённых расчётов, а также для тяговых двигателей, не имеющих тепловых характеристик, разрешается производить проверку пригодности двигателя по нагреванию методом среднеквадратичного тока.

Этот метод наиболее прост и удобен. Он заключается в том, что действительный меняющийся по величине ток двигателя заменяется среднеквадратичным. При этом профиль пути делят на несколько характерных участков в отношении нагревания двигателя и, пользуясь методом установившихся скоростей, определяют ток двигателя и время хода поезда по этим характерным элементам. Затем, определив среднеквадратичный ток для каждого участка и соответствующее время хода на общих основаниях, определяют температуру обмоток двигателя.

Для участков с затяжными руководящими подъёмами максимальная температура определяется условиями движения по руководящему подъёму, т. е. током двигателя и временем хода по этому участку.

Решая вопрос о нагревании двигателя на таком участке профиля пути, необходимо учитывать начальную температуру, которую двигатель будет иметь при подходе к руководящему подъёму.

Производя анализ профиля пути, лежащего до затяжного руководящего подъёма, можно приближённо установить начальную температуру обмоток двигателя.

Если после проверки нагревания тягового двигателя приближённым и одним из точных методов расчётный перегрев окажется выше

Таблица 21

Расчёт нагревания обмоток двигателя графическим методом

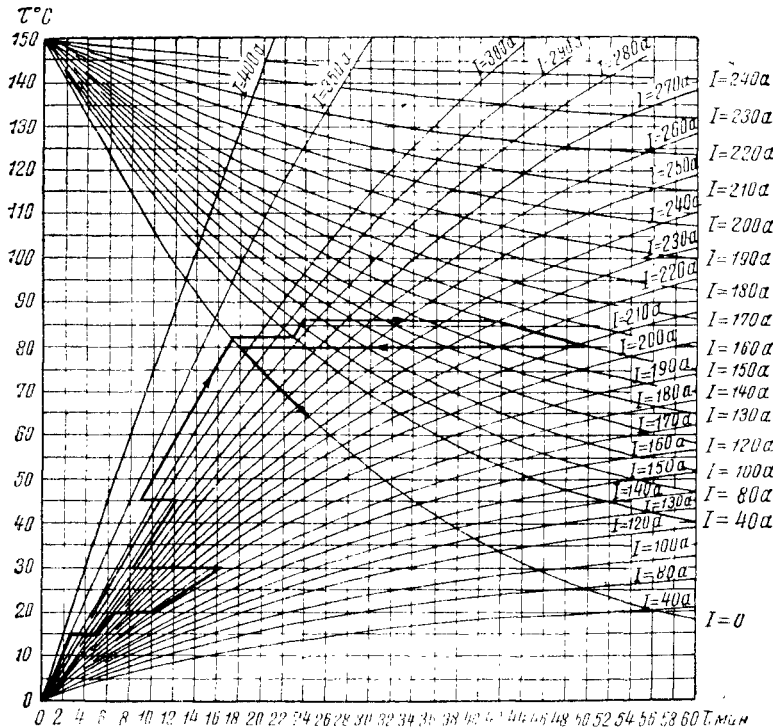
$I_{дв. ср}$ в а . . .	350	240	175	275	330	285	150	0
Δt в мин.	2,3	1,2	6,1	4,4	8,6	1,3	8,5	6,0
τ в °C	15	20	30	45	83	86,5	80	63

попускаемого по нормам, то необходимо произвести тяговые расчёты вновь в следующих вариантах:

- 1) применением другого электровоза с более мощными тяговыми двигателями или с другим передаточным числом;
- 2) с применением двойной тяги или подталкивания;

В зависимости от выполненного изменения схемы тяговые электродвигатели могут быть переведены или в режим реостатного торможения или в режим рекуперативного торможения.

Если в результате изменения схемы тяговые двигатели оказываются отключёнными от сети и замкнутыми на нагрузочное сопротивление,



Фиг. 30. Пример графического метода расчёта температуры обмотки тягового двигателя

3) в случае, когда это допустимо с точки зрения единой весовой нормы и провозной способности участка, — с уменьшенным весом состава или изменённым режимом ведения поезда.

ОСОБЕННОСТИ ТЯГОВЫХ РАСЧЁТОВ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТОРМОЖЕНИИ И КРАТНОЙ ТЯГЕ

Тормозная сила при электрическом торможении

Как известно, электрические машины могут работать или в двигательном режиме, вырабатывая механическую энергию, если к ним подводится электрическая энергия, или в генераторном режиме, вырабатывая электрическую энергию, если к ним подводится энергия механическая.

Тяговые электродвигатели также могут быть переведены из двигательного режима в генераторный. Однако, будучи машинами с последовательным возбуждением, они для перевода в другой режим требуют изменения схемы.

то получается схема реостатного торможения. При этом во избежание перемагничивания машины одновременно требуется переключение обмоток возбуждения.

Если тяговые двигатели от сети не отсоединяются, а переход на генераторный режим получается за счёт питания обмоток возбуждения током, независимым от тока якоря, то получается схема рекуперативного торможения.

Реостатное торможение

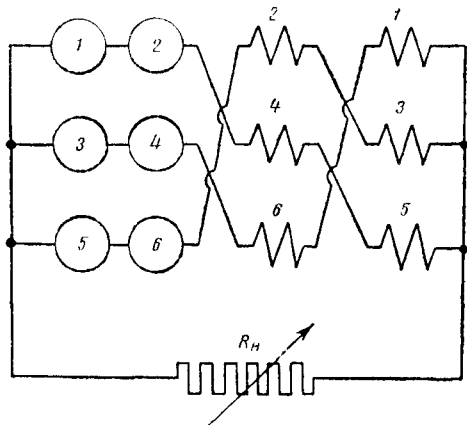
Реостатное торможение на электровозах осуществляется по двойной циклической схеме, а в качестве нагрузочного сопротивления используются пусковые резисторы (фиг. 31).

Достоинством реостатного торможения является возможность применения его до минимальных скоростей (практически до нуля) и независимость от напряжения контактной сети.

Недостатком реостатного торможения является ограниченная продолжительность его использования, определяемая теплоёмкостью реостатов, а также потеря электрической энергии на нагрев реостатов. Благодаря при-

менению циклического соединения двигателей схема реостатного торможения электрически устойчива.

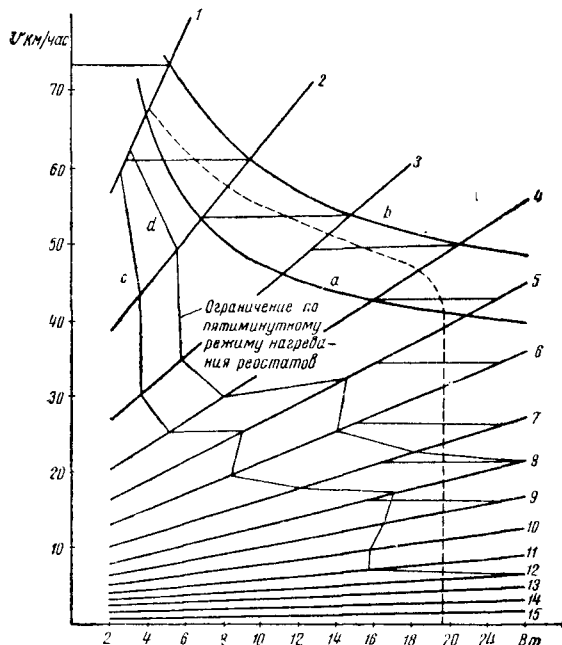
Рабочие характеристики электровоза $B = f(v)$ представляют собой почти прямые



Фиг. 31. Циклическая схема реостатного торможения

линии, расходящиеся примерно из начала координат.

Каждая характеристика соответствует определенной позиции контроллера, которая в свою очередь определяет величину нагрузоч-



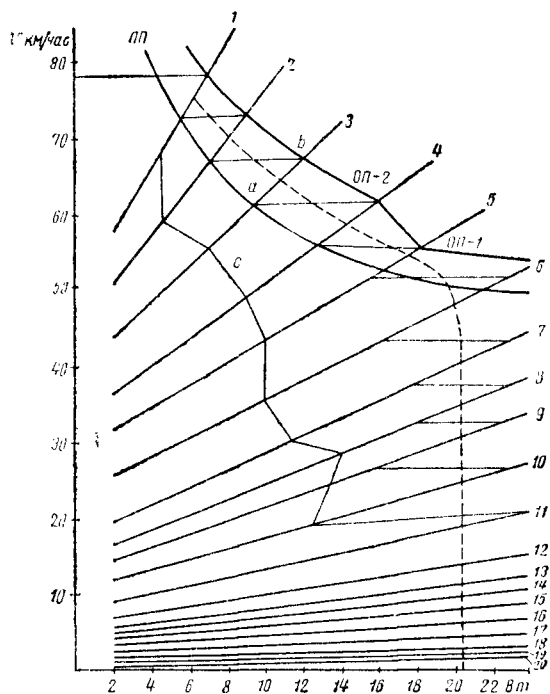
Фиг. 32. Характеристики реостатного торможения электровозов серии ВЛ19 (до № 123)

ного сопротивления тяговых двигателей, работающих генераторами.

Форма характеристик показывает также, что работа электровоза при реостатном торможении механически устойчива, так как каждому случайному повышению скорости поезда будет соответствовать увеличение тормозной

силы, благодаря чему повышение скорости поезда прекратится.

Характеристики, приведённые на фиг. 32, соответствуют первым выпускам электровозов ВЛ19 до № 123. На характеристиках нанесены соответствующие ограничения реостатного торможения: *a* — по напряжению на коллекторе 1500 в; *b* — по напряжению на коллекторе 1800 в. Кроме того, здесь же нанесены ограничения по нагреву реостатов: *c* — по 10-минутному режиму и *d* — по 5-минутному режиму.



Фиг. 33. Характеристики реостатного торможения электровозов серии ВЛ19 (с № 123)

Даже при 5-минутном режиме сцепной вес электровоза может быть полностью использован только с 8-й позиции при скорости примерно 22 км/час. При больших скоростях тормозное усилие оказывается настолько малым, что применение реостатного торможения при спуске состава под уклон ограничено как по величине тормозного усилия, так и по длительности торможения.

В последующих выпусках электровозов эффективность реостатного торможения была улучшена за счёт повышения рабочих скоростей (путем применения ослабления поля) и увеличения длительности использования его (путём соответствующего изменения реостатов).

Изменённые характеристики приведены на фиг. 33, обозначения на которой соответствуют обозначениям фиг. 32.

Построение характеристик реостатного торможения

Характеристики реостатного торможения подразделяются на токовые $I_A = f(v)$ и тормозные $B = f(v)$.

Т а б л и ц а 22

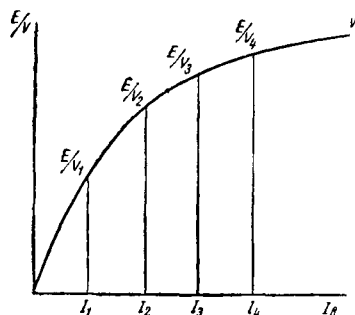
Для позиции $R = \dots$

I	E/v	R_{∂}	$R + R_{\partial}$	$E = I(R + R_{\partial})$	$v = \frac{E}{E/v}$

Исходными данными для первой характеристики являются нагрузочная характеристика тягового двигателя $\frac{E}{v} = f(I_a)$ при $I_a = I_a$ и величины сопротивления тормозных реостатов каждой тормозной позиции. Для второй характеристики, кроме того, необходимо иметь характеристику $\eta = f(I_a)$.

Порядок построения характеристик $v = f(I)$ следующий.

По нагрузочной характеристике (фиг. 34) для нескольких токов (I_1, I_2, I_3 и т. д.) определяют соответствующие значения $\frac{E}{v_1}, \frac{E}{v_2}, \frac{E}{v_3}$ и т. д. Для заданного сопротивления



Фиг. 34. Нагрузочная характеристика $\frac{E}{v}$ тягового двигателя.

реостатной позиции R и внутреннего сопротивления тягового двигателя R_{∂} подсчитывают необходимое падение напряжения $I_1(R + R_{\partial})$, которое должно быть равно электродвижущей силе, развиваемой тяговым двигателем (генератором).

Отношение каждого из найденных падений напряжения к соответствующему значению $\frac{E}{v}$ даст скорость движения электроваза

$$v_1 = \frac{I_1(R + R_{\partial})}{\frac{E}{v_1}}; \quad v_2 = \frac{I_2(R + R_{\partial})}{\frac{E}{v_2}}$$

и т. д.

Для каждой позиции контроллера расчёт сводится к табл. 22.

Если при реостатном торможении применяется ослабленное поле, то величину R_{∂}

берут с учётом сопротивления, шунтирующего обмотку возбуждения. Нагрузочные характеристики, если они отсутствуют для данного двигателя, могут быть найдены из скоростной характеристики соответствующей ступени поля по формуле

$$\frac{E}{v} = \frac{U_{\partial} + I_a R_{\partial}}{c},$$

где R_{∂} — сопротивление всех обмоток двигателя с учётом ослабления поля.

Переход к тормозным характеристикам производится по обычной формуле

$$B = 0,367 \frac{I^2 R}{v \eta} \text{ кг},$$

где η — к. п. д. тягового двигателя, который с достаточной для расчётов точностью может быть взят из электротяговых характеристик двигателя.

Ограничение по самовозбуждению

Для каждой тормозной позиции существует критическая скорость начала самовозбуждения, ниже которой двигатели не возбуждаются и торможение не осуществляется.

Зависимость скорости начала самовозбуждения от позиции рукоятки контроллера для электроваза серии ВЛ19 для нескольких первых позиций приведена в табл. 23.

Скорость начала самовозбуждения на каждой данной позиции может быть легко определена расчётным путём, если известна величина сопротивления реостатов, включённых на данной позиции, и нагрузочная (внешняя) характеристика тягового электродвигателя.

Действительно, допустим, что нам известна внешняя характеристика I генератора с последовательным возбуждением (фиг. 35), построенная для определённой скорости v .

На этом же чертеже наносим прямые 2, 3, 4 падения напряжения в нагрузочном реостате при данном значении тока

$$U = I_a R_n$$

для разных значений сопротивления реостата. В пределах угла α эти прямые пройдут, не задевая внешнюю характеристику, т. е. система может устойчиво работать при данной скорости только при токе, близком к нулю.

Т а б л и ц а 23

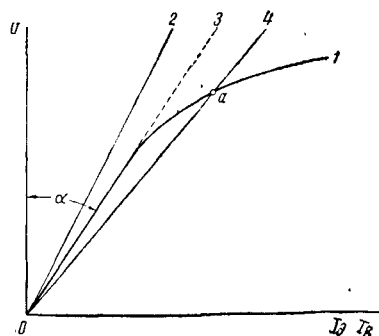
Позиция тормозной рукоятки	1	2	3	4	5
Скорость начала самовозбуждения	55	40	30	25	20

При сопротивлениях реостатов меньших, чем то, для которого построена прямая 3 (например прямая 4), внешняя характеристика и прямая падения напряжения в нагрузочном сопротивлении будут иметь общую точку a , определяющую режим устойчивой работы.

Сопротивление, соответствующее прямой 3, является тем наибольшим сопротивлением, при котором возможно самовозбуждение при данной скорости.

Построив сетку кривых 1 для разных скоростей и сетку прямых 2, 3, 4 для расчётных сопротивлений реостатов на всех позициях, определяем данные для составления таблицы, аналогичной табл. 23.

Допустимая продолжительность работы реостатного торможения по позициям рассчитана исходя из предположения, что реостаты на каждой позиции начинают работать совершенно холодными. В действительности же при



Фиг. 35. Графический метод определения ограничения скорости самовозбуждения

переходе на каждую последующую позицию они уже нагреты током предыдущей позиции. Кроме того, реостаты могли быть нагреты предшествовавшим пуском или торможением и не успели остыть. Условия охлаждения реостатов в разное время года и суток различны. Различны они и на разных электровазах. Поэтому следует учитывать опасность перегрева реостатов при более или менее длительном пользовании реостатным торможением.

Тяговые расчеты при реостатном торможении

Недостатки реостатного торможения значительно ограничивают его использование в эксплуатационных условиях, сводя его роль к обычному вспомогательному тормозу.

Поэтому при проведении тяговых расчетов реостатное торможение, если даже оно имеется на принятой для данного участка серии электровазов, не принимают во внимание и оставляют в качестве резервного. В специальных случаях, когда такие расчеты произвести необходимо, поступают следующим образом.

При торможении до остановки строят среднюю тормозную характеристику (пунктирная кривая на фиг. 32 и 33) по точкам, лежащим на середине участков тормозных позиций между отрезками горизонтальных прямых, проведенных в точки пересечения характеристик тормозных позиций с ограничительными линиями.

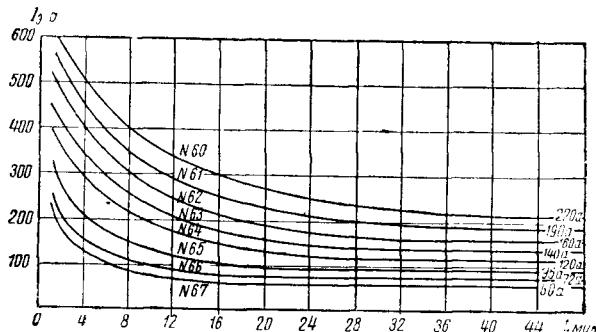
По полученной тормозной характеристике рассчитывают удельные тормозные усилия поезда и далее поступают, как при обычных тормозных расчетах.

При торможении с постоянной скоростью (на уклоне) определяют прежде всего общую ускоряющую силу поезда F_y . Скорость движения поезда при этом берут в соответствии с ПТЭ и приказами МПС для следования на автоматических тормозах.

Для получения равновесной скорости движения на уклоне при выбранной скорости необходимо, чтобы соблюдалось равенство

$$F_y = B_{т.р.},$$

где $B_{т.р.}$ — тормозная сила, развиваемая электровозом во время реостатного торможения при максимальной допустимой скорости движения.



Фиг. 36. Допустимая длительность прохождения тока (среднеквадратичного) по данной секции сопротивления

По фиг. 32 или 33 в пределах ограничивающих кривых находим величину $B_{т.р.}$.

Если необходимая величина $B_{т.р.}$ находится в пределах ограничивающих кривых, но не совпадает ни с одной из тормозных позиций при указанной скорости, расчётную скорость следует снизить до тех пор, пока искомая величина $B_{т.р.}$ не совпадёт с одной из тормозных позиций.

Если величина $B_{т.р.}$ выходит за пределы ограничивающих кривых, необходимо, наряду с реостатным торможением, применять автоматические тормоза состава.

Допустимая длительность езды при реостатном торможении определяется ориентировочно на основании фиг. 32 и 33.

Более точное определение допустимой длительности работы при реостатном торможении производится на основании подсчёта среднеквадратичного тока, проходящего через данную секцию реостатов за всё время торможения, по формуле

$$I_{ср. кв} = \sqrt{\frac{\sum I^2 T}{\sum T}},$$

где I — ток, протекающий через данную секцию в течение времени T , в а.

Какие именно секции обтекаются током на данной позиции реостатного торможения, величина сопротивлений этих секций, и номера

элементов, из которых эти секции изготовлены, определяются на основании схем электровоза.

Допустимая длительность прохождения полученного среднеквадратичного тока через данную секцию определяется на основании кривых фиг. 36 в зависимости от номера элемента данной секции.

Пересчёт характеристик реостатного торможения

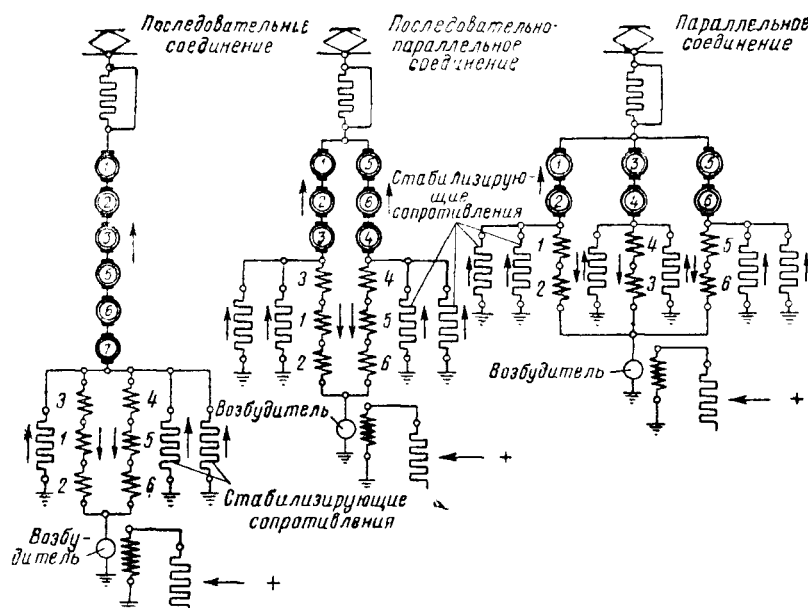
Поскольку реостатное торможение происходит независимо от напряжения контактной сети, нет необходимости пересчёта характеристик по напряжению.

Возможен пересчёт характеристик при изменении диаметра бандажа D , передаточного числа μ и отклонения характеристик $\pm \beta$.

отключённых от сети, станет выше напряжения в контактном проводе U_c , т. е. $E > U_c$. Тогда направление тока двигателей изменится, вследствие чего электрическая энергия будет возвращаться в сеть.

На электровозах переход на рекуперативное торможение осуществляется обычно переводом двигателей на независимое возбуждение от специального возбuditеля, позволяющее получить необходимое превышение их электродвижущей силы над напряжением в контактной сети (фиг. 37).

Для увеличения электрической устойчивости и уменьшения толчков тока при изменении U_c и скорости движения, а также для выравнивания нагрузок параллельных цепей в схему вводятся стабилизирующие сопротивления r_c .



Фиг. 37. Принципиальные схемы рекуперативных режимов электровоза серии ВЛ122М

При пересчёте характеристик $v = f(I_a)$ пересчитываются только значения скорости при неизменных значениях тока.

Для пересчёта характеристик на новые параметры значения скорости для каждой точки тормозных характеристик должны умножаться на выражение

$$\frac{v_1 D_2}{v_2 D_1} (1 \pm \beta).$$

При пересчёте характеристик $v = f(B)$ наряду с пересчётом величин скорости, значения силы тяги для той же точки должны быть разделены на это же выражение, вследствие чего мощность в каждой точке останется неизменной.

Рекуперативное торможение

Осуществляется на электровозах со специальной схемой в том случае, если противоэлектродвижущая сила E_1 тяговых двигателей, не

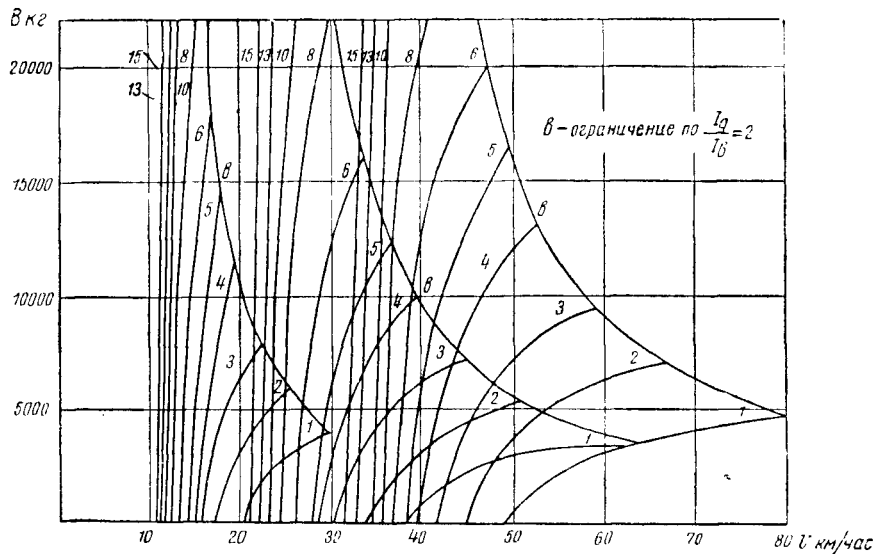
При существующих параметрах электровозов характеристики рекуперативного торможения имеют вид, изображённый на фиг. 38—40.

Эти характеристики, так же как характеристики реостатного торможения, показывают, что рекуперативное торможение обладает механической устойчивостью. При этом характеристики больших номеров позиций обладают большей механической устойчивостью, так как одно и то же изменение скорости даёт большее изменение тормозного усилия.

Ограничения тормозных характеристик

Ограничение по сцеплению определяется из тех же соображений, что и при тяговом режиме; однако, учитывая возможность большого расхождения характеристик при рекуперативном режиме, чем при тяговом, расчётный коэффициент сцепления принимают здесь ниже, а именно:

$$\phi_{\kappa\pi} = 0,8\phi_{\kappa}.$$



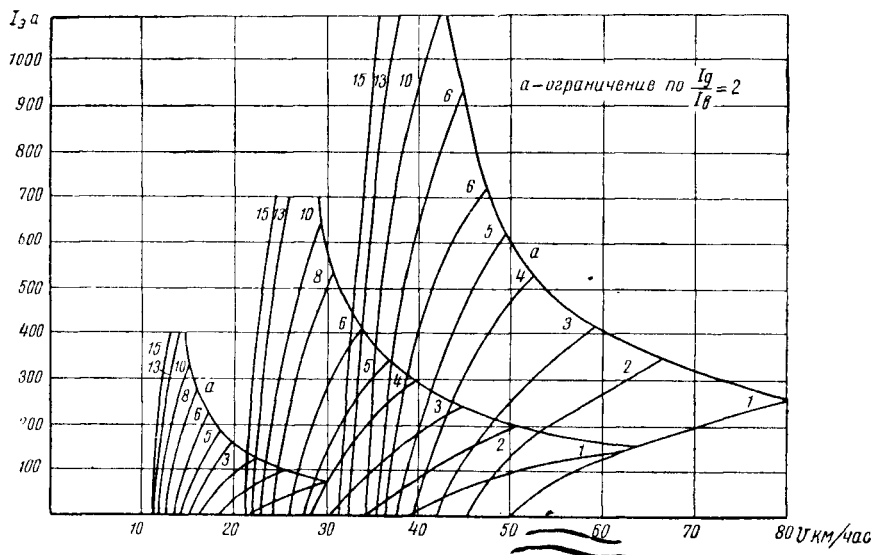
Фиг. 38. Тормозная характеристика электровоза серии ВЛ22М в режиме рекуперации при $\mu = 4,45$ и $U_c = 3300$ в

Кроме того, существует ограничение по отношению тока якоря к току возбуждения ($\frac{I_a}{I_b} = 2$). Иначе это ограничение называется ограничением по коммутации и соответствует принятому при тяговом режиме ослаблению поля 50%.

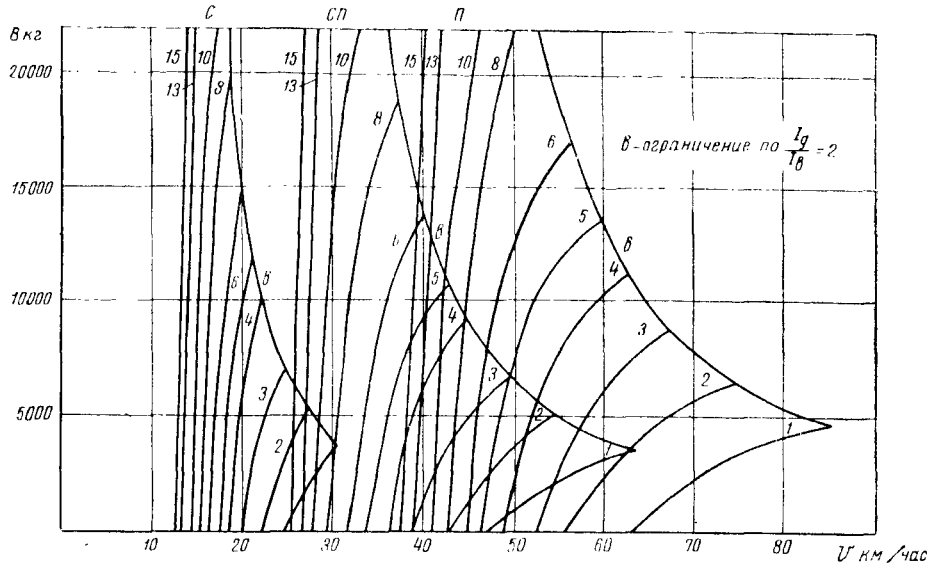
Однако практика показала, что наши тяговые двигатели могут работать в тяговом режиме с большими ослаблениями поля, сохраняя удовлетворительную коммутацию. При генераторном же режиме отноше-

ние $\frac{I_a}{I_b}$ может быть значительно повышено без заметного ухудшения коммутации.

Можно считать, что для тормозного режима отношение $\frac{I_a}{I_b}$ может быть поднято до значений 3—4. В частности, при испытаниях рекуперации, проводившихся ЦНИИ в 1948 г., были получены отношения $\frac{I_a}{I_b}$ примерно 3,0—3,8 без заметного ухудшения коммутации.



Фиг. 39. Токовая характеристика электровоза серии ВЛ22М в режиме рекуперации при $\mu = 4,45$ и $U_c = 3300$ в



Фиг. 40. Тормозная характеристика электровоза серии ВЛ22^М в режиме рекуперации при $\mu = 4,45$ и $U_c = 3\,300$ в

При рекуперации на последовательном соединении якорей это отношение может быть допущено ещё выше, примерно 4—4,5.

Расчёт рекуперативных характеристик

Различают два вида рекуперативных характеристик: $B_a = f(v)$ и $I_a = f(v)$. Первые из них (см. фиг. 38—40) необходимы при тяговых расчётах для определения тормозной силы электровоза. Вторые (фиг. 41—43) дают возможность определить при производстве тяговых расчётов количество возвращаемой в сеть энергии.

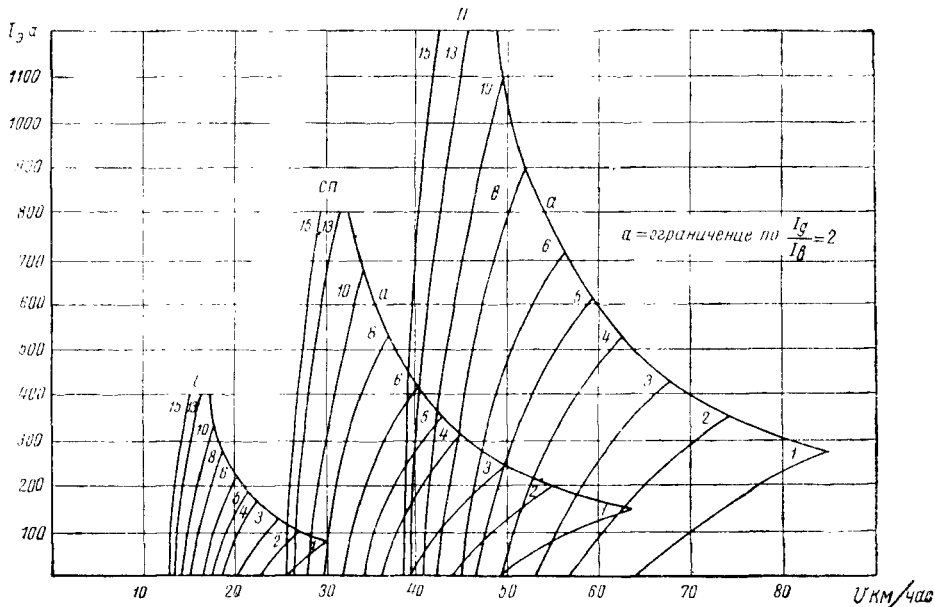
Оба вида характеристик могут быть построены или для постоянных токов возбуждения ($I_e = \text{const}$) или для неизменных позиций контроллера машиниста. Наибольшее распространение получили именно эти последние.

Наиболее просты в построении характеристики $I_a = f(v)$ при $I_e = \text{const}$.

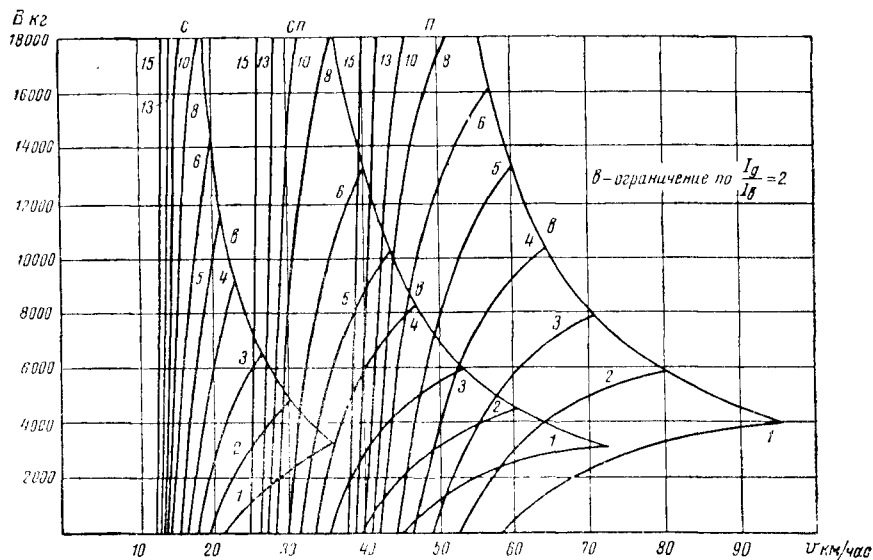
Электрическое равновесие между контактной сетью и электровозом выражается следующим уравнением:

$$\Sigma E = U_c + I_a \Sigma r_{я} + (I_a + \Sigma I_e) r_c, \quad (93)$$

где r_c — стабилизирующее сопротивление, подключённое к одной цепи якорей.



Фиг. 41. Токовая характеристика электровоза серии ВЛ22^М в режиме рекуперации при $\mu = 4,45$ и $U_c = 3\,300$ в



Фиг. 42. Тормозная характеристика электровоза серии ВЛ22^М в режиме рекуперации при $\mu = 3,71$ и $U_c = 3300$ в

Задаваясь схемой соединения двигателей, напряжением сети и величиной тока возбуждения, можно для любого тока якоря найти необходимую величину э. д. с. каждого двигателя.

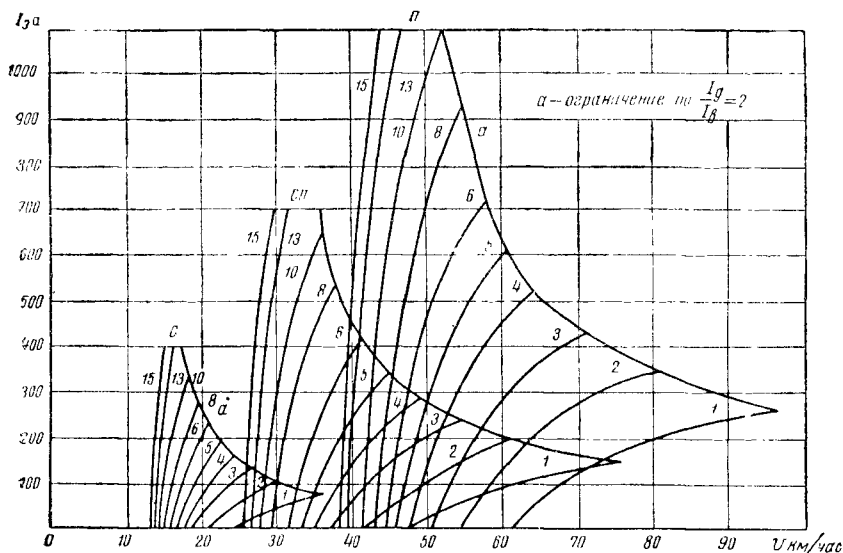
По нагрузочным характеристикам $\frac{E}{v} = f(I_a)$ при $I_a = \text{const}$ найдём необходимую скорость движения электровоза v .

Для построения характеристик $B_a = f(v)$ при $I_a = \text{const}$ используем условие сохранения

мощности при преобразовании её от колёс электровоза до контактной сети:

$$\frac{B_a v}{0,367} = I_a \Sigma E + 6(P_0 + P_{\text{дон}} + P_3) = I_a \Sigma E + 6 \Sigma P'_0, \quad (94)$$

где $\Sigma P'_0$ — мощность суммарных потерь холостого хода (железных и механических) и дополнительных в двигателе и в зубчатой передаче в квт.



Фиг. 43. Токовая характеристика электровоза серии ВЛ22^М в режиме рекуперации при $\mu = 3,74$ и $U_c = 3300$ в

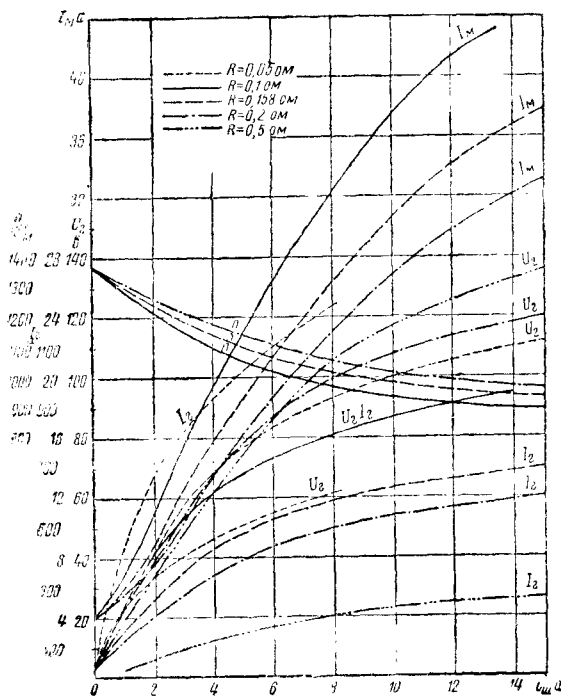
Величина потерь обычно определяется опытным путём. Искомое значение тормозного усилия находят из формулы

$$B_g = 0,367 \frac{I_g \Sigma E + 6 \Sigma P'_g}{v} \text{ кг.} \quad (95)$$

Труднее построить рекуперативные характеристики при неизменной позиции рукоятки контроллера.

Трудность заключается в том, что ток возбуждения тяговых двигателей I_g при неизменном положении рукоятки контроллера не постоянен, а находится в обратной зависимости от тока якорей I_a . Изменение тока возбуждения I_g приводит к изменению напряжения возбудителя, имеющего смешанное возбуждение, что в свою очередь влияет на ток I_g .

Поэтому, чтобы построить интересующие нас характеристики, необходимо знать нагрузочные характеристики возбудителя.



Фиг. 44. Нагрузочные характеристики возбудителя ДК-401В

Такие характеристики для возбудителя ДК-401В, установленного на электровозах ВЛ22 и ВЛ22^М, представлены на фиг. 44 в виде зависимости $U_g = f(I_{ш})$ при $R_n = \text{const}$, т. е. при постоянном нагрузочном сопротивлении.

Цепь тока возбуждения, например при параллельном соединении двигателей, связана с напряжением возбудителя следующим равенством

$$U_g = 3I_g R_n = 2r_g + I_g(I_a + I_g)r_c,$$

откуда

$$R_n = \frac{2}{3} r_g + \frac{1}{3} r_c \left(1 + \frac{I_g}{I_a} \right).$$

Аналогично для других соединений по лучим:

для последовательно-параллельного соединения

$$R_n = \frac{3}{2} r_g + \frac{1}{2} r_c \left(1 + \frac{I_g}{I_a} \right);$$

для последовательного соединения

$$R_n = \frac{3}{2} r_g + r_c \left(1 + \frac{I_g}{2I_a} \right).$$

Для обычных условий можно принимать:

$$r_g = 0,086 \text{ ом; } r_c = 0,092 \text{ ом для СП и П; } r_c = 0,061 \text{ ом для С.}$$

Для обычных характеристик отношение $\frac{I_g}{I_a}$ изменяется в пределах от нуля до 2.

Придавая ему последовательно значения 0; 0,5; 1; 1,5; 2, получим на каждом соединении двигателей пять нагрузочных сопротивлений для возбудителя. Найдя по нагрузочным характеристикам напряжение возбудителя при данном сопротивлении R_n и токе возбуждения $I_{ш}$, соответствующем заданной позиции, легко рассчитаем величины I_g и I_a , которые подставим в формулу (93). Дальше поступаем, как указано выше.

Если в имеющихся характеристиках $U_g = f(I_{ш})$ при $R_n = \text{const}$ нет кривых, соответствующих найденным нагрузочным сопротивлениям R_n , необходимые кривые надо построить методом интерполяции.

Пересчёт рекуперативных характеристик одного напряжения в контактной сети на другое может быть проведён двумя способами.

Характеристики, полученные при $I_g = \text{const}$, легко пересчитываются на другое напряжение путём одновременного изменения скорости v и тока якоря I_a для каждой точки пропорционально заданному изменению напряжения.

Возможность этого видна из формулы (93) если её представить в несколько изменённом виде:

$$v \left(\frac{E}{v} \right) = U_c + I_a \Sigma r_{г1} + I_a r_c + \Sigma I_g r_c. \quad (96)$$

Если U_c изменится в m раз, то, чтобы равенство не нарушилось, необходимо и остальные его члены изменить во столько же раз. Это достигается пропорциональным изменением скорости v и тока I_a . Некоторая неточность пересчёта заключается в том, что последний член правой части формулы (96) постоянен. Однако ошибка здесь не превышает десятых долей процента.

Если рекуперативные характеристики получены при неизменной позиции рукоятки контроллера, т. е. при $I_{ш} = \text{const}$, то ток возбуждения I_g при изменении напряжения в контактной сети не остаётся неизменным. Это происходит потому, что двигатель возбудителя питается от контактной сети, благодаря чему с изменением её напряжения изменится и скорость вращения возбудителя, а отсюда и его характеристики.

Анализ расчётов и характеристик, полученных при испытаниях, показывает, что отно-

сительное изменение напряжения возбудителя, а следовательно, и ток возбуждения, составляет примерно 70% от относительного изменения напряжения сети, т. е.

$$\frac{U_{a_1} - U_{a_0}}{U_{a_0}} = \frac{I_{a_1} - I_{a_0}}{I_{a_0}} = 0,7 \frac{U_{c_1} - U_{c_0}}{U_{c_0}}.$$

Чтобы сохранить $R_H = \text{const}$, необходимо оставлять неизменным отношение $\frac{I_a}{I_s}$, т. е. ток якоря должен также изменяться на 70% от изменения напряжения сети.

Одновременно в таком же соотношении должна быть изменена и скорость пересчитываемой точки характеристики.

Таким образом, чтобы перенести какую-либо точку рекуперативной характеристики $I_a = f(v)$, снятой при определённом напряжении U_{c_0} для какой-либо позиции рукоятки контроллера, на характеристику той же позиции, но при другом напряжении сети U_{c_1} , надо обе координаты точки I_a и v умножить на один и тот же коэффициент K , который находится по формуле

$$K = 1 + 0,7 \left(\frac{U_{c_1}}{U_{c_0}} - 1 \right).$$

Для пересчёта характеристик $B_s = f(v)$ при $i_{sc} = \text{const}$ используем формулу (94). Обе части равенства при изменении напряжения сети должны меняться одинаково. При изменении напряжения в m раз правая часть равенства изменится в km раз. В левой части скорость v также изменится в K раз. Чтобы равенство не нарушилось, надо, чтобы B_s изменилось в m раз, т. е. пропорционально изменению напряжения сети.

Поэтому, чтобы перенести какую-либо точку рекуперативной характеристики $B_s = f(v)$, снятой при определённом напряжении сети U_c для какой-либо позиции рукоятки контроллера, на характеристику той же позиции, но при другом напряжении сети, надо координату точки по скорости изменить в K раз, а координату по тормозному усилию изменить пропорционально изменению напряжения сети.

При изменении диаметра бандажа, передаточного числа или при отклонении характеристики двигателя на $\pm \beta\%$ пересчёт значений скорости производится, как и при реостатном торможении, путём умножения на коэффициент

$$\frac{\mu_1 D_2}{\mu_2 D_1} (1 \pm \beta).$$

Пересчёт значений силы торможения производится делением на этот коэффициент. Значения силы тока как якоря, так и возбуждения не пересчитываются.

Учёт расхождения характеристик

При обычных тяговых расчётах характеристики электровозов приняты по номинальным данным, без учёта износа бандажей и расхождения характеристик тяговых двигателей.

При специальных тяговых расчётах бывает необходимо учесть износ бандажей и расхождение характеристик. Для этой цели могут быть построены специальные характеристики, как указывалось выше, и по ним определено использование электровозов, идущих с одним поездом. Ориентировочно для определения примерной разницы в нагрузках параллельных цепей тяговых двигателей можно пользоваться следующими данными, представленными в табл. 24 для тягового режима электровоза ВЛ22м при нагрузках, близких к часовому току, и полном поле:

Таблица 24

Примерные расхождения нагрузок параллельных цепей двигателей в тяговом режиме

$\beta_1 - \beta_2$, %	1	2	3	4	5	6	7	8
ΔI_a	10	20	30	42	55	70	85	100
Здесь $\beta_1 - \beta_2$ — расхождение между характеристиками параллельных цепей электровоза (или между электровозами).								

При рекуперативном режиме благодаря большей жёсткости характеристик разница в нагрузках параллельных цепей (электровозов), вызванная расхождением характеристик двигателей, больше, чем при тяговом режиме, что видно из табл. 25.

Таблица 25

Примерные расхождения нагрузок параллельных цепей рекуперирующих двигателей

$\beta_1 - \beta_2$, %	1	2	3	4	5	6	7	8
6-я позиция . . .	5	10	15	20	25	30	35	40
10-я »	12	22	33	42	50	60	68	76
15-я »	22	44	63	82	100	120	138	155

Табл. 25 составлена для электровоза ВЛ22м при нагрузках, близких к 200—250 а.

При рекуперативном режиме, кроме того, оказывает влияние на разницу в нагрузках параллельных цепей расхождение в величинах стабилизирующих сопротивлений.

Влияние разницы в величине стабилизирующих сопротивлений в тысячных долях ома на нагрузки в амперах параллельных цепей (для тех же условий) видно из табл. 26.

Таблица 26

Примерное расхождение нагрузок параллельных цепей рекуперирующих двигателей в зависимости от расхождения величины стабилизирующих сопротивлений

Тысячные доли ома	2	4	6	8	10	12	14	16	18
6-я позиция	6	12	16	19	20	21	22	23	24
10-я » . .	9	16	22	27	32	35	38	40	42
15-я » . .	10	18	25	30	35	39	42	45	47

ЕЗДА ДВОЙНОЙ ТЯГОЙ

При обычных тяговых расчётах сила тяги двух электровозов одной серии, ведущих один поезд, принимается в расчёт полностью.

При выполнении специальных тяговых расчётов для кратной тяги электровозами разных серий лучше всего построить тяговые характеристики для каждого электровоза самостоятельно и пользоваться ими одновременно.

Езда двойной тягой возможна при самостоятельном управлении каждым электровозом и при управлении по системе многих единиц.

Самостоятельное управление электровозами при кратной тяге требует наличия бригады на каждом локомотиве. Для согласования действий машинистов применяются обычно звуковые сигналы.

Управление по системе многих единиц возможно только при электровозах одной серии или при электровозах хотя и разных серий, но приспособленных специально для совместной работы по системе многих единиц.

Система многих единиц требует только одной бригады. Бригада на втором электровозе может отсутствовать.

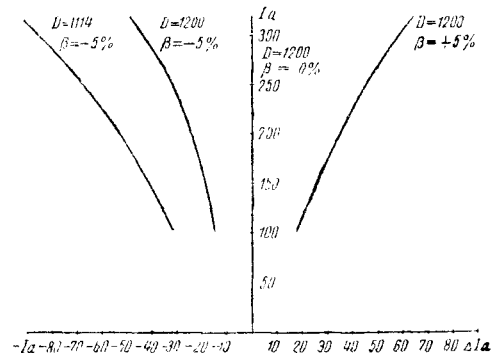
Вторым достоинством такой системы является полная согласованность переключений на обоих электровозах.

Если оба электровоза будут иметь разные диаметры бандажей и расхождение характеристик двигателей, то токи в параллельных цепях двигателей будут различны.

Величина возможной разницы в токах цепей электровозов в зависимости от тока двигателя ведущего электровоза, расхождения характеристик двигателей и разницы в диаметрах бандажей показана на фиг. 45. Кривые рассчитаны для езды на полном поле. При езде на ослабленном поле разница в нагрузках цепей электровозов может быть ещё значительнее вследствие отклонений сопротивлений ослабления поля от расчётных значений. При различных диаметрах бандажей разница токов между параллельными цепями увеличивается, а использование электровозов уменьшается.

Поэтому во избежание снижения использования электровозов необходимо, чтобы электровозы имели возможно более близкие характеристики.

Получить такие близкие характеристики можно подбирая двигатели с соответствующими характеристиками, подгоняя характеристики тяговых двигателей одна к другой, подбирая диаметры бандажей или, наконец, комбинацией всех способов.



Фиг. 45. Примерная зависимость расхождения нагрузок параллельных цепей рекуперирующих двигателей электровоза ВЛ22М

При рекуперативном режиме то же расхождение характеристик даёт большую разницу в токах, чем при тяговом режиме.

Помимо расхождения характеристик двигателей и диаметров колёс, разницу в токах рекуперации электровозов могут вызвать расхождение характеристик мотор-генераторов, разница в сопротивлениях в цепи обмотки возбуждения возбуждителей, разные напряжения цепи управления на электровозах одного сцепа и ещё некоторые более мелкие причины (разница в демпферных сопротивлениях, во внутренних сопротивлениях машин и т. д.).

Поэтому необходимость в мерах по повышению использования электровозов в этом случае ещё больше, чем при тяговом режиме.

РАСЧЁТЫ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Расчёт удельного расхода электроэнергии на тягу поездов без учёта эксплуатационных и метеорологических факторов

Общее выражение удельного расхода электрической энергии на тягу поездов может быть представлено в следующем виде:

$$a = a_w + a_i + a_m + a_n + a_{сб} \text{ вт-ч/ткм.} \quad (1)$$

где a_w — удельный расход энергии на преодоление основного сопротивления движению;

a_i — то же, зависящий от профиля и плана участка;

a_m — то же на покрытие тормозных потерь при остановках;

a_n — то же на покрытие пусковых потерь;

$a_{сб}$ — то же на собственные нужды электрического локомотива.

Удельный расход электрической энергии на преодоление основного сопротивления движению определяется выражением

$$a_w = \frac{2,725}{\gamma_1} \omega_{оср} \text{ вт-ч/ткм.} \quad (2)$$

где γ_1 — к. п. д. двигателей электрического локомотива «на ободу колёс»;

$\omega_{оср}$ — среднее значение удельного основного сопротивления движению поезда в кг/т.

Независимо от действительных режимов движения поезда на участке величину $\omega_{оср}$ можно определять только для режима тяги

при условии использования в расчёте среднего значения к. п. д. двигателей η_i .

Для электровозной тяги величина $\omega_{оср}$ может определяться по среднетехнической скорости поезда.

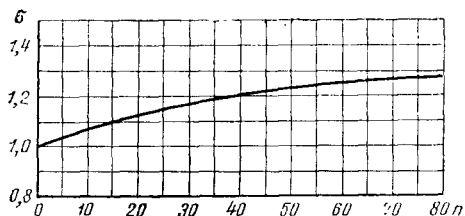
Для электросекций величина $\omega_{оср}$ должна определяться по расчётной скорости, несколько большей среднетехнической

$$V_{расч} = \sigma V_{тех}, \quad (3)$$

где $V_{тех}$ — среднетехническая скорость поезда на расчётном участке в км/час;

σ — коэффициент (> 1) для определения расчётной скорости.

Величина коэффициента σ определяется кривой фиг. 1 в зависимости от числа остановок n на 100 км пути.



Фиг. 1. Зависимость коэффициента σ от числа остановок на 100 км пути

Удельный расход электрической энергии на преодоление сопротивления от подъёмов, кривых и на подтормаживание на «вредных» уклонах определяется величиной эквивалентного подъёма

$$a_i = \frac{2,725}{\eta_i} i_3 \text{ вт-ч/ткм.} \quad (4)$$

В последнем выражении i_3 — величина эквивалентного подъёма в ‰.

Для определения этой величины рекомендуются следующие расчётные формулы:

а) при отсутствии рекуперации

$$i_3 = \frac{12 \sum \alpha^\circ + 10^3 H + \sum (i_{вр} - \omega_{оср}) l_{вр} 0/_{\text{‰}}}{L} \quad (5)$$

б) при рекуперативном подтормаживании

$$i_3 = \frac{12 \sum \alpha^\circ + 10^3 H + \kappa_p \sum (i_{вр} - \omega_{оср}) l_{вр} 0/_{\text{‰}}}{L} \quad (6)$$

в) при смешанном подтормаживании

$$i_3 = \frac{12 \sum \alpha^\circ + 10^3 H + \kappa_p \sum (i_{вр} - \omega_{оср}) l_{вр} + (1 - \kappa_p) \sum b_0 l'_{вр} 0/_{\text{‰}}}{L} \quad (7)$$

В формулах (5) — (7) обозначено:

$\sum \alpha^\circ$ — сумма центральных углов (в градусах) всех кривых элементов профиля на протяжении всех подъёмов, площадок и «безвредных» уклонов;

H — разность отметок конечного и начального пунктов рассматриваемого участка (с учётом знака этой разности) в м;

$i_{вр}$ — величина «вредного» уклона в ‰;

$\omega_{оср}$ — значение удельного основного сопротивления движению поезда на «вредных» уклонах (при наибольшей допустимой скорости) в кг/т;

$l_{вр}$ — длина пути подтормаживания на «вредных» спусках в м;

$l'_{вр}$ — длина пути, на которой производится смешанное торможение (если механическое подтормаживание при рекуперации происходит не на всём пути подтормаживания поезда на «вредных» уклонах);

b_0 — удельное значение среднего тормозного усилия механического подтормаживания поезда в кг/т;

κ_p — коэффициент, учитывающий возврат энергии при рекуперативном торможении;

$$\kappa_p = 1 - \eta_{пр},$$

где η_i — среднее значение к. п. д. двигателей при тяговом режиме;

$\eta_{пр}$ — то же при рекуперации.

В расчётах удельного расхода энергии рекомендуется принимать в качестве «вредных» уклонов те действительные уклоны, на которых производится торможение рассматриваемого типа поезда (для действующих дорог — по опыту лучших машинистов, при проектировании — по тяговым расчётам). Тогда длиной «вредного» уклона будет являться длина пути, на которой производится подтормаживание состава.

Удельный расход электрической энергии на покрытие тормозных потерь при остановках зависит от тормозных устройств.

При механическом торможении

$$a_m = \frac{a'_m}{\eta_i} \text{ вт-ч/ткм.} \quad (8)$$

При применении рекуперативного торможения

$$a_m = \frac{a''_m}{\eta_i} \text{ вт-ч/ткм.} \quad (9)$$

В формулах (8) и (9) обозначено:

a'_m — удельные потери энергии при механическом торможении до остановки;

a''_m — то же при применении рекуперативного торможения.

Остальные обозначения те же, что и выше. Удельные потери энергии при механическом торможении до остановки определяются выражением

$$a'_m = 1,051 \cdot 10^{-6} V_m^2 n \times \left[102 (1 + \gamma) - \frac{\omega_m + i_m}{g_m} \right] \text{ вт-ч/ткм,} \quad (10)$$

где V_m — скорость начала торможения в км/час;

n — число остановок на 100 км;

γ — коэффициент инерции вращающихся масс поезда;

w_m — среднее значение удельного основного сопротивления движению поезда на тормозном пути в $\text{кг}/\text{т}$;

i_m — величина уклона тормозного пути в $^\circ/\text{‰}$;

g_m — среднее замедление торможения в $\text{м}/\text{сек}^2$.

В расчётах для магистральных дорог с электровозной тягой возможно упростить

формулу (10), принимая $\frac{w_m + i_m}{g_m} = 0$, что не даёт заметной погрешности за счёт малого значения величин w_m , i_m и сравнительно небольшой доли общего расхода энергии на тягу, приходящегося на покрытие тормозных потерь. Тогда расчётное выражение тормозных потерь для электровозной тяги при механическом торможении имеет вид:

$$a'_m = 1,07 \cdot 10^{-4} (1 + \gamma) V_n^2 \text{ вт-ч/ткм.} \quad (11)$$

При моторвагонной тяге большая доля тормозных потерь в общем расходе энергии на тягу не позволяет без ущерба для точности расчёта принимать указанные допущения и расчётной формулой должно служить выражение (10).

Значение величины $(1 + \gamma)$ для различных условий см. в разделе «Тяговые расчёты».

Величину w_m следует определять по обычным формулам, в которых расчётной скоростью принимается скорость, равная $(0,55 \div 0,6) V_m$.

При применении рекуперативного торможения расчётной формулой для определения тормозных потерь может служить выражение

$$a''_m = a'_m \kappa'_p, \quad (12)$$

где κ'_p — коэффициент, учитывающий возврат энергии при рекуперации. Последний можно определять по формуле

$$\kappa'_p = 1 - \frac{V_m^2 - V_2^2}{V_m^2} \eta \gamma_p. \quad (13)$$

В формуле (13) обозначено:

V_2 — скорость, до которой производится рекуперативное торможение.

Остальные обозначения те же, что и выше.

Удельные потери энергии при пуске поезда в ход и удельный расход энергии на их покрытие определяются выражением

$$a_n = 1,051 \cdot 10^{-6} \kappa_n V_n^2 n \times \left[102 (1 + \gamma) + \frac{w_n + i_n}{g_n} \right] \text{ вт-ч/ткм,} \quad (14)$$

где V_n — скорость выхода на автоматическую характеристику в $\text{км}/\text{час}$;

κ_n — коэффициент потерь, зависящий от схемы пуска;

w_n — среднее значение удельного основного сопротивления движению поезда на пусковом пути в $\text{кг}/\text{т}$;

i_n — уклон (или подъём) на этом пути в $^\circ/\text{‰}$;

g_n — среднее ускорение поезда в $\text{м}/\text{сек}^2$.

Остальные обозначения те же, что и выше. Учитывая указанные выше (при расчёте тормозных потерь) допустимые упрощения,

расчёт пусковых потерь для поездов с электровозной тягой можно вести по формуле

$$a_n = 1,07 \cdot 10^{-4} \kappa_n (1 + \gamma) V_n^2 n \text{ вт-ч/ткм.} \quad (15)$$

Для моторвагонных поездов существующих типов формула (15) может быть упрощена за счёт допущения постоянного значения

выражения $\frac{w_n + i_n}{g_n} = 5$, так как действительные значения его мало отклоняются от этой величины и не влияют на точность расчётов.

Тогда для моторвагонных поездов, состоящих из одной, двух и трёх секций¹, пусковые потери и расход энергии на их покрытие определяются выражением

$$a_n = 1,24 \cdot 10^{-4} \kappa_n V_n^2 n \text{ вт-ч/ткм.} \quad (16)$$

Величину κ_n для электровозной тяги можно принимать равной $\frac{1}{3}$, для электросекций при нормальной схеме пуска 0,5. При применении схемы пуска с ослаблением поля возбуждения при переходе с последовательного на последовательно-параллельное соединение двигателей вместо величины $\kappa_n = 0,5$ следует вводить в расчёт величину $\kappa'_n = 0,42$.

Удельный расход электрической энергии на собственные нужды электрического локомотива определяется формулой

$$a_{сб} = \frac{P_{сб}}{(P + Q) V_T} \text{ вт-ч/ткм,} \quad (17)$$

где $P_{сб}$ — среднее значение мощности «собственных нужд» в вт ;

P — вес локомотива в т ;

Q — вес прицепной части поезда в т ;

V_T — среднетехническая скорость поезда в $\text{км}/\text{час}$.

Для удобства расчётов при планировании удельных расходов энергии можно пользоваться номограммами, которые приведены на фиг. 2—7.

При построении номограмм для электровозной тяги принято:

$$\eta = 0,9; \quad V_m = 40 \text{ км/час}; \quad \kappa_n = \frac{1}{3};$$

$$\gamma_p = 0,85; \quad V_2 = 18 \text{ км/час}; \quad P_{сб} = 35 \text{ кВт};$$

$$V_n = 30 \text{ км/час}; \quad \gamma = 0,047; \quad P_{эл} = 120 \div 132 \text{ т.}$$

Средний вес двухосного вагона с грузом	24 т
То же четырёхосного	70 »
» порожнего двухосного	8 »
» четырёхосного	22 »

Для моторвагонной тяги принято:

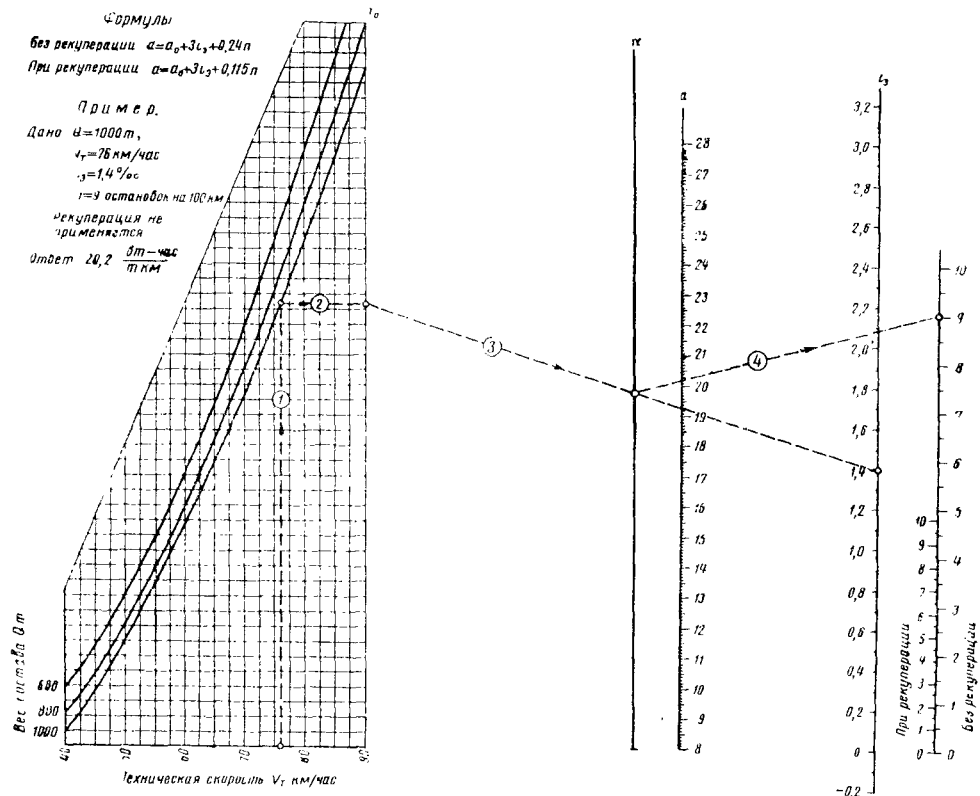
$$V_n = 40 \text{ км/час}; \quad \kappa_n = 0,5;$$

$$V_2 = 33 \text{ км/час}; \quad \kappa'_n = 0,42;$$

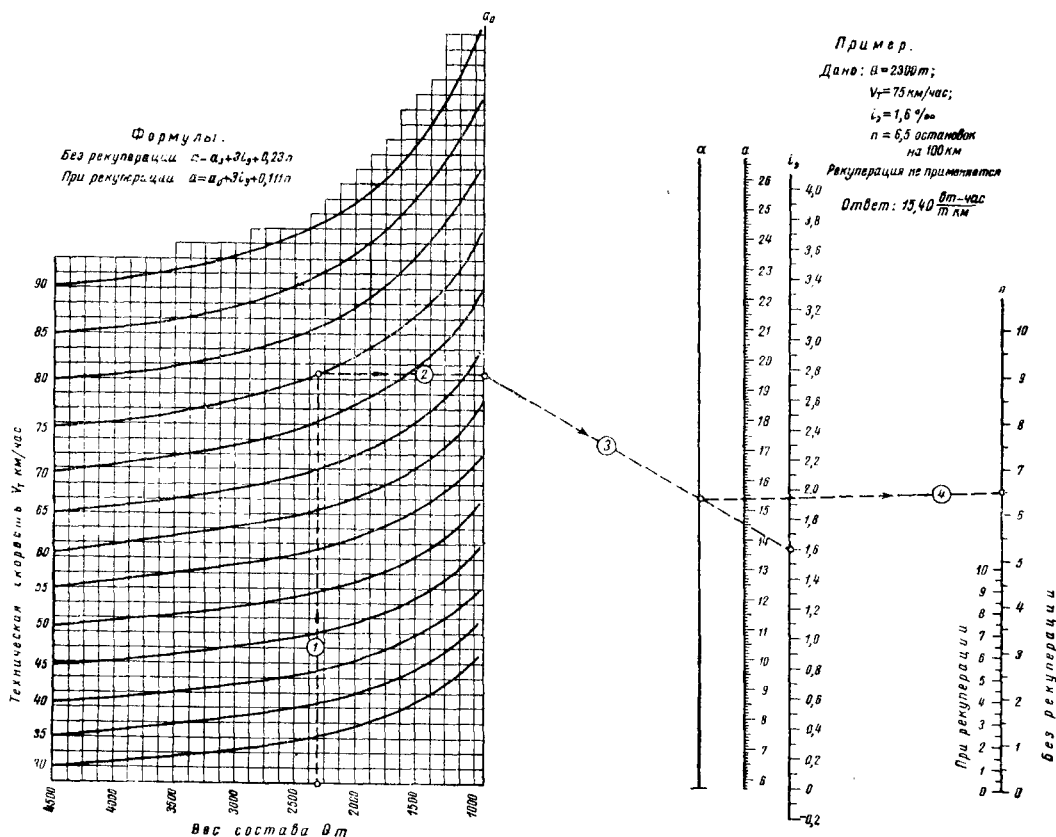
$$\gamma = 0,05; \quad P_{сб} = 4 \text{ кВт/секц.}$$

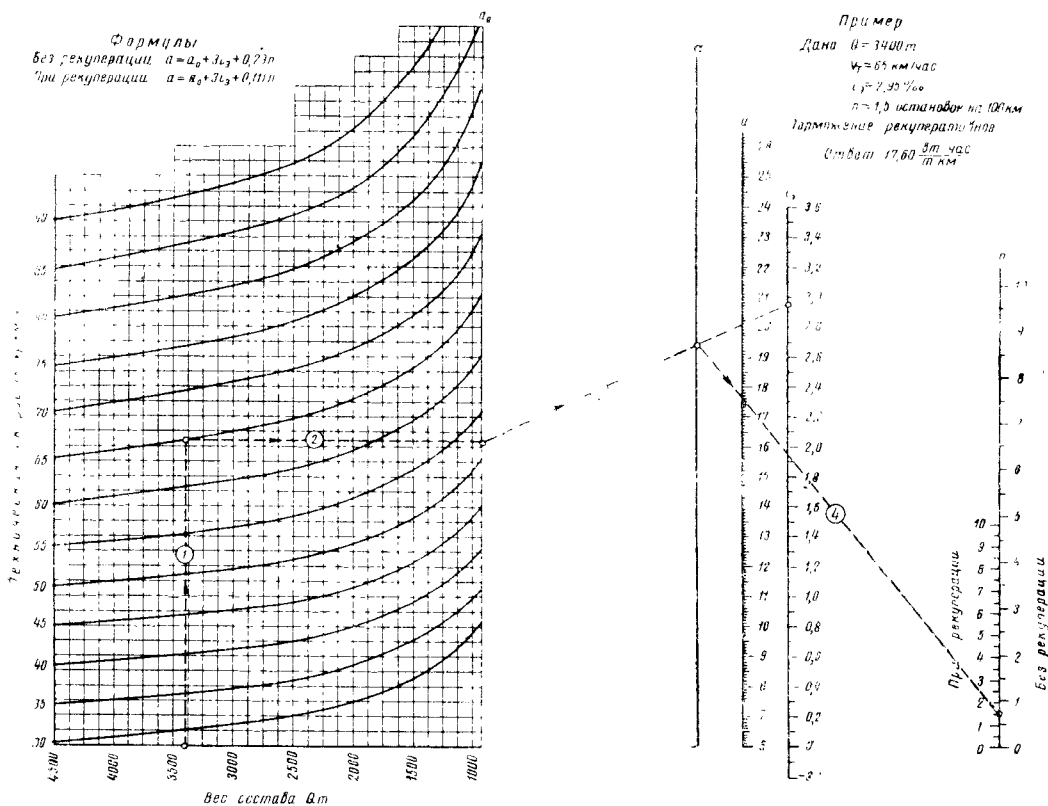
Средний вес одной электросекции 166 т. Значения κ , п. д. приняты те же, что и для электровозов.

¹ Одна секция предполагается состоящей из одиого моторного и двух прицепных вагонов.

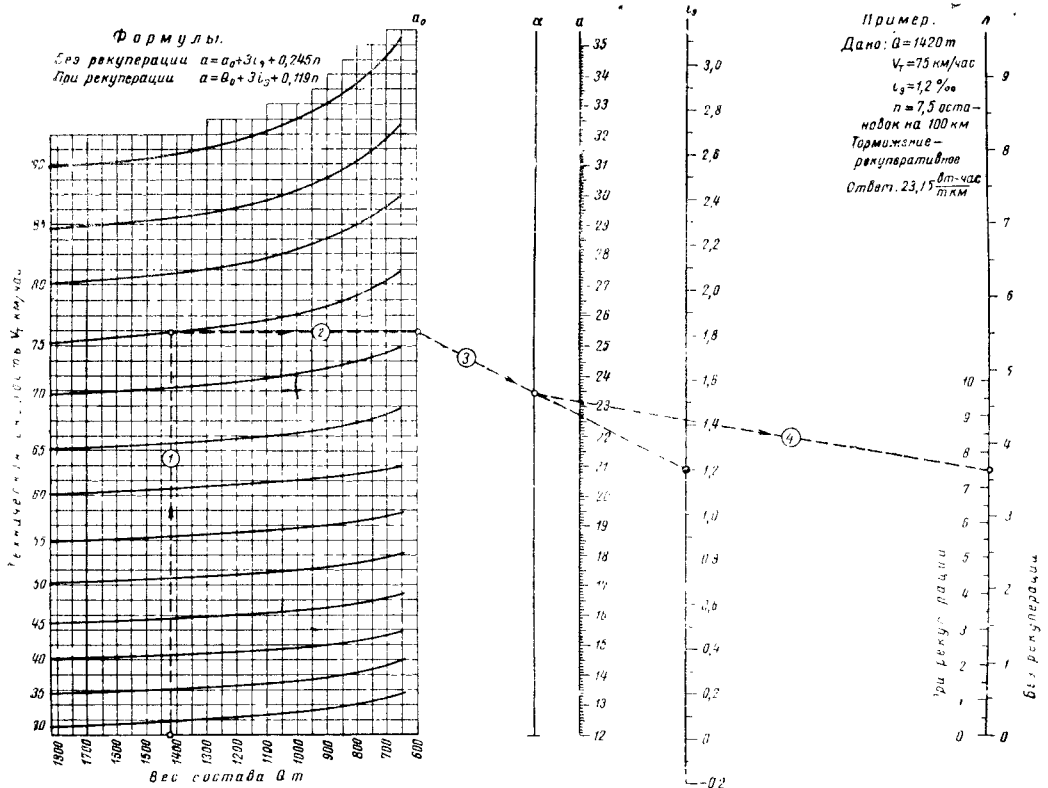


Фиг. 2. Номограмма для определения удельного расхода энергии на движение пассажирских поездов

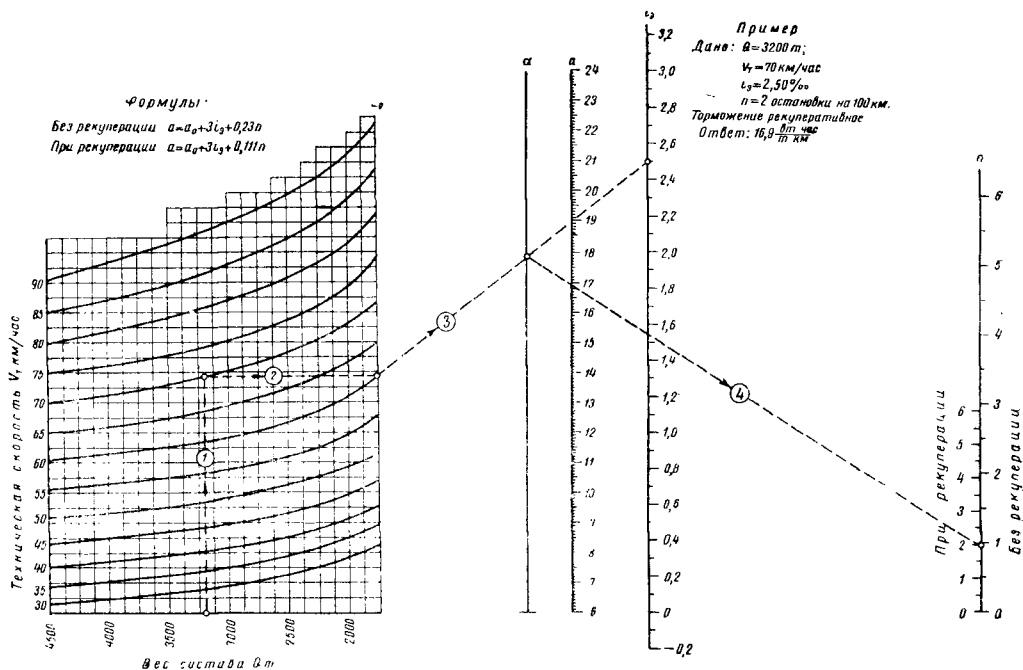
Фиг. 3. Номограмма для определения удельного расхода энергии на движение грузовых поездов (100^я четырёхосных вагонов)



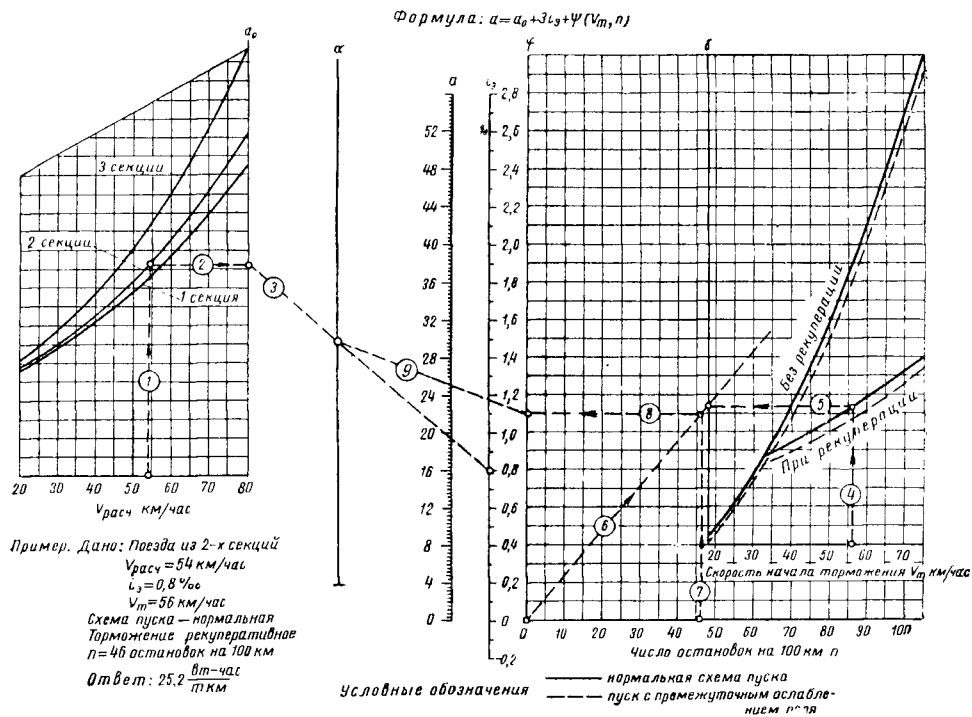
Фиг. 4. Номограмма для определения удельного расхода энергии на движение грузовых поездов (75% четырёхосных и 25% двухосных вагонов)



Фиг. 5. Номограмма для определения удельного расхода энергии на движение порожних составов (100% четырёхосных вагонов)

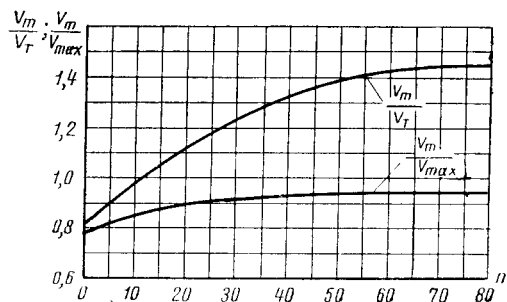


Фиг. 6. Номограмма для определения удельного расхода энергии на движение грузовых поездов при двойной тяге (100% четырехосных вагонов)



Фиг. 7. Номограмма для определения удельного расхода энергии на движение моторвагонных поездов

При отсутствии точных данных о скорости начала торможения или при некоторых колебаниях этого значения рекомендуется пользоваться кривыми фиг. 8.



Фиг. 8. Ориентировочная зависимость отношений $\frac{V_m}{V_r}$; $\frac{V_m}{V_{max}}$ от числа остановок на 100 км пути

УЧЁТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ

В процессе движения поездов возникает ряд факторов, влияющих на расход энергии, которые не могут быть учтены в общем виде для любых условий эксплуатации. На расход энергии, кроме чисто эксплуатационных условий, также влияют природные условия. Определение времени оборота и непроизводительных простоев локомотивов или электросекций (стоянки на станциях, в пунктах оборота и другие с поднятым пантографом) может быть произведено по следующим формулам:

а) для электросекций

$$a_{об} = \frac{\beta P_{сб}}{P + Q} \left(\frac{S_T}{L_T} - \frac{1}{V_T} \right) \text{ вт-ч/ткм}, \quad (18)$$

где β — опытный коэффициент, определяющий меру использования установленной мощности собственных нужд на стоянках ($\beta = 0,25 \div 0,4$);

$P + Q$ — вес поезда в т;

S_T — среднее число часов работы моторвагонной секции за рассматриваемый период T (сутки, квартал, год);

L_T — средний пробег моторвагонной секции за расчётный период в км;

V_T — среднетехническая скорость в км/час;

б) для электровозов

$$a_{об} = \frac{\beta P_{сб}}{(P + Q) 2L_T} (T_o - T) \text{ вт-ч/ткм}, \quad (18')$$

где L_T — длина тягового плеча в км;

T_o — время оборота в час;

T — время движения электровоза с поездом в течение времени оборота.

Расход энергии на движение по деповским путям определяется:

$$a_{дп} = \frac{A_{дп} \cdot 1000}{TKM_{бр}} \text{ М вт-ч/ткм}, \quad (19)$$

где $A_{дп}$ — расход энергии на прохождение деповских путей в квт-ч , определяемый для электросекции или электровоза при помощи опытных поездок;

$TKM_{бр}$ — тонно-километровая работа электросекций или поездов за расчётный период по данному депо;

M — число выданных и принятых локомотивов или электросекций за расчётный период.

Аналогично может быть определён расход энергии и на маневровую работу.

Учёт вспомогательного пробега имеет смысл только для электровозов и легко определяется по тем же зависимостям, что и расход энергии на движение поездов, но без прицепной части:

$$a_{всп} = \frac{ЭКМ \Delta_{всп} a_э P_э}{TKM_{ср}} 10^{-5} \text{ вт-ч/ткм}, \quad (20)$$

где $ЭКМ$ — электровозо-километры за расчётный период в тыс. км;

$\Delta_{всп}$ — % вспомогательного пробега;

$a_э$ — удельный расход энергии на одиночное следование электровоза в вт-ч/ткм ;

$P_э$ — вес электровоза в т;

$TKM_{бр}$ — тонно-километровая работа в млн. ткм (с учётом вспомогательного пробега).

Расход энергии на отопление поездов, если нет точного учёта времени включения и выключения отопительных приборов, возможно определять по опытным коэффициентам, учитывающим одновременно изменение расхода энергии по кварталам года под влиянием различных метеорологических факторов.

Принимая за единицу удельный расход энергии в третьем квартале года, для других кварталов удельный расход энергии можно определять ориентировочно при помощи следующих средних коэффициентов.

а) Для электросекций

$$\alpha_I = 1,28;$$

$$\alpha_{II} = 1,10,$$

$$\alpha_{IV} = 1,20.$$

б) Для магистральных железных дорог с электровозной тягой значения этих коэффициентов колеблются в сравнительно небольших пределах в зависимости от климатических условий дороги:

$$\alpha_I = 1,1 \div 1,2;$$

$$\alpha_{II} = 1,0 \div 1,05;$$

$$\alpha_{IV} = 1,08 \div 1,15.$$

Освещение поездов при электровозной тяге учитывается в расходе энергии на собственные нужды. Для электросекций этот расход энергии в расчёте собственных нужд не учитывается. При планировании можно

принимать удельный расход энергии на освещение вагонов электросекций в среднем за год $0,2 \text{ вт-ч/ткм.}$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЯГУ, ОТНЕСЁННОГО К ШИНАМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Для определения полного удельного расхода энергии на тягу необходимо учесть потери энергии в контактной сети, расход энергии на собственные нужды тяговых подстанций и потери энергии при преобразовании.

Определение расхода энергии на покрытие потерь в контактной сети можно производить по приближенным формулам (см. раздел «Энергоснабжение электрических железных дорог»).

Определив по данным указанного раздела относительное значение потерь энергии в контактной сети в процентах от полного расхода энергии на тягу, удельный расход электрической энергии, отнесённый к шинам постоянного тока тяговых подстанций $a_{\text{ш}}$, можно определить по формуле

$$a_{\text{ш}} = (1 + 0,01 \delta) a \text{ вт-ч/ткм,} \quad (21)$$

где δ — процент потерь энергии в контактной сети за планируемый период;

a — удельный расход энергии на тягу за тот же период.

Для учёта потерь энергии на тяговых подстанциях достаточно использовать среднее значение к. п. д. тяговых подстанций. При отсутствии точных данных среднее значение к. п. д. тяговых подстанций можно принимать: для ртутно-выпрямительных подстанций $\eta_{\text{н/ст}} = 0,95$; для мотор-генераторных подстанций $\eta_{\text{н/ст}} = 0,85$.

Удельный расход энергии, отнесённый к шинам переменного тока тяговых подстанций, будет

$$a'_{\text{ш}} = \frac{a_{\text{ш}}}{\eta_{\text{н/ст}}} \text{ вт-ч/ткм.} \quad (22)$$

Для определения полного удельного расхода энергии на тягу поездов следует ещё учесть расход энергии на собственные нужды тяговых подстанций.

Величина этого расхода энергии может быть различной для разных подстанций и для каждой подстанции должна быть определена на основании данных эксплуатации.

При определении удельного расхода энергии по любому участку слагающая этого расхода, учитывающая затраты энергии на собственные нужды тяговых подстанций, получается

$$a_{\text{н/ст}} = \frac{A_{\text{сб}} \cdot 1000}{TKM_{\text{бр}}} \text{ вт-ч/ткм,} \quad (23)$$

где $A_{\text{сб}}$ — расход энергии на собственные нужды всех тяговых подстанций рассматриваемого участка в квт-ч за период, на который рассчитывается удельный расход энергии (квартал, год);

$TKM_{\text{бр}}$ — тонно-километровая работа на рассматриваемом участке за тот же период.

Полный удельный расход энергии на тягу, отнесённый к шинам переменного тока тяговых подстанций, составит

$$a_{\sim} = a'_{\sim} + a_{\text{н/ст}} \text{ вт-ч/ткм.} \quad (24)$$

Примерный порядок расчётов при планировании удельного расхода энергии рекомендуется следующий.

1. Определяется удельный расход энергии на тягу без учёта эксплуатационных и природных факторов. Определение ведётся для всего участка, если размеры потребления энергии по фидерным зонам близки между собой. При этом в расчёт принимается среднее значение относительных потерь энергии в контактной сети из значений этой величины для отдельных фидерных зон. Если же размеры потребления энергии по фидерным зонам резко различны, то определение удельного расхода энергии следует вести для каждой зоны отдельно.

При этом по номограммам определяется удельный расход энергии для каждого типа поезда. Так как размеры движения по кварталам года могут быть различны, то определяется значение удельного расхода энергии за каждый квартал года по формуле

$$a_{\text{кв}} = \frac{\sum_{p=1}^k a_p (TKM_{\text{бр}})_p}{TKM_{\text{бр}}} \text{ вт-ч/ткм,} \quad (25)$$

где a_p — удельный расход энергии на движение поезда типа p по рассматриваемому участку;

$(TKM_{\text{бр}})_p$ — тонно-километровая работа по тому же участку за рассматриваемый квартал для поездов типа p ;

$TKM_{\text{бр}}$ — то же за квартал по всем поездкам всех типов;

k — число типов поездов.

2. Определяются все виды дополнительных расходов энергии, а также на покрытие потерь в контактной сети и на подстанциях, кроме отопления вагонов.

3. Суммарный удельный расход энергии по пп. 1 и 2 для каждого квартала не учитывает расход энергии, вызываемый метеорологическими условиями (включая отопление). Использование приведённых выше поквартальных коэффициентов даёт возможность произвести этот учёт.

Годовой удельный расход энергии составит:

$$a_{\text{год}} = \frac{\sum_{j=1}^4 a_j (TKM_{\text{бр}})_j}{TKM_{\text{бр}}} \text{ вт-ч/ткм,} \quad (26)$$

где индекс j определяет квартал года.

4. Определяется удельный расход энергии с учётом потерь энергии в тяговой сети по формуле

$$a_{ш\ 200} = a_{200} (1 + 0,01 \delta_{200}) \text{ вт-ч/ткм}, \quad (27)$$

где δ_{200} — среднегодовые потери энергии в % от a_{200} .

5. Полный удельный расход энергии на тягу, отнесённый к шинам переменного тока тяговых подстанций, определяется по формуле

$$a_{\sim} = \frac{a_{m\ 200}}{\eta_{n/cm}} + a_{n/cm} \text{ вт-ч/ткм}. \quad (28)$$

6. Если определение указанных величин ведётся для каждой фидерной зоны отдельно, то средний удельный расход энергии всего участка (для которого производится планирование) составит

$$a_{cp} = \frac{\sum_{n=1}^m a_{\sim n} (TKM_{бр})_n}{TKM_{бр}} \text{ вт-ч/ткм}, \quad (29)$$

где m — число фидерных зон на участке;

n — номер фидерной зоны.

Найденные теоретические удельные расходы энергии должны быть проверены на основании результатов опытных поездок и замеров на тяговых подстанциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила производства тяговых расчётов для поездной работы. Трансжелдориздат, М., 1956.
2. Розенфельд В. Е., Ривкин Ю. Е., Лакштовский И. А. Электрическая тяга поездов. Трансжелдориздат, М., 1940.
3. Ливинцев Н. Тяговые расчёты и испытания советских электровозов. Трансжелдориздат, М., 1938.
4. Бабичков А. М. и Егорченко В. Ф. Тяговые расчёты. Трансжелдориздат, М., 1949.
5. Технический справочник железнодорожника, том 6. Подвижной состав, Трансжелдориздат, М., 1952.

ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ПОСТОЯННОГО ТОКА



ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Основными типами электровозов, эксплуатируемых на железных дорогах СССР, являются электровозы серий ВЛ19; ВЛ22 и ВЛ22м.

Электровозы серии ВЛ19 изготавливались с 1934 по 1938 г. заводами «Динамо» им. С. М. Кирова и Коломенским машиностроительным заводом им. В. В. Куйбышева. Они являются грузо-пассажирскими электровозами с реостатным торможением и рассчитаны, в основном, для работы при напряжении в контактном проводе 3 000 в. Некоторая часть электровозов этой серии выпускалась для работы при двух напряжениях: 1 500 и 3 000 в. Переход с одного напряжения на другое производится с помощью специального переключателя. Электровозы ВЛ19 на два напряжения выпускались в двух исполнениях: с реостатным торможением и без него.

В 1936—1938 гг. завод «Динамо» им. С. М. Кирова и Коломенский машиностроительный завод им. В. В. Куйбышева выпустили несколько грузо-пассажирских электровозов серии СК, которые являются переходными локомотивами к более современной серии ВЛ22.

Электровозы серии ВЛ22 выпускались этими же заводами в период 1938—1941 гг. Они предназначены для работы при напряжении в контактном проводе 3 000 в и изготавливались в двух исполнениях: с зубчатыми передачами, имеющими передаточное число 3,74 и 4,45. Электровозы с передаточным числом 3,74 являются грузо-пассажирскими локомотивами, электровозы с передаточным числом 4,45 — грузовыми локомотивами. Все электровозы этой серии выполнены по схеме, позволяющей осуществлять рекуперативное торможение.

Этим же заводами с 1932 по 1936 г. были выпущены в небольшом количестве грузо-пассажирские электровозы серии Сс с рекуперативным торможением.

Электровозы серии ВЛ22м выпускаются с 1948 г. Новочеркасским электровозостроительным заводом им. С. М. Будённого. Они являются грузовыми локомотивами с рекуперативным торможением, предназначенными для работы при напряжении в контактном проводе 3 000 в. Однако некото-

рое количество электровозов этой серии было выполнено по схеме, не предусматривающей возможность электрического торможения.

С 1953 г. Новочеркасским электровозостроительным заводом им. С. М. Будённого начат выпуск электровозов Н8. Они являются мощными восьмиосными грузовыми локомотивами с тяговыми двигателями типа НБ-406А мощностью 525 кВт, предназначенными для работы при напряжении в контактном проводе 3 000 в. Электровозы выполнены по схеме, позволяющей осуществлять рекуперативное торможение.

Кроме серийных электровозов, нашей промышленностью был изготовлен ряд опытных электровозов типов ПБ21-01; ОР22; НО и ВЛ23.

Электровоз ПБ21-01 был выпущен в 1934 г. заводом «Динамо» им. С. М. Кирова и Куйбышевским машиностроительным заводом им. В. В. Куйбышева. Он являлся быстходным пассажирским электровозом, предназначенным для работы при напряжении в контактном проводе 1 500 и 3 000 в; электрическое торможение в нём не было предусмотрено.

Электровоз ОР22, построенный этими же заводами в 1939 г., являлся первым советским электровозом однофазного тока промышленной частоты, предназначенным для работы при напряжении в контактном проводе 20 000 в. Двигатели электровоза питались постоянным током от многоанодного ртутного выпрямителя, расположенного на электровозе.

Электровозы НО выпускаются Новочеркасским заводом с 1954 г. и являются электровозами однофазного тока промышленной частоты, работающими при напряжении в контактном проводе 20 000 в. Они оборудованы анодными запаяными ртутными выпрямителями (игниронами).

Электровозы ВЛ23 являются локомотивами постоянного тока и построены Новочеркасским заводом в 1956 г.

Основные данные отечественных электровозов и некоторых электровозов постоянного тока зарубежных железных дорог, построенных в 1950—1955 гг., приведены в табл. 1 и 2*.

* Табл. 2 составил инж. В. К. Калинин.

Таблица 1

Основные данные электровозов железных дорог СССР

Технические данные	Серия электровоза						
	ВЛ19	ВЛ19 на два на- пряжения	ВЛ22		ВЛ22М	ВЛ23	Н8
			с переда- точным числом 3,74	с переда- точным числом 4,45			
Колёсная формула	0-3 ₀ +3 ₀ -0	0-3 ₀ +3 ₀ -0	0-3 ₀ +3 ₀ -0	0-3 ₀ +3 ₀ -0	0-3 ₀ +3 ₀ -0	0-3 ₀ +3 ₀ -0	0-2 ₀ +2 ₀ + +2 ₀ +2 ₀ -0
Мощность часовая, <i>квт</i> . . .	2 030	2 030	2 030	2 030	2 340	3 160	4 100
Мощность длительная, <i>квт</i> . . .	1 785	1 785	1 785	1 785	2 075	2 750	3 650
Часовой ток электровоза, <i>а</i> . . .	250×3=750	250×3=750 250×6=1500	250×3=750	250×3=750	290×3=870	380×3=1140	380×4=1520
Длительный ток электровоза, <i>а</i>	220×3=660	220×3=660 220×6=1320	220×3=660	220×3=660	250×3=750	340×3=1020	340×4=1360
Сила тяги часовая, <i>кг</i>	20 000	20 000	20 000	20 000	23 900	26 400	35 200
» » длительная, <i>кг</i>	17 500	17 500	17 500	20 500	20 300	22 700	30 200
Скорость часовая, <i>км/час</i> . . .	37	37	37	30,5	76	42,6	42,0
» » длительная, <i>км/час</i>	38	38	38	32	37,5	44,3	43,7
Скорость конструктивная, <i>км/час</i>	85	85	85	70	75	90	90
Число экономических ступеней полного поля		3	3	3	3	3	3
Общее число экономических ступеней	9	9	9	9	9	15	15
Вес сцепной, <i>т</i>	117	117	124	124	134	138	180
Вес полный, <i>т</i>	117	117	124	124	134	138	180
Вес с балластом, <i>т</i>	—	—	132	132	132	—	180
Нагрузка движущей колёсной пары на рельс	19,5	19,5	22	22	22	23	22,0
Диаметр движущих колёс	1 220	1 220	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200
Длина поясов автосцепок, <i>мм</i>	16 218	16 218	16 480	16 480	16 480	17 020	27 520
Жёсткая база, <i>мм</i>	4 000	4 000	4 200	4 200	4 200	4 400	3 200
Ширина кузова, <i>мм</i>	3 106	3 106	3 106	3 106	3 106	3 106	3 100
Высота при опущенном пантографе от головки рельса, <i>мм</i>	5 025	5 025	4 900	4 900	4 900	5 100	5 080
Тип тягового двигателя	ДП19-340	ДП19-340	ДП19-310	ДП19-310	ДП19-400А	НБ-406А	НБ-406А
Число двигателей	6	6	6	6	6	6	3
Подвеска	Опорно-осевая	Опорно-осевая	Опорно-осевая	Опорно-осевая	Опорно-осевая	Опорно-осевая	Опорно-осевая
Передача	Зубчатая эластичная	Зубчатая эластичная	Зубчатая эластичная	Зубчатая эластичная	Зубчатая эластичная	Косозубая	Прямозубчатая эластичная
Передаточное число	86 : 23 = =3,74	86 : 23 = =3,74	86 : 23 = =3,74	89 : 20 = =4,45	89 : 20 = =4,45	82 : 21 = =3,905	82 : 21 = =3,905

Основные данные электровозов постоянного

Показатель	С е р и я			
	121	122	123	ВВ
Страна, для которой построен локомотив	Бельгия	Бельгия	Бельгия	
Год постройки	1950	1954	1955—1956	1952
Количество электровозов	3	50	83	24
Фирма-конструктор и изготовитель механической части	Forgs—SLM	Ateliers Metall Nivelles (Бельгия)	—	MV—Beyer (Англия)
Фирма-конструктор и изготовитель электрооборудования	Броун-Бовери (Швейцария)	АСЕС—SEM (Бельгия)	—	Метро-Виккерс (Англия)
Напряжение в контактной сети в в	3 000	3 000	3 000	3 000
Осевая формула	В ₀ -В ₀	В ₀ -В ₀	В ₀ -В ₀	В ₀ -В ₀
Ширина колеи в мм	1 435	1 435	1 435	1 000
Род службы	Г р у з о - п а с с а ж и р			
Мощность часовая в квт	2 080	1 880	1 880	790
Сила тяги » в кг	15 000	13 800	—	6 950
Скорость » в км/час	51,0	50,0	52,0	41,7
Мощность длительная в квт	1 720	1 735	1 740	660
Сила тяги » в кг	11 500	12 200	—	5 480
Скорость » в км/час	54,5	52,1	52,0	44,0
Максимальное тяговое усилие в кг	23 000	—	—	—
Максимальная скорость в км/час	140	125	125	—
Электрическое торможение	—	—	Рекуперативное	Реостатное
Отношение $v_{\max}/v_{\text{час}}$	2,75	2,5	—	—
Вес электрооборудования в т	34,55	34,8	—	—
Вес механической части » »	46,5	46,7	—	—
Общий вес в т	81,05	81,5	—	50
Сцепной вес в т	81,05	81,5	—	50
Давление движущей колёсной пары на рельсы в т	20,25	20,37	—	12,5
Удельный вес электровоза в кг/квт	39,9	43,3	—	63,2
Удельный вес электрооборудования в кг/квт	16,6	18,5	—	—
Удельная мощность в квт/т	25,7	23,1	—	15,9
Длина по буферам в мм	16 300	18 000	18 000	12 040
База тележки в мм	3 600	3 450	3 450	2 440
Диаметр движущих колёс в мм	1 350	1 262	1 262	1 092
Тип тягового двигателя	—	—	—	MV-188
У изоляции/У _{на зажимах} в в	3 000/1 500	3 000/1 500	—	3 000/1 500
$R_{\text{час}}/R_{\infty}$ в квт	525/445	—	—	203/170
$I_{\text{час}}/I_{\infty}$ в а	384/320	336/310	—	163/135
$n_{\text{час}}/n_{\infty}$ в об/мин	415/440	655/685	—	885/935
n_{\max} в об/мин	1 130	—	—	—
Коэффициент вентиляции	0,834	0,847	—	0,828
Количество вентиляционного воздуха в м³/мин	150	90	—	35,4
Число главных полюсов	6	4	—	4
Вес тягового двигателя в кг	5 350/6 574	—	—	—
Удельный вес тягового двигателя $G/P_{\text{час}}$ в кг/квт	10,15	—	—	—
Момент $M_{\text{час}}$ в кгм	1 240	—	—	224
Удельный вес тягового двигателя $G/M_{\text{час}}$ в кг/кгм	4,32	—	—	—
Подвеска тягового двигателя	Опорно-рамная	О п о р н о - о с е в а я		
Тип передачи	Броун-Бовери	Одностор. зубчат. эластичн.	—	Одностор. зубчат. эластичн.
Передаточное отношение	2,05	3,109	—	4,35

Таблица 2

тока зарубежных железных дорог

(т и п) э л е к т р о в о з а								
СС7000	СС7700	ВВ700	ВВ700	ВВ	12Е (Е199)	4Е	5Е	СС7100
Испания	Испания	Марокко	Марокко	Польша	Чехословакия	Южная Африка	Южная Африка	Франция
1951 80	1953 60	1950—1951 5	1950—1951 9	1954 25	1954 20	1953 40	— 60	1950 53
Альстом и испанские фирмы	Вулкан Preston Works (Англия)	Альстом (Франция)	—	—	Завод им. Ленина (Чехословакия)	Сев.-Британ. локом. компания (Англия)	—	Альстом (Франция)
Альстом (Франция)	Инглши Электрик (Англия)	Альстом (Франция)	—	—	То же	ДЖИН (США)	—	То же
3 000 С ₀ -С ₀ 1 674	3 000 С ₀ -С ₀ 1 674	3 000 В ₀ -В ₀ 1 435	3 000 В ₀ -В ₀ 1 435	3 000 В ₀ -В ₀ 1 435	3 000 В ₀ -В ₀ 1 435	3 000 1-С ₀ +С ₀ -1 1 067	3 000 В ₀ -В ₀ 1 067	1 500 С ₀ -С ₀ 1 435
с к и й		Пассажирский	Грузовой		Г р у з о - п а с с а ж и р с к и й			
2 350	2 630	1 530	1 530	2 120	2 400	2 210	1 470	3 600
18 100	17 650	11 000	16 000	16 800	15 000	18 900	13 000	16 500
47,5	54,5	51,0	35,0	46,0	58,6	43,0	41,5	80,0
2 210	2 210	1 440	1 440	—	2 000	1 830	1 265	3 330
16 550	14 000	10 200	14 800	—	10 800	14 550	10 500	14 880
49,0	57,6	52,0	35,6	—	65	46,0	44,2	82,0
—	30 000	20 400	—	26 000	26 000	32 600	—	—
125	110	115	80	121	120	90	96	180
—	Р е к у п е р а т и в н о е	—	—	—	—	Р е к у п е р а т и в н о е	—	—
2,63	2,02	2,23	2,28	2,61	2,0	2,195	2,31	2,25
52,0	—	35	35	—	—	—	—	42,1
66,0	—	48	48	—	—	—	—	64,9
118	118	83 и 88	83 и 88	84	80	155	84	107
118	118	83 и 88	83 и 88	84	80	130	84	107
19,67	19,7	20,75 и 22	20,75 и 22	21	20	—	21	17,84
50,2	44,9	54,2	54,2	39,6	34,8	67,9	57,2	29,8
22,1	—	22,85	22,85	—	—	—	—	11,7
19,9	22,3	18,45	18,45	25,25	28,8	14,75	17,5	33,6
18 932	20 675	12 930	12 930	16 320	15 600	21 843	15 500	18 922
4 495	4 800	2 950	2 950	3 500	3 330	—	3 430	4 845
1 250	1 220	1 400	1 400	1 350	1 250	1 300	1 220	1 250
ТА-630А	ЕЕ514/1В	ТА625	ТА625	—	AL 4846ZT	—	—	ТА 621В
3 000/1 500	3 000/1 500	3 000/1 500	3 000/1 500	—	3 000/1 500	3 000/1 500	3 000/1 500	1 500/750
405/378	—	393/374	393/374	—	600/508	380/305	—	614/570
295/275	320/270	285/270	285/270	—	415/360	282/232	—	890/820
637/657	—	564/575	564/575	—	600/630	—	—	890/910
2 000	—	1 270	1 270	—	1 550	—	—	2 000
0,933	—	—	—	—	0,87	0,822	—	0,922
—	—	—	—	—	150	—	—	—
4	—	4	4	—	6	4	—	6
4 830/5 320	—	—	—	—	5 200	5 300	—	—/3 795
11,9	—	—	—	—	8,9	—	—	—
620	—	680	680	—	950	—	—	690
7,8	—	—	—	—	5,48	—	—	—
Опорно-рамная Альстом	Опорно-осевая Одностор. зубчат. эластичн.	—	—	Опорно-осевая Двусторон. эластичн.	Опорно-рамная Сешерон	Опорно-осевая —	Опорно-осевая Одностор. зубчат. эластичн.	Опорно-рамная Альстом
3,15	3,94	2,917	4,222	3,85	2,27	—	—	2,606

Показатель	С е р и я			
	ВВ9001— ВВ9002	ВВ9003	ВВ9004	ВВ1100
Страна, для которой построен локомотив	Франция	Франция	Франция	Голландия
Год постройки	1953	1952	1952	1950
Количество электровозов	2	1	1	50
Фирма-конструктор и изготовитель механиче- ской части	Швейцарский локомот. з-д	Крезо (Франция)	Крезо (Франция)	Альстом (Франция)
Фирма-конструктор и изготовитель электрообо- рудования	Броун- Бовери (Швейцария)	—	Жемон (Франция)	Альстом (Франция)
Напряжение в контактной сети в в	1 500	1 500	1 500	1 500
Осевая формула	В ₀ -В ₀	В ₀ -В ₀	В ₀ -В ₀	В ₀ -В ₀
Ширина колеи в мм	1 435	1 435	1 435	1 435
Род службы	П а с с а ж и р с к и й			Г р у з о -
Мощность часовая в кВт	3 300	3 450	3 540	2 220
Сила тяги » в кг	14 150	16 000	14 600	10 600
Скорость » в км/час	85,0	79,0	89,0	77
Мощность длительная в кВт	2 980	3 160	3 140	2 140
Сила тяги » в кг	12 400	14 320	12 400	10 000
Скорость » в км/час	88,0	81,0	93,0	78,5
Максимальное тяговое усилие в кг	—	28 000	—	18,1
Максимальная скорость в км/час	160	160	160	135
Электрическое торможение	—	—	—	—
Отношение $v_{\max}/v_{\text{час}}$	1,885	2,03	1,8	1,755
Вес электрооборудования в т	35,5	30,6	—	—
Вес механической части в т	44,5	49,4	—	—
Общий вес в т	80	80	80	80
Сцепной вес в т	80	80	80	80
Давление двухжущей колёсной пары на рельсы в т	20	20	20	20
Удельный вес электровоза в кг/квт	24,25	23,2	22,6	36,0
Удельный вес электрооборудования в кг/квт	10,75	8,87	—	—
Удельная мощность в квт/т	41,3	43,1	44,3	27,8
Длина по буферам в мм	15 400	16 200	16 200	12 984
База тележки в мм	3 600	3 200	3 200	2 950
Диаметр движущих колёс в мм	1 300	1 250	1 250	1 250
Тип тягового двигателя	GLM931	GF830	SW4326	TA 628
У изоляции/U _{на} зажимах в в	1 500/750	1 500/750	1 500/750	1 500/750
$P_{\text{час}}/P_{\infty}$ в квт	845/766	885/810	905/810	578/545
$I_{\text{час}}/I_{\infty}$ в а	580/525	620/570	660/585	820/780
$n_{\text{час}}/n_{\infty}$ в об/мин	702/726	845/866	985/1 030	1 210/1 240
n_{\max} в об/мин	1 320	1 710	1 770	2 600
Коэффициент вентиляции	0,905	0,92	—	0,952
Количество вентиляционного воздуха в м ³ /мин	120	160	160	—
Число главных полюсов	6	6	4	6
Вес тягового двигателя в кг	4 860/—	4 060/—	4 510	3 500/3 865
Удельный вес тягового двигателя $G/P_{\text{час}}$ в кг/квт	5,75	4,6	4,99	6,16
Момент $M_{\text{час}}$ в кгм	1 175	1 020	896	457
Удельный вес тягового двигателя $G/M_{\text{час}}$ в кг/кгм	4,14	3,98	5,04	7,65
Подвеска тягового двигателя	Опорно- рамная	Опорно-рамная	—	—
Тип передач	Броун-Бовери	—	—	—
Передаточное отношение	2,02	2,517	2,517	3,7

Продолжение табл. 2

(тип) электровоза

СС1200	СС1300	СС	ВВ	ЕМ1	ЕМ2	ВВВ	СС
Голландия	Голландия	Австралия	Португалия	Англия	Англия	Н. Зеландия	Индия
1952	1952	1954	1950	—	1954	1952	1954
25	10	25	—	58	7	7	7
Балдвин (США)	—	Вулкан (Англия)	Сев.-Британская	—	Gorton works (Англия)	Стефенсон (Англия)	Вулкан (Англия)
Вестингауз	—	Инглиш Электрик (Англия)	ДЖИИ (США)	Метро-Виккерс	Метро-Виккерс	Инглиш Электрик (Англия)	—
1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 400
С ₀ -С ₀	С ₀ -С ₀	С ₀ -С ₀	В ₀ +В ₀	В ₀ +В ₀	С ₀ -С ₀	В ₀ -В ₀ -В ₀	С ₀ -С ₀
1 435	1 435	1 600	1 676	1 435	1 435	1 067	1 676
п а с с а ж и р с к и й	—	—	—	Г р у з о - п а с с а ж и р с к и й			
2 580	3 330	1 670	785	1 350	2 031	1 290	2 640
14 000	15 750	13 000	9 300	11 400	9 600	10 550	21 700
67,5	77,5	47,5	31,0	41,8	71,0	45,0	45,0
2 160	3 180	1 520	610	920	1 710	1 095	2 320
10 900	14 750	11 400	6 450	6 610	9 100	8 350	17 650
72,5	79,0	49,0	34,8	51,5	71,0	48,0	48,2
26,0	22,6	24,5	—	—	20,4	—	31,2
140	165	120,0	—	104	145	96,0	120,0
—	—	Реоостатное	—	Р е к у п е р а т и в н о е		—	Р е к у п е р а т и в н о е
2,075	2,13	2,53	—	—	2,045	2,13	2,67
40	40,5	—	—	—	—	—	—
68	65,5	—	—	—	—	—	—
108	106/111	96	52	78,7	93	75	123
108	106/111	96	52	78,7	93	75	123
18	17,7/18,5	16	13	19,67	15,5	12,5	20,5
37,8	31,8	57,5	66,4	58,3	45,6	58,1	46,6
14,0	11,86	—	—	—	—	—	—
26,45	31,1	17,4	15,1	15,83	—	17,2	21,45
18 085	18 952	18 540	12 700	15 350	17 980	18 900	20 850
4 725	4 845	4 370	2 740	3 500	—	2 590	4 800
1 100	1 250	1 016	1 150	1 270	1 092	925	1 220
ТМ 94	ТА 628	ЕЕ 519	—	—	—	—	—
1 500/750	1 500/750	—	—	—	—	1 500/750	—
440/370	570/545	—	200/155	320/—	332/—	221/187	450/394
585	820/780	—	—	—	—	320/270	—
1 160/1 245	1 210/1 240	—	600/674	—	—	928/990	—
2 400	—	—	—	—	—	—	—
2 600	—	—	—	—	—	0,845	—
—	—	—	—	—	—	42,6	—
4	6	—	—	—	—	—	—
2 800/3 100	3 500/3 865	—	—/3 160	—	—	—	—
5,74	6,15	—	—	—	—	—	—
370	464	—	—	—	—	232	—
7,56	7,55	—	—	—	—	—	—
Опорно-осевая	—	О п о р н о - о с е в а я					
Зубчатая односторонняя	—	Односторонняя	Односторон. зубчат.	Односторон. зубчат. эластичн.	Одностор. зубчат. эластичн.	—	Одностор. зубчат. эластичн.
3,55	3,7	—	4,19	4,1176	3,76	3,59	3,69

МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОВЗОВ

Электровоз состоит из электрической и механической частей.

В механическую часть электровоза входят рамы тележек, рессорное подвешивание, колёсные пары, бегунковые тележки (в тех случаях, когда они входят в конструкцию электровоза), тормозное и автосцепное оборудование и кузов с опорами.

РАМЫ

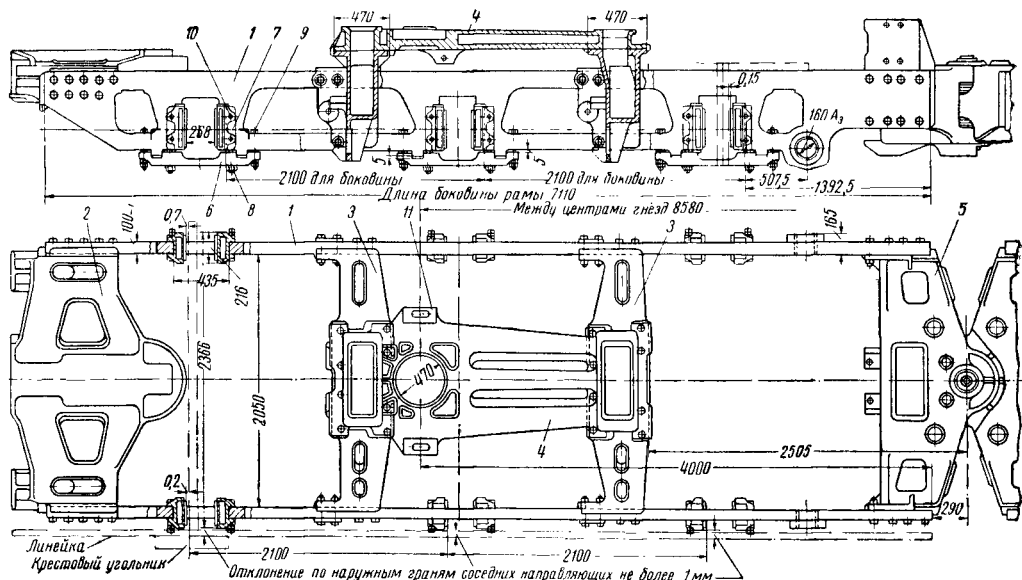
Основным назначением рам является: передача и распределение вертикальной нагрузки между отдельными колёсными парами при помощи рессорного подвешивания; восприятие тягового усилия, развиваемого отдельными колёсными парами, и передача его на упряжные приборы.

Рама тележки электровоза ВЛ22^м показана на фиг. 1.

Буксовый вырез снизу закрывается стружкой 6, устанавливаемой на каблучках-выступах в нижней части боковины рамы. Стружки насаживаются на каблучки и крепятся к раме шпильками 8 и болтами 9. Между стружкой и рамой оставляется зазор 3÷5 мм на натяг. Пригонка стружки к каблучкам производится по краске, площадь прилегания должна быть не менее 80%.

Для увеличения опорной поверхности, через которую передаются тяговые и тормозные усилия от колёсной пары на раму, установлены стальные литые (ГОСТ 977—53) буксовые направляющие 7, обхватывающие раму в буксовых окнах.

Для предотвращения скольжения буксовых направляющих по боковине предусмотрены нажимные болты 10. На поверхности направляющих, примыкающих к буксам, наварируются сменные по мере износа стальные пластинки.



Фиг. 1. Рама тележки электровоза ВЛ22^м

Рамы состоят из продольных боковин 1 и следующих поперечных креплений: упряжного бруса 2, двух средних креплений 3, на которые опирается шкворневая балка 4, и бруса сочленения 5. Рама тележки в собранном виде весит 9173 кг.

На всех советских магистральных электровозах, за исключением восьмиосного, применены брусковые рамы с боковинами, изготовленными из стали марки Ст. 5 (ГОСТ 380—50).

У электровозов Сс, СК, СКУ, ВЛ19, ВЛ22 и ВЛ22^м боковины рам имеют толщину в обработанном виде 100 мм и выполнены с двумя поясами, между которыми располагаются балансиры.

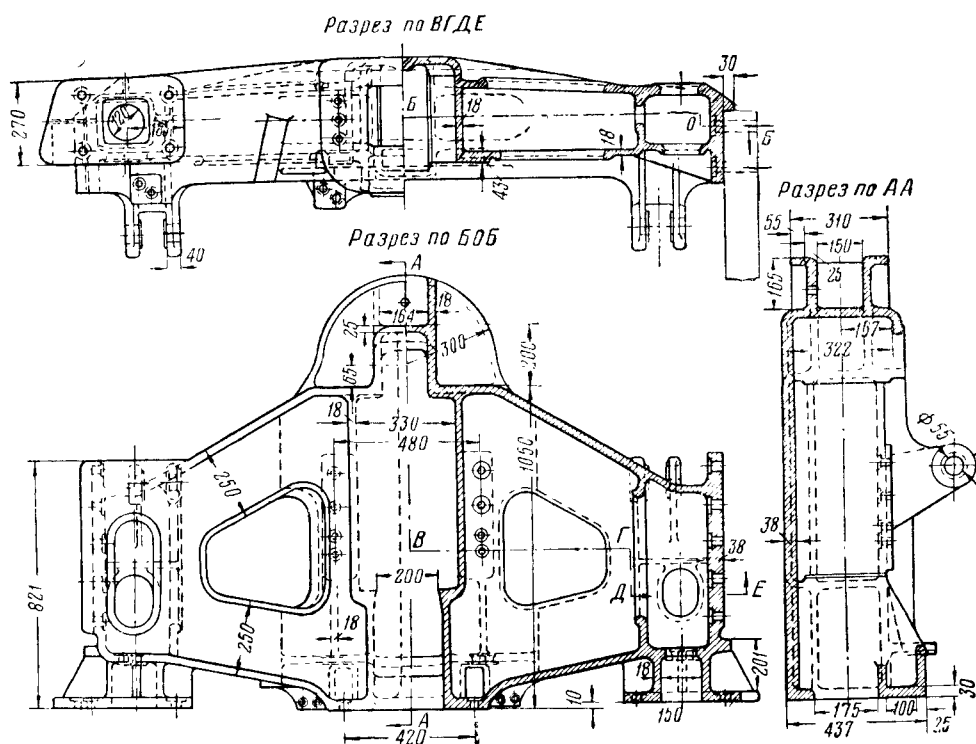
На фиг. 1 показан допуск при проверке рамы при помощи линейки и крестового угольника. Вес боковины с деталями 2047 кг.

Упряжной брус электровозов ВЛ22^м показан на фиг. 2. Он представляет собой стальное (повышенного качества) литьё марки 25-ЛК11 ГОСТ 977—53, имеющее в средней части коробку для постановки фрикционного аппарата автосцепки.

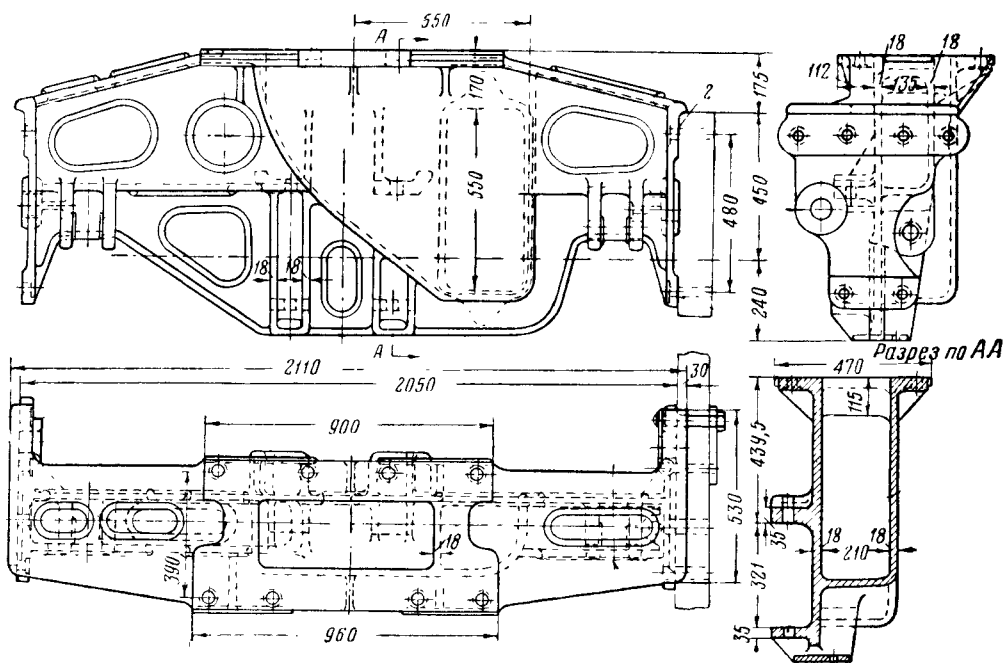
Нижняя сторона этой коробки открыта и после постановки автосцепки закрывается планкой на болтах.

Вес упряжного бруса в обработанном виде 1075 кг.

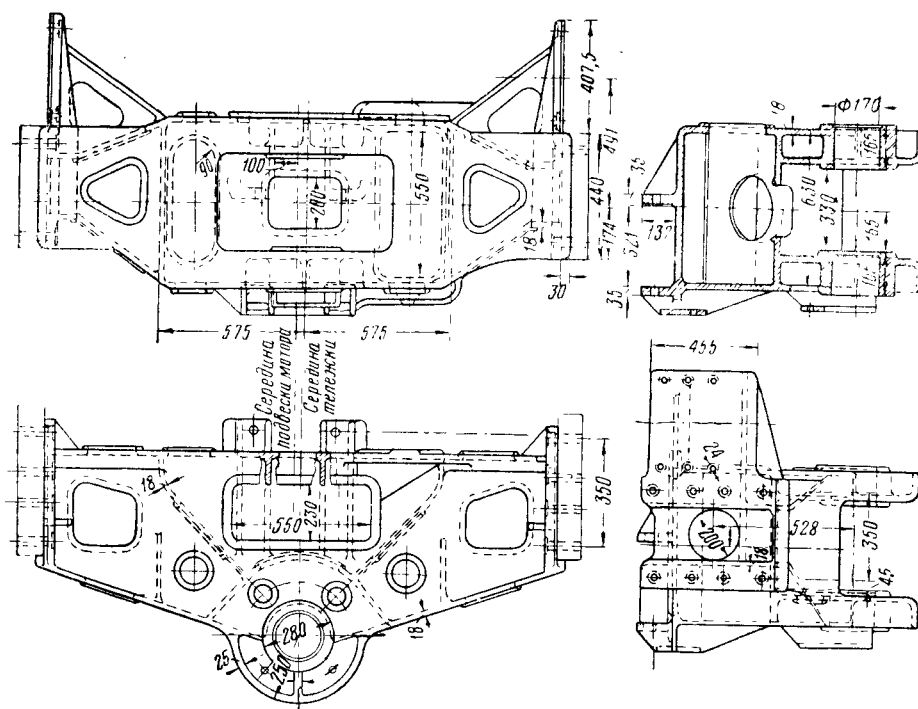
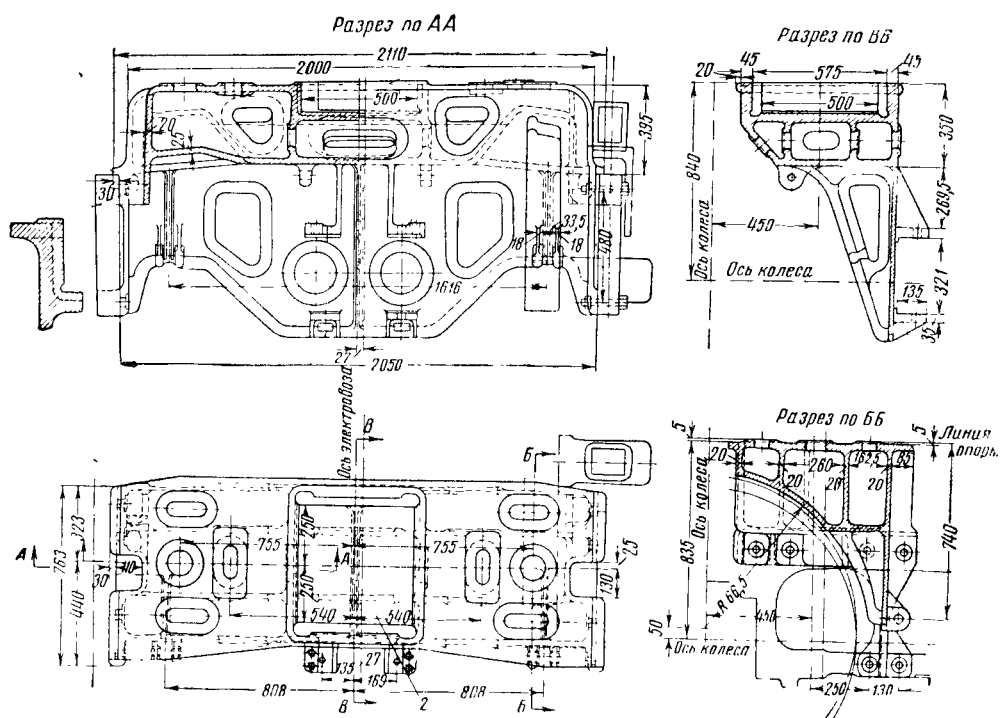
Аналогичную конструкцию имеет упряжной брус электровоза ВЛ19.



Фиг. 2. Упряжной брус электроваза ВЛ22М



Фиг. 3. Среднее рамное крепление электроваза ВЛ22М



На фиг. 3 показано среднее рамное крепление электровозов ВЛ22^м; оно представляет стальное литьё повышенного качества Ст. 25-ЛК11 (ГОСТ 977—53) коробчатой формы с вентиляционными каналами для подвода воздуха к тяговым двигателям с кронштейнами для подвески тяговых двигателей.

Вес одного рамного крепления 771 кг, другого — 796 кг.

На эти крепления опирается (см. фиг. 1) продольная шкворневая балка 4 весом 980 кг из литья повышенного качества Ст. 25-ЛК11 (ГОСТ 977—53).

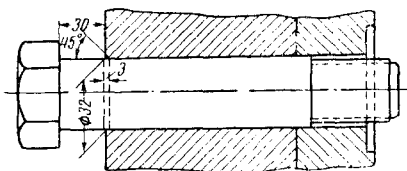
Средняя часть продольной балки уширена и образует гнездо для пяти кузова (см. пяти кузова). По бокам имеются опоры 11 (см. фиг. 1) для скользунов кузова с овальными отверстиями для пропуска предохранительных болтов, служащих для ограничения поперечных колебаний кузова. Между скользунами и опорными приливами шкворневой балки в эксплуатационных условиях должен быть зазор 5—7 мм (минимум 2 мм).

На электровозах ВЛ19 кузов располагается непосредственно на среднем рамном креплении — шкворневой балке (фиг. 4).

На фиг. 5 показана литая балка сочленения передней тележки электровозов ВЛ22^м, Ст. 25-ЛК11 (ГОСТ 977—53), весом 1 273 кг; она имеет в средней части вилку с вертикальными отверстиями для пропуска болта сочленения, а балка сочленения задней тележки образует серьгу, входящую в вилку передней тележки. В серьге имеется широкая проушина, в которую закладывается гнездо шара сочленения. Между вилкой и серьгой сочленения сохраняется зазор, равный 14—18 мм на обе стороны, обеспечивающий вертикальное перемещение в сочленении одной тележки относительно другой.

В остальном балки сочленения обеих тележек совершенно сходны между собой.

Соединение боковин рамы с поперечными креплениями выполнено призонными коническими болтами из Ст. 5, эскиз постановки которых дан на фиг. 6.



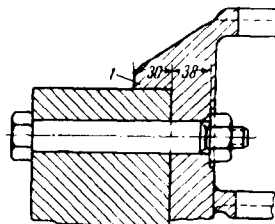
Фиг. 6. Эскиз постановки рамных призонных болтов (до забивки)

Для разгрузки призонных болтов от срезающих усилий от веса вертикальной нагрузки у поперечных креплений имеются горизонтальные полки 1 (фиг. 7); упругие брусья и балки сочленения имеют вертикальные полки для восприятия ударных усилий.

Для обеспечения надёжного соединения рамных креплений с боковинами привалочные поверхности тщательно обрабатываются и пригоняются по месту и плотность прилегания проверяется щупом (щуп размером 0,1—0,2 мм не должен проходить).

Боковины брусковых рам вместе с массивными рамными креплениями образуют пространственную систему, жёсткую в вертикальной и горизонтальной плоскостях, — в этом их огромное преимущество по сравнению с листовыми рамами.

Для восьмисоснового электровоза Н8 принят ещё более совершенный тип — цельнолитые рамы, в которых боковины и поперечные креп-



Фиг. 7. Соединение рамного крепления с боковиной

ления отливаются в одном блоке, что значительно снижает стоимость рам и повышает эксплуатационную их надёжность.

На фиг. 8 показана цельнолитая стальная рама крайней тележки электровозов Н8.

Расчёт рамы

Расчёт боковин рамы. Расчёт боковин рамы производится на:

- а) номинальную статическую нагрузку;
- б) выкатку колёсных пар (тележечные электровозы);
- в) подъёмку;
- г) удар по автосцепке.

Номинальная нагрузка. Боковина принимается как балка, лежащая на упругих опорах.

Нагрузка:

P_i — сосредоточенная от оборудования, передаваемая через поперечные крепления на каждую боковину, включая вес самого крепления;

q — равномерно распределённая от собственного веса боковины с рессорным и тормозным оборудованием;

R_i — реакция опор рамы на одну боковину (от рессорных подвесок):

$$R_i = \frac{P_i - p_i}{2},$$

где P_i и p_i — полная и неподрессоренная нагрузки колёса на рельсы;

от валика балансира между колёсами i и $i+1$

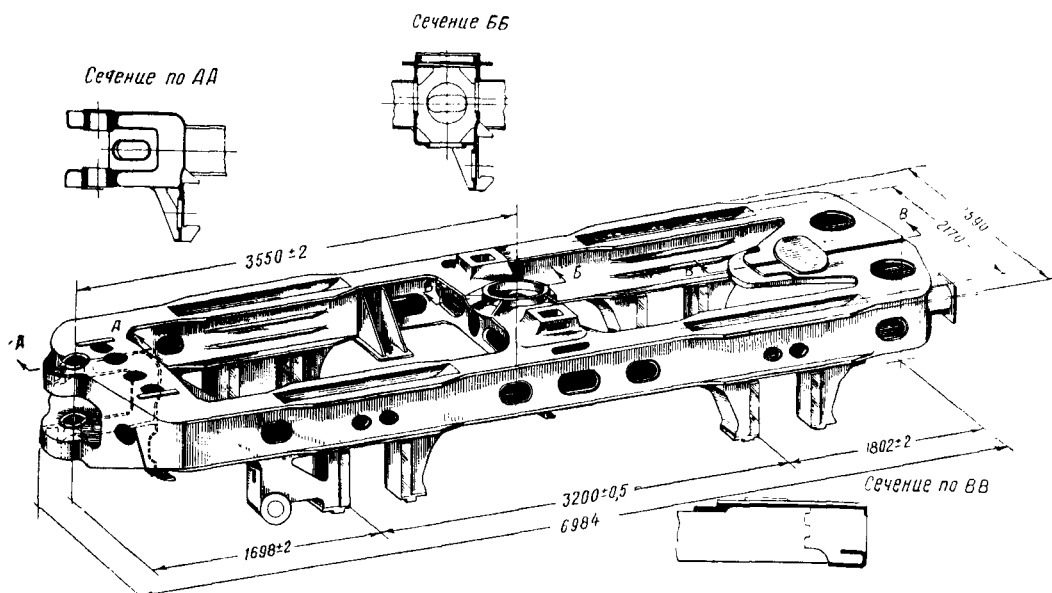
$$R_{i,i+1} = \frac{P_i - p_i}{2} + \frac{P_{i+1} - p_{i+1}}{2};$$

от пяти бегунковой тележки

$$R_{бег} = \frac{\sum P_{iб} - P_T}{2},$$

где $\sum P_{iб}$ — суммарная нагрузка бегунковых колёс на рельс;

P_T — вес бегунковой тележки.



Фиг. 8. Рама тележки электровоза Н8

Выкатка колёсной пары. Характер нагрузок боковины тот же, что и в предыдущем случае; реакции R_i на различных опорах находятся из условия:

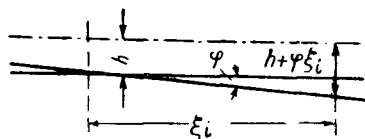
$$\sum P_i + ql = \sum R_i; \quad (1)$$

$$\sum P_i x_i + ql x_q = R_i \xi_i, \quad (2)$$

где x_i , x_q и ξ_i — расстояние сил P_i , равнодействующих распределённой нагрузки ql и реактивных сил R_i до произвольно выбранной точки моментов; l — длина рамы.

Вместо отдельных рессор можно в уравнения (1) и (2) вводить реакции R_i — эквивалентных рессор и их расстояния ξ_i .

В случае статически неопределимого рессорного подвешивания необходимо R_i выразить через параметры: h — вертикальное перемещение произвольной точки рамы и φ наклона её.



Фиг. 9. К расчёту реакций рессорного подвешивания

Реакции R_i действительных или эквивалентных рессор с жёсткостью \mathcal{K}_i выражают в виде (Фиг. 9):

$$R_i = \mathcal{K}_i (h + \varphi \xi_i) \quad (3)$$

и подставляют в уравнения (1) и (2) для определения h и φ , по которым из уравнения (3) находятся искомые R_i .

Подъёмка. Реакции R_1 и R_2 от двух домкратов, расположенных под боковиной, определяются из уравнений:

$$R_1 + R_2 = \sum P_i + ql$$

и

$$R_1 \xi_1 + R_2 \xi_2 = \sum P_i x_i + ql x_q.$$

При проверке на подъёмку при сходе с рельсов (с надетыми струнками) под $\sum P_i$ следует понимать нагрузки от обрессоренных и необрессоренных частей, а при подъёмке в депо или на заводе с отнятыми струнками в $\sum P_i$ не входит вес колёсных пар с буксами и тяговых двигателей, если последние остаются на рельсах.

Удар по автосцепке. Усилие при ударе по автосцепке принимается равным весу P_3 электровоза или деталей, передающих ударную нагрузку, увеличенную на ударный коэффициент κ (табл. 1).

Таблица 1

Расчётные ударные коэффициенты

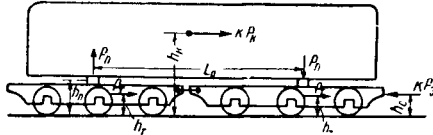
Серия электровоза	Вес электровоза P_3 т	Расчётное ударное усилие T_3 т	Ударный коэффициент κ
ВЛ19	114	180	1,58
ВЛ22	132	180	1,36
Н8	184	300	1,63

Ударное усилие $T_3 = P_3 \kappa$, приложенное к автосцепке на высоте $h_{цц}$, уравновешивается силами инерции $T_i = \kappa P_i$ отдельных частей электровоза (кузова, тележек и т. п.), приложенными в центре тяжести их h_i .

Эти силы вызывают внецентренное сжатие боковин, а также, создавая пары с момента-

ми $M_i = \kappa P_i (h_i - h_{cu})$, изгиб боковин и рамы кузова, перераспределение нагрузок опор и изменение реакции рессорного подвешивания.

Пример. Электровоз с осевой формулой 0-3+3-0, с одной закреплённой и одной скользящей опорой. Вес кузова P_k , тележек — P_T , высота центра тяжести их относительно рельса h_k , h_T , удар по автосцепке со стороны тележки со скользящей опорой (м. «Опоры кузова») создает усилие κP_3 на высоте h_{cu} (фиг. 10).



Фиг. 10. К расчёту рамы на удар по автосцепке

Изменение нагрузок пят при высоте их h_n и расстоянии между ними L_o

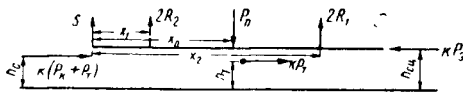
$$P_n = \frac{P_k (h_k - h_n)}{L_o}.$$

Усилие по брус сочленения

$$T_c = \kappa (P_k + P_T)$$

приложено на высоте сочленения h_c .

Схема сил, действующих на раму (обе боковины) тележки со скользящей пяттой, дана на фиг. 11.



Фиг. 11. Схема сил, действующих на раму тележки со скользящей пяттой при ударе по автосцепке

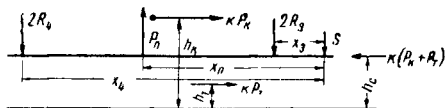
На этой схеме:

S — усилие в сочленении;
 R_1 и R_2 — изменение реакции рессорного подвешивания (на одной стороне рамы).

Уравнения равновесия:

$$1) S + 2R_1 + 2R_2 - P_n = 0;$$

$$2) P_n x_n - 2R_1 x_1 - 2R_2 x_2 - \kappa (P_k + P_T) (h_{cu} - h_c) - \kappa P_T (h_{cu} - h_T) = 0.$$



Фиг. 12. Схема сил, действующих на раму с закреплённой опорой при ударе по автосцепке

Схема сил, действующих на тележку (обе боковины) с закреплённой опорой, показана на фиг. 12.

Уравнения равновесия:

$$3) S + 2R_1 + 2R_2 - P_n = 0;$$

$$4) P_n x_n - 2R_1 x_1 - 2R_2 x_2 + \kappa R_k (h_k - h_c) - \kappa P_T (h_c - h_T) = 0.$$

Для определения неизвестных S , R_1 , R_2 , R_3 и R_4 служат уравнения 1) — 4), а также уравнения, связывающие соотношения между R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , в зависимости от системы рессорного подвешивания.

При статически неопределимом рессорном подвешивании зависимости между R_1 , R_2 , R_3 и R_4 устанавливаются по перемещению произвольной точки рамы, как при выкатке колёсных пар.

Определение напряжений в боковинах. Для построения эпюры моментов определяются:

а) моменты M_x для сечения на расстоянии x от левой опоры, от равномерно-распределённой нагрузки q по формуле

$$M_x = \frac{qx^2}{2};$$

б) моменты M_i для узла i от сил P_i и R_i по формуле

$$M_i = M_{i-1} + (\sum P_i, R_i) x_i,$$

где M_{i-1} — момент относительно узла $(i-1)$ всех сил P_i и R_i , находящихся влево от узла i ;
 x_i — расстояние между узлами $i-1$ и i .

Полученные моменты M_x и M_i для каждого узла суммируются.

Аналогично строится эпюра изгибающих моментов от дополнительной нагрузки пят кузова и перераспределения реакций рессорного подвешивания вследствие удара по автосцепке. По изгибающему моменту определяется напряжение изгиба в наиболее опасных сечениях по обычной формуле:

$$\sigma_{изг} = \frac{M}{W}.$$

Напряжения, полученные от номинальной нагрузки и от удара по автосцепке, складываются.

Добавочные напряжения в боковине от усилия при ударе T (внецентренное сжатие) определяются по формуле

$$\sigma_{сж} = \frac{T}{F} + \frac{Tc}{W},$$

где F и W — площадь и момент сопротивления сечения боковины;

c — эксцентриситет приложения силы T по отношению к нейтральной оси сечения.

Напряжения в боковинах электровозов ВЛ19, ВЛ22, ВЛ22^м приведены в табл. 2.

Расчёт рамных креплений

Упругий брус рассчитывается на изгиб от усилия при ударе по автосцепке $T_{упр} = \kappa P_3$:

$$\sigma_{изг} = \frac{T_{упр} y}{2W_y},$$

где y — расстояние рассматриваемого сечения до боковины;

W_y — момент сопротивления этого сечения.

Таблица 2

Напряжения в боковинах электровозов ВЛ19, ВЛ22, ВЛ22М

Расчётные режимы	Сечение	Напряжение в кг/см^2	
		ВЛ19	ВЛ22 и ВЛ22М
Номинальная нагрузка . . .	Буксовый вырез второй колёсной пары	570	500
Выкатка средней колёсной пары	То же	1 740	1 800
Подъёмка сошедшей с рельсов тележки	»	1 120	1 210
Ударное усилие по автосцепке в 180 т	Буксовый вырез первой колёсной пары	—1 830	—1 495

Брус сочленения рассчитывается на усилие, передающееся на сочленение T_c , по аналогичной формуле.

На среднее крепление могут действовать:

1) часть веса кузова, передающаяся непосредственно или через продольную шкворневую балку;

2) горизонтальная сила инерции от кузова κP_K ;

3) вес тяговых двигателей $\frac{P_M}{2}$;

4) реакция от работающего тягового двигателя (при опорно-осевой подвеске)

$$\frac{F_K D_K}{2L},$$

где F_K — сила тяги, развиваемая колёсной парой;

D_K — диаметр движущего колеса по кругу катания;

L — расстояние между опорами тягового двигателя (на колёсной паре и рамном креплении).

Напряжения изгиба определяются отдельно для моментов, действующих в вертикальной и горизонтальной плоскостях, и алгебраически суммируются.

В результате переноса вертикальных и горизонтальных сил в плоскости, проходящие через нейтральную ось сечения, возникают крутящие моменты.

Проверка вызываемых ими напряжений необходима при открытых сечениях средних креплений.

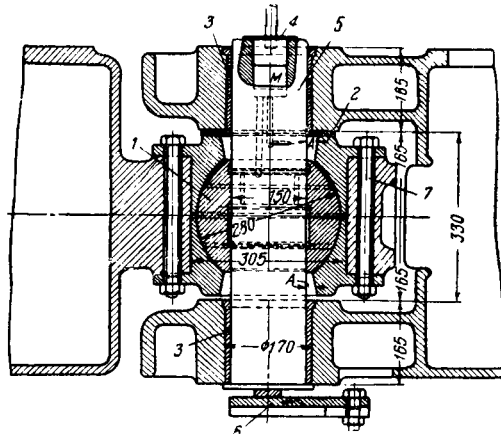
Напряжения в рамных креплениях у существующих электровозов (ВЛ19, ВЛ22 и ВЛ22М) не превышают 650 кг/см^2 .

МЕХАНИЗМ СОЧЛЕНЕНИЯ

Механизм сочленения электровозов ВЛ22М (фиг. 13) состоит из следующих частей:

шкворня 5 из стали марки Ст. 5 (ГОСТ 380—50) диаметром 150 мм (минимальный допустимый диаметр в эксплуатации — 145 мм), укрепляемого плитой 6 с накладкой;

шарового вкладыша 1 из литой стали (ГОСТ 977—53), двух гнёзд 2 из стального литья повышенного качества марки 25-ЛКП (ГОСТ 977—53), обхватывающих шаровый вкладыш сверху и снизу;



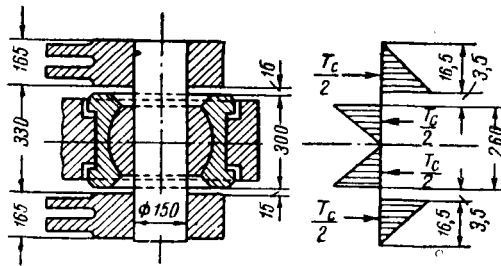
Фиг. 13. Механизм сочленения

втулки 3, находящейся между шкворнем и телом балки первой тележки (для смазки механизма предусмотрено специальное отверстие, закрываемое крышкой 4);

шести болтов 7 из Ст. 5 (ГОСТ 380—50), пропущенных через тело серьги и фланцы гнёзд.

Шкворень рассчитывается на усилия при ударе по автосцепке $T_c = \kappa (P_K + P_T)$, на силу тяги при многократной тяге и рассматривается как балка, лежащая на двух опорах с нагрузкой от шара и проушин, распределённой по закону треугольника.

Пример. Вес кузова электровоза ВЛ22М $P_K = 54,6 \text{ т}$, тележки $P_T = 38,7 \text{ т}$, диаметр шкворня $d = 15 \text{ см}$, ударный коэффициент $\kappa = 1,36$. Схема нагрузок показана на фиг. 14.



Фиг. 14. Эскиз распределения нагрузок на шкворень электровоза ВЛ22М

Напряжение изгиба при ударе

$$\sigma_{изг} = \frac{M}{W} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 1,36 (54,6 + 38,7) \times 1000 \left(\frac{16,5}{3} + 3,5 + \frac{26,0}{2,3} \right)}{0,0981 \cdot 15^3} = 2555 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение изгиба менее предела упругости Ст. 5, равного 2 800—3 000 кг/см².

При трёхкратной тяге усилие в сочленении третьего электровоза при $P_3 = 132 \text{ т}$ и коэффициенте сцепления $\psi_k = 0,35$

$$T_c = 2,5 \cdot 132 \cdot 0,35 \text{ т};$$

$$\sigma_{изг} = \frac{M}{W} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 132\,000 \cdot 2,5}{0,0981 \cdot 15^3} \times 0,35 \left(\frac{16,5}{3} + 3,5 + \frac{26,0}{2,3} \right) = 2\,326 \text{ кг/см}^2.$$

ПЯТЫ

Кузова тележечных электровозов опираются на тележки при помощи пят.

Для возможности вписывания в кривую одна из опор допускает поворот тележки и продольное скольжение (пята скользящего типа), другая — только поворот тележки (пята вращающегося типа).

прямоугольной формы, размером 500×575 мм, при внешнем диаметре пята 500 мм.

На фиг. 16 показаны опоры скользящего и вращающегося типов электровоза ВЛ19.

В первом случае вкладышем *I* служит литая коробка, закладываемая в основную литую пята.

Продольное перемещение опоры обеспечивается тем, что основная подпятниковая коробка имеет прямоугольную форму и длина её на 75 мм больше длины вкладыша *I* пята (фиг. 16, вкладыш *I*).

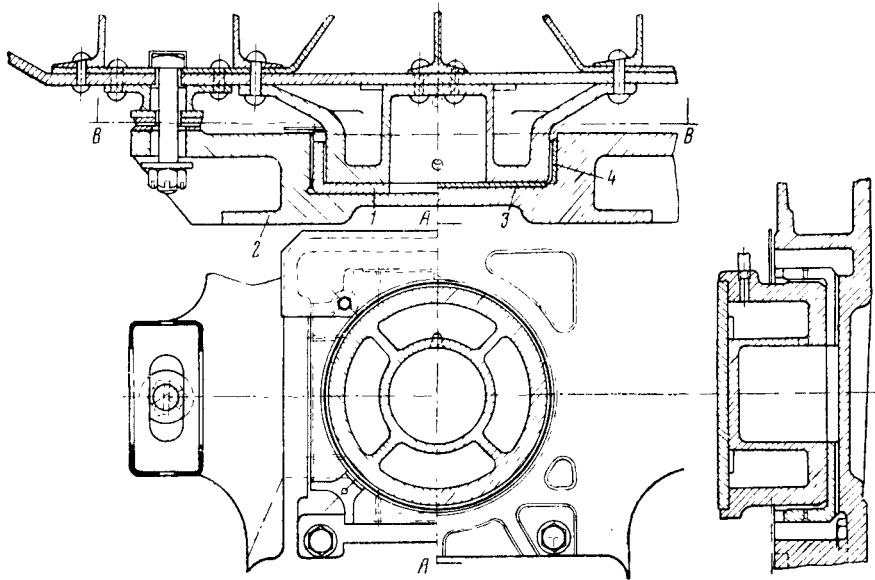
Длина вкладыша опоры вращающегося типа II равна 575 мм, т. е. длине подпятниковой коробки.

РЕССОРНОЕ ПОДВЕШИВАНИЕ

Рессорное подвешивание включает совокупность рессор, пружин и балансиров со связующими промежуточными деталями (подвесками, опорами, коромыслами и т. д.).

Рессорное подвешивание служит для того, чтобы:

1) смягчать удары, передаваемые на над-рессорное строение при прохождении колёс по неровностям пути или при неправильной форме колёсного бандажа;



Фиг. 15. Плоская пята электровоза ВЛ22М

На фиг. 15 изображена плоская пята электровоза серии ВЛ22М; слева показана опора скользящего типа, справа — вращающегося. У опоры скользящего типа вкладышем служит литая цилиндрическая коробка 1, закладываемая в корпус 2, у опоры вращающегося типа вертикальное усилие передаётся на стальной диск 3, боковые усилия — на кольцо 4.

В случае пята вращающегося типа гнездо в продольной шкворневой балке для пята кузова выполняется круглым, диаметром 470 мм; в случае пята скользящего типа —

2) распределять проектную нагрузку между колёсными парами и колёсами и поддерживать её при прохождении отдельными колёсами неровностей пути.

По ОСТ 6933 рессорой называется упругая деталь, собранная из отдельных полос, листов или колец, а пружиной — упругая деталь, изготовленная путём завивки.

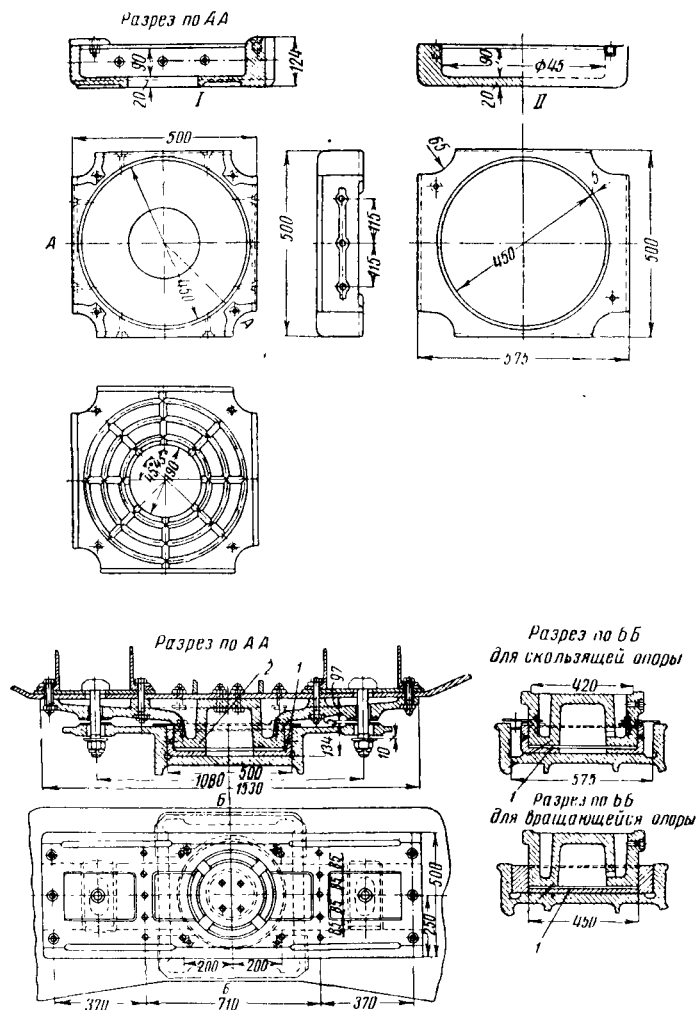
Рессоры локомотивов и вагонов изготавливаются из гладкой и желобчатой стали следующих размеров:

Гладкая сталь

Ширина, мм	76	76	76	76	89	89	102	102	114	114	120	130	130	150	150
Толщина, мм	7	8	10	13	10	13	10	13	7	10	12	10	12	10	12

Желобчатая сталь

Ширина, мм	63	63	76	76	76	76	89	89	89	100	110	120
Толщина, мм	10	13	7	10	11	13	9,5	10	13	13	13	12



Фиг. 16. Опоры кузова электровоза ВУ119

Технические условия на эту сталь — см. ГОСТ 1496—42.

Рессоры изготавливаются из стали марки 55С2 (ГОСТ В 2052—53).

Химический состав сталей принимается по ГОСТ В 2052—53.

Изготовленные рессоры подвергаются приёмке и испытаниям по ГОСТ 1425—53.

Величина прогиба рессоры f под статической нагрузкой определяется по формуле

$$f = \frac{6P \left(l - \frac{a}{6} \right)^3}{Ebh^3 (3i_k + 2i_c)} \text{ см,} \quad (4)$$

где P — статическая нагрузка в кг;

l — половина длины рессоры в выпрямленном состоянии в см;

a — ширина хомута в см;

$E = 2,05 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ (модуль упругости);

b — ширина листов в см;

h — толщина листа рессоры в см;

i_k — число коренных листов;

i_c — число ступенчатых листов.

Напряжение изгиба при одинаковой толщине коренных и ступенчатых листов рессоры определяется по формуле

$$\sigma = \frac{3Pl}{bh^2 (i_k + i_c)}, \quad (5)$$

а при различной толщине h_k — коренных и h_c — ступенчатых листов по формулам:

а) для коренных листов

$$\tau_k = \frac{3Pl\mu^3}{bh_k^2(i_k\mu^3 + i_{np})} \text{ см}; \quad (6)$$

б) для ступенчатых листов

$$\sigma_c = \frac{3Pl}{bh_c^2(i_k\mu^3 + i_{np})} \text{ см}, \quad (7)$$

где

$$\mu = \frac{h_k}{h_c};$$

$i_{np} = i_c + 1$ (приведённое число листов ступенчатой рессоры).

Кроме того, рессоры проверяют на динамическую нагрузку $P_{дин} = 1,4 P$.

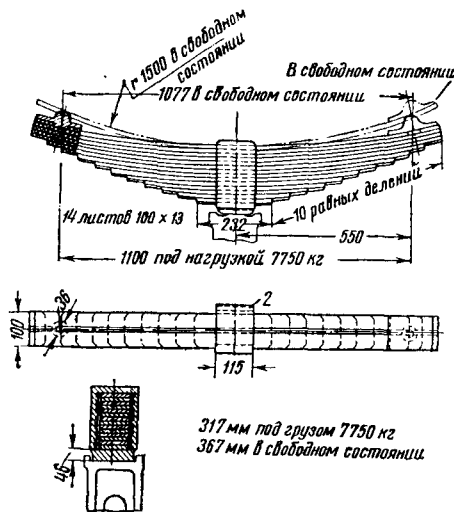
При расчёте на статическую нагрузку допускаемое напряжение на изгиб

$$[\sigma] = 6\,000 \div 7\,000 \text{ кг/см}^2,$$

а при учёте динамических добавочных нагрузок

$$[\sigma] = 8\,000 \div 9\,000 \text{ кг/см}^2.$$

На фиг. 17 показана листовая рессора электровоза ВЛ122^м со всеми данными, указываемыми на рабочем чертеже рессоры. Для



Фиг. 17. Листовая рессора электровоза ВЛ122^м

предотвращения продольного сдвига листов в них предусматривается простроганный паз глубиной 2—3 мм, в который входит хомут; с противоположной стороны устанавливается прокладка.

Обычно число коренных листов достигает 25% от общего расчётного количества листов. Самый короткий лист берётся равным двойной длине хомута; остальные ступенчатые листы постепенно уменьшаются по длине. Промежуток между самым коротким и самым длинным листом делится на равное число частей по числу листов.

Данные рессор электровозов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика рессор электровозов

Серия электро-воза	Число листов	Длина рессоры, мм	Ширина листов, мм	Толщина листов, мм	Жёст-кость рессор
ВЛ122 и ВЛ122 ^м	14	1 100	100	13	155
ВЛ119	12	1 000	100	13	166
ВЛ8	14	1 100	100	13	150

Сила трения в листах определяется по Е. Е. Нольтейну, по относительному коэффициенту трения

$$\mu = 2\varphi(n-1)\frac{h}{L},$$

где φ — коэффициент трения между листами, равный, в зависимости от смазки, 0,2—0,4;

n — число листов рессор;

h — толщина листа рессоры;

L — длина рессоры.

Рессоры характеризуются жёсткостью. Под жёсткостью $ж$ понимается груз в кг, вызывающий прогиб рессоры, равный 1 мм:

$$ж = \frac{P}{f},$$

где P — нагрузка рессор;

f — соответствующий прогиб.

Гибкость рессоры $г$ есть обратная величина жёсткости и обычно выражается в мм прогиба рессоры от действия на неё силы в 1 т. Для подсчёта гибкости рессоры $г$ по жёсткости её $ж$ можно пользоваться следующим равенством:

$$жг = 1\,000$$

(при ранее указанных размерностях $ж$ и $г$).

Пружины

Пружины изготавливаются из стали 55С2 (ГОСТ В 2052—53) круглого и прямоугольного сечения.

Технические условия на изготовление пружин, правила приёмки, методы испытания и маркировки даны в ГОСТ 1452—53.

Величина прогиба пружины определяется по формулам:

для круглого сечения

$$f = \frac{8D^3nP}{d^4G} \text{ мм};$$

для прямоугольного сечения

$$f = \frac{0,9\pi nD^3(b^2 + h^2)P}{b^3h^3G} \text{ мм},$$

где n — число рабочих витков, равное полному числу витков, за вычетом 1,5 витка;
 G — модуль скольжения, равный 8 000 кг/мм².

Расчёты пружины под рабочей нагрузкой производят по формулам:

для круглого сечения прутков диаметром d мм

$$P = \frac{\pi d^3 [\tau]}{8D},$$

и для прямоугольного сечения шириной b и высотой h в мм

$$P = \frac{0,44 b^2 h [\tau]}{D},$$

где D — средний диаметр пружины в мм.

Допускаемое напряжение при этом

$$[\tau] = 60 \div 55 \text{ кг/мм}^2.$$

При малом отношении $c = \frac{R}{r}$ вводится поправочный коэффициент κ , учитывающий влияние перерезывающей силы, изгиб стержня пружины и пр. (табл. 4).

Таблица 4

Значения коэффициента κ

$c = \frac{R}{r}$	3	4	5	6	7	10
κ	1,58	1,60	1,31	1,25	1,21	1,14

Жёсткость пружины

$$ж = \frac{P_{cm}}{f_{cm}} \text{ кг/мм.}$$

В случае двухрядных цилиндрических пружин радиусы витков r_1 и r_2 и поперечное сечение прутков должны быть подобраны так, чтобы напряжение у всех пружин было одинаковым.

При общей нагрузке на двухрядную пружину P , при круглом сечении прутков (диаметры d_1 и d_2) нагрузка P_1 , приходящаяся на наружную пружину (r_1, d_1), будет

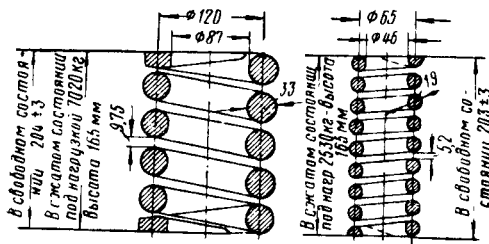
$$P_1 = \frac{P d_1^3 r_2}{d_1^3 r_2 + d_2^3 r_1}$$

и на внутреннюю пружину (r_2, d_2)

$$P_2 = \frac{P d_2^3 r_1}{d_1^3 r_2 + d_2^3 r_1}.$$

Характеристика пружин электровозов ВЛ22М и Н8 приведена в табл. 5.

На фиг. 18 показаны пружины рессорного подвешивания электровоза ВЛ22М и Н8.



Фиг. 18. Пружины рессорного подвешивания электровоза ВЛ22М и Н8

Таблица 5

Основные данные пружин электровозов ВЛ22М и Н8

Диаметр круглой стали, мм	Количество активных витков	Жёсткость, кг/мм	Статическая нагрузка, кг	Статический прогиб, мм	Высота в свободном состоянии, мм	Высота под нагрузкой, мм
33	4	180	2 875	16	204 ± 3	165 при нагрузке 7 000 кг
19	7,5	62	1 000	16	203 ± 3	165 при нагрузке 2 530 кг

Детали рессорного подвешивания

Рессорные стойки. Рессорные стойки изготавливаются из стали 25-ЛК1 (ГОСТ 977—53).

На фиг. 19 показана рессорная стойка П-образной формы электровоза ВЛ22М, служащая для передачи давления рессоры на боксу.

Рессорные подвески. На фиг. 20 показана концевая рессорная подвеска электровоза ВЛ22М, состоящая из верхней подвески 1 с ножевыми накладками 5, нижней подвески 2 и верхнего 3 и нижнего 4 пружинного гнезда.

Рессорные подвески стальные, кованые из Ст. 4 (ГОСТ 380—50); пружинные гнезда из стального литья; ножевые накладки, втулки и валики из Ст. 2 цементированные или из Ст. 5 калёные.

На фиг. 21 показано рессорное подвешивание на призмах.

Балансир. На фиг. 22 показаны балансиры электровоза ВЛ22М, кованный из Ст. 5, и балансирующая скоба.

На электровозах ВЛ19 вместо балансиров применены обратные рессоры.

Расчёты деталей рессорного подвешивания на прочность. Рессорные стойки рассчитываются, как П-образная рама с жёсткими узлами и шарнирно закреплёнными концами и равномерно распределённой нагрузкой

$$q = \frac{P}{l},$$

где l — длина горизонтального стержня;

P — нагрузка, передаваемая рессорой.

Напряжение изгиба горизонтального стержня с моментом сопротивления W_1

$$\sigma_{изг} = \frac{2\kappa + 1}{2\kappa + 3} \cdot \frac{q l^2}{8W_1}$$

и вертикальных стержней с моментом сопротивления W_2

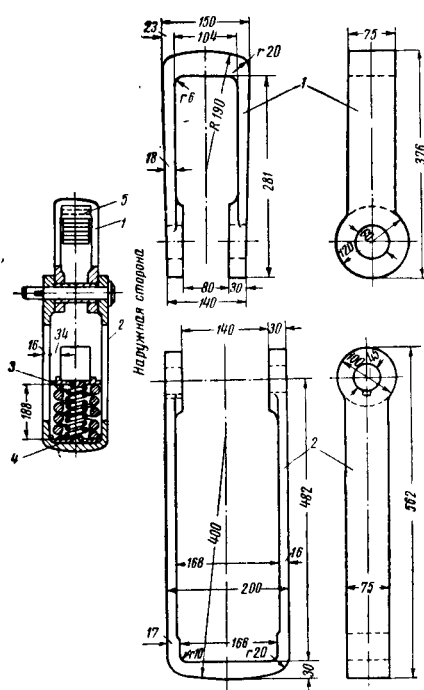
$$\sigma_{изг} = \frac{q l^2}{4(2\kappa + 3)} \cdot \frac{1}{W_2},$$

где κ — приведённый коэффициент:

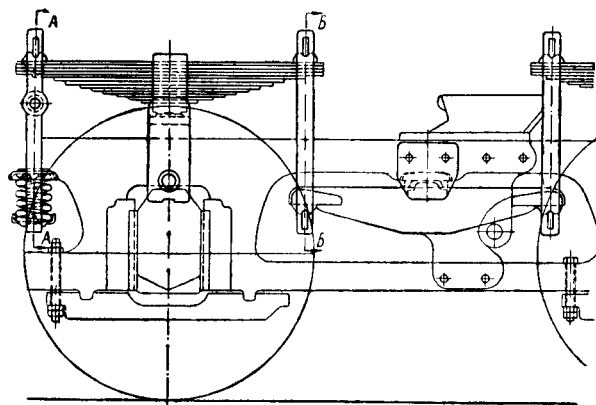
$$\kappa = \frac{I_1 H}{I_2 l};$$

I_1 — момент инерции сечения горизонтального стержня;

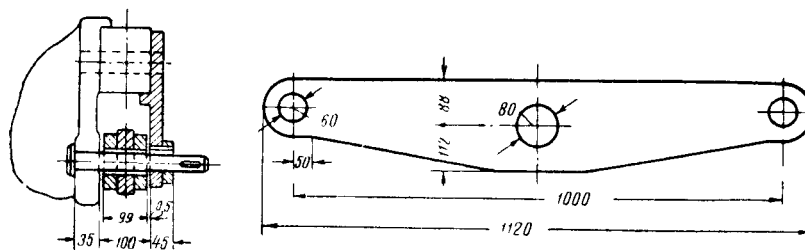
I_2 и H — момент инерции сечения и высота вертикального стержня.



Фиг. 20. Концевая рессорная подвеска
электровоза ВЛ22М



Фиг. 21. Рессорное подвешивание на призмах



Фиг. 22. Балансир электровоза ВЛ22М

Дополнительное напряжение сжатия вертикальных стержней площадью сечения каждого F

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{2F}.$$

Общее напряжение в вертикальном стержне

$$\sigma = \sigma_{изг} + \sigma_{сж}.$$

Напряжения в рессорных стойках, рассчитанные по указанному методу, не превышают: а) в горизонтальном стержне — 700 кг/см^2 и б) в стойках — 300 кг/см^2 .

Рессорные подвески, одинарные или парные независимые, рассчитываются на растяжение силой $\frac{P}{2}$; напряжения растяжения

$$\sigma = \frac{P}{2F},$$

где F — площадь сечения одинарной или общая площадь парных подвесок.

Парные подвески, связанные жёстко в трёхстороннюю рамку (см. фиг. 20), рассчитываются по формулам, приведённым для П-образной стойки, с изменением знака нагрузки горизонтального стержня.

Проушины для валиков проверяются по формуле

$$\sigma \leq q \frac{R^2 + r^2}{K^2 - r^2},$$

где q — равномерно распределённая по диаметру проушины нагрузка;

R и r — наружный и внутренний диаметры проушины.

Балансир проверяется на изгиб. Если по концам балансира приложены усилия P_1 и P_2 , то усилие, приходящееся на валик или нож балансира,

$$P = P_1 + P_2.$$

Изгибающий момент на расстоянии x от конца $M_x = P_1 x$ или $P_2 x$. Для опасных сечений проверяется напряжение изгиба:

$$\sigma_{изг} = \frac{M_x}{W_x},$$

где W_x — момент сопротивления в рассматриваемом сечении.

Валики подвески или балансира рассчитываются на изгиб по формуле

$$\sigma_{изг} = \frac{P_6}{2W_6} \left(\frac{l}{2} - \frac{b}{4} \right),$$

где P_6 — нагрузка, приходящаяся на валик;

l — расстояние между серединами опорных поверхностей валика;

b — длина загруженной части валика;

W_6 — момент сопротивления валика.

По той же формуле рассчитываются ножи рессорного подвешивания. Допускаемые напряжения при расчёте на статическую нагрузку: а) рессорных подвесок — на разрыв $300\text{--}400 \text{ кг/см}^2$, на изгиб $600\text{--}700 \text{ кг/см}^2$; б) балансиров и валиков на изгиб $800\text{--}1000 \text{ кг/см}^2$.

Контактное напряжение по поверхности прилегания ножа и призмы проверяется по формуле Герца-Беляева:

$$\sigma_{сж} = \sqrt{0,175 \frac{RE}{b} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)},$$

где R — нагрузка на нож в кг;

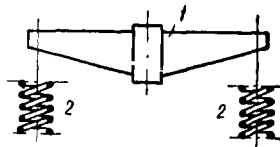
b — длина ножа (рабочая) в см;

r_1 и r_2 — радиус выкружки призмы и ножа в см.

Допускаемая величина $[\sigma_{сж}] = 12\,000 \div 15\,000 \text{ кг/см}^2$.

Типы рессорного подвешивания

На электровозах всех серий применяется комбинированное подвешивание листовых рессор 1 совместно с витыми пружинами 2 (фиг. 23).



Фиг. 23. Комбинированное рессорное подвешивание

В этом случае имеет место параллельное соединение пружин и последовательное соединение двух последовательно работающих групп рессор: 1) листовой и 2) двух пружин.

При параллельной работе нескольких рессор общая жёсткость их \mathcal{K}_c равна сумме жёсткости отдельных рессор, т. е.

$$\mathcal{K}_c = \mathcal{K}_1 + \mathcal{K}_2 + \mathcal{K}_3;$$

при последовательном соединении нескольких рессор или групп рессор общая гибкость ε_c подвешивания равна сумме гибкостей последовательно работающих рессор или групп рессор, т. е.

$$\varepsilon_c = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3.$$

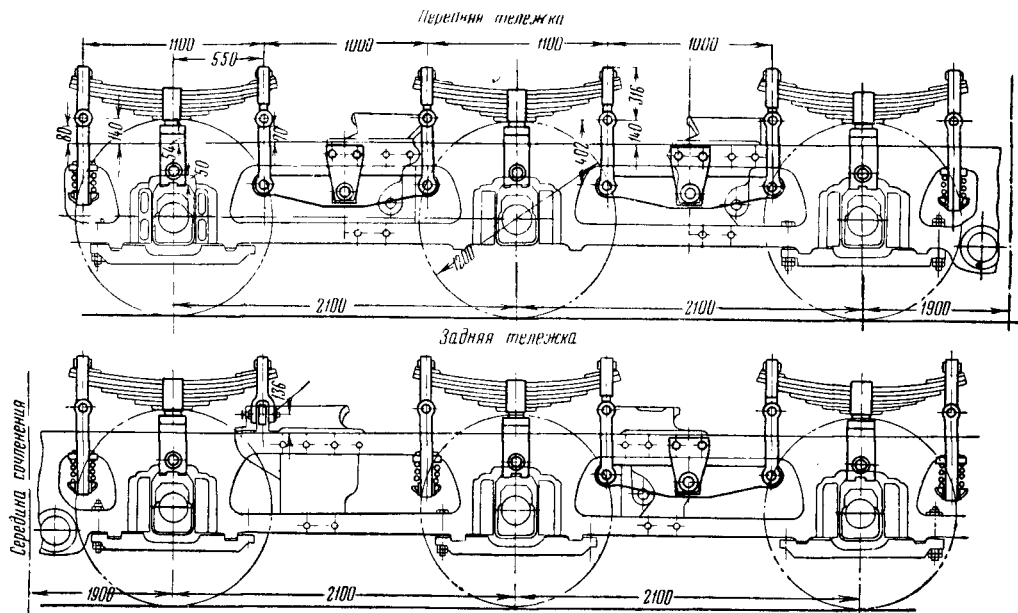
Для выравнивания нагрузок между колёсными парами, при прохождении колёсами неровностей пути отдельные рессоры сбалансированы (связаны балансирами) в самостоятельные группы, представляющие собой в отношении распределения нагрузок каждую одну точку подвешивания.

У электровозов Сс, ВЛ22 и ВЛ22м принято рессорное подвешивание передней тележки в двух точках, т. е. все рессоры на каждой стороне сбалансированы между собой, а задней тележки — в трёх точках, а именно рессоры двух крайних колёсных пар сбалансированы между собой с каждой стороны, а рессоры колёсной пары, расположенной около сочленения, связаны поперечным балансиrom.

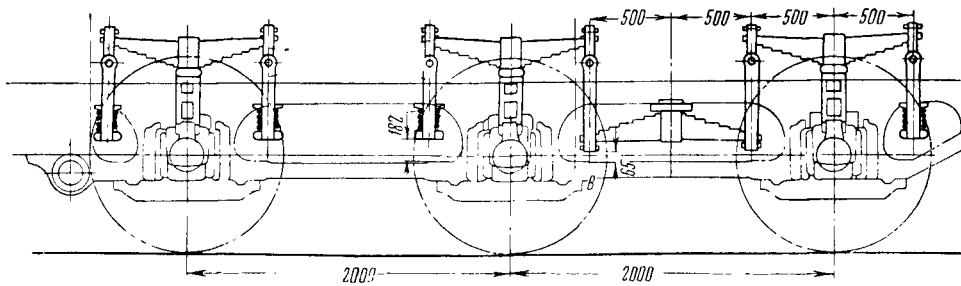
Передняя тележка с двумя точками подвешивания сама по себе неустойчива и поддерживается задней тележкой.

Конструктивное оформление рессорного подвешивания показано на фиг. 24.

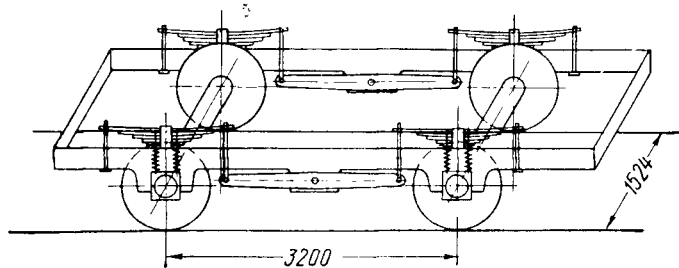
У электровоза ВЛ19 применено симметричное рессорное подвешивание (фиг. 25), у каждой тележки рессоры крайних двух колёсных пар связаны между собой продольными балансирами в виде обратных рессор, а рессоры колёсных пар, расположенных у сочленения тележек, свободны. Таким образом, каждая тележка подвешена в четырёх точках.



Фиг. 24. Рессорное подвешивание электровозов Сс, ВЛ122 и ВЛ122М



Фиг. 25. Рессорное подвешивание электровозов ВЛ119



Фиг. 26. Рессорное подвешивание электровоза 118

У электровоза Н8 рессоры колёсных пар связаны балансирами (фиг. 26) и кузов опирается на каждую двухосную тележку в двух точках: на центральной опоре среднего рамного крепления и дополнительной опоре.

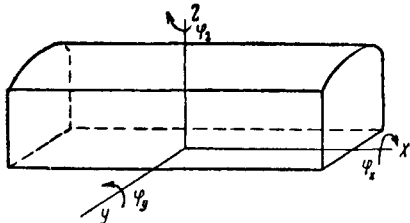
Для определения \mathcal{K}_c жёсткости эквивалентной рессоры, заменяющей систему сбалансированных рессор, пользуются уравнением равенства работ. Если P — суммарная нагрузка всех сбалансированных в одну группу листовых рессор n жёсткостью \mathcal{K}_1 и в группу по концам входят пружины жёсткостью \mathcal{K}_2 с нагрузкой каждая $\frac{P}{2n}$, то уравнение равенства работ действительных и эквивалентной рессоры будет:

$$\frac{1}{2} P \frac{P}{\mathcal{K}_c} = \frac{1}{2} \left(2 \frac{P}{2n} \cdot \frac{P}{2n\mathcal{K}_2} + n \frac{P}{n} \cdot \frac{P}{n\mathcal{K}_1} \right),$$

откуда определяется \mathcal{K}_c .

КОЛЕБАНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

В неподвижной системе координатных осей (пути) принимается за ось x -ов направление оси прямолинейного железнодорожного пути, по которому перемещается электровоз; перпендикулярно к ней располагаются в горизонтальном направлении ось y -ов и в вертикальном направлении ось z -ов. При этом относительные координаты x , y , z и углы поворотов относительно тех же осей φ_x , φ_y и φ_z экипажа в любой момент будут определять его положение по отношению к геометрически правильному горизонтальному пути.



Фиг. 27. Схема колебаний электровозов

Перемещения по шести направлениям и определяют возможные шесть видов колебаний электровоза (фиг. 27), а именно:

- 1) подёргивание — колебание по направлению оси x ;
- 2) относ (поперечный) по направлению оси y ;
- 3) виляние — колебание вокруг оси z (колебание φ_z);
- 4) подпрыгивание по направлению оси z ;
- 5) поперечная качка вокруг оси x (колебание φ_x);
- 6) галомирование, или продольная качка, вокруг оси y (колебание φ_y).

В первых трёх видах колебаний участвуют и поддресоренные и неподдресоренные части; в последних трёх колебаниях участвует только наддресорное строение электровоза, при условии, что движение происходит по геометрически правильному прямому пути.

Шесть видов колебаний можно разбить на две группы функционально зависимых колебаний:

1) первая группа — колебания x , z и φ_y , т. е. колебания подёргивания, подпрыгивания и галоирования;

2) вторая группа — колебания y , φ_z и φ_x , т. е. колебания отбоя, виляния и поперечная качка.

Неровности железнодорожного пути в вертикальной плоскости вызывают обычно одновременно и галоирование и подпрыгивание; однако эти оба колебания могут протекать независимо одно от другого. Это зависит от относительного расположения центра тяжести наддресорного строения и так называемого центра продольного колебания, около которого происходит свободное колебание в продольной вертикальной плоскости.

Положение центра продольного колебания определяется по формуле

$$\xi_0 = \frac{\sum \mathcal{K}_i \xi_i}{\sum \mathcal{K}_i},$$

где \mathcal{K}_i — жёсткость отдельных рессор или жёсткости эквивалентных рессор, заменяющих группы сбалансированных рессор или группы рессор бегунковых тележек;

ξ_i — расстояние тех же рессор до некоторой произвольно выбранной точки;

ξ_0 — расстояние центра колебаний до той же произвольной точки.

Если жёсткость рессор выбрана пропорционально их статическим нагрузкам, то центр продольного колебания по длине электровоза (но не по высоте) будет совпадать с центром тяжести.

При совпадении по длине электровоза центра колебаний с центром тяжести оба колебания — галоирование и подпрыгивание — совершаются независимо с частотами κ_1 и κ_2 :

$$z = A_1 \sin(\kappa_1 t + \beta_1)$$

и

$$\varphi_y = B_1 \sin(\kappa_2 t + \beta_2),$$

где β_1 и β_2 — начальные фазы колебаний, которые определяются начальными условиями.

Круговые частоты колебаний определяются по формуле

$$\kappa_1 = \sqrt{\frac{\sum 2\mathcal{K}_i}{M}}$$

и

$$\kappa_2 = \sqrt{\frac{\sum 2\mathcal{K}_i a_i^2}{I_{yo} + M h_1^2}},$$

где M — масса подвешенных на рессорах частей электровоза;

I_{yo} — момент инерции наддресорного строения относительно оси, проходящей через центр тяжести;

a_i — расстояние отдельных или эквивалентных рессор до центра колебаний (знак перед a_i берётся отрицательный, если рессоры располагаются позади центра колебаний);

\mathcal{K}_i — жёсткость отдельных рессор;

h_1 — превышение центра тяжести наддресорного строения над центром колебаний.

Период свободных колебаний подпрыгивания

$$T_z = 2\pi \sqrt{\frac{M}{\Sigma \mathcal{H}_i}}$$

и период колебания галопирования

$$T_{\varphi y} = 2\pi \sqrt{\frac{I_{yo} + Mh_1^2}{\Sigma \mathcal{H}_i a_i^2 - Mgh_1}},$$

где g — ускорение силы тяжести.

Чередующиеся неровности пути, например рельсовые стыки, передаются на наддресорное строение, как возмущающие силы, и могут вызвать вынужденные колебания наддресорного строения и значительное нарастание амплитуд при совпадении периода свободных колебаний с периодом возмущающей силы.

Поперечные колебания происходят вокруг оси, расположенной на высоте геометрических осей колёсных пар. Период их колебаний

$$T_{\varphi x} = 2\pi \sqrt{\frac{I_{xo} + MH^2}{\Sigma \mathcal{H}_i b_i^2 - MgH}},$$

где

I_{xo} — момент инерции наддресорного строения относительно продольной оси, проходящей через центр тяжести;

$I_x = I_{xo} + MH^2$ — момент инерции наддресорного строения относительно продольной оси, проходящей в плоскости геометрических осей колёсных пар;

b_i — расстояние рессоры до продольной оси электровоза.

Остальные обозначения сохраняются прежние.

В выражение $\Sigma \mathcal{H}_i b_i^2$ не входят рессоры, которые не могут создавать восстанавливающий момента при поперечном наклоне наддресорного строения (сбалансированные поперёк рессоры или рессоры бегунковых тележек, имеющих шаровые опоры).

Чередование обратных кривых с возвышением то правого, то левого рельсов вызывает появление возмущающей силы в отношении развития поперечных колебаний. Поперечная качка наддресорного строения возникает также одновременно с влиянием электровоза. Влияние заключается в том, что концы электровоза прижимаются попеременно то к правой, то к левой рельсовым нитям, причём когда передний конец перемещается к правому рельсу, задний конец перемещается к левому.

Одновременно с влиянием происходит и относ., т. е. поступательное перемещение всего электровоза в поперечном направлении то к одной рельсовой нити, то к другой. Поэтому в действительности колебание электровоза в прямых может быть представлено, как суммарное, состоящее из влияния и отнosa.

Основной причиной влияния электровозов является конусность бандажей.

В электровозах с бегунковыми тележками и в тележечных (сочленённых) электровозах, имеющих большое число возможных свободных перемещений, колебания приобретают более сложный характер.

При влиянии сочленённых тележек происходит вращение их около сочленения в противоположных направлениях и одновременное поступательное перемещение обеих тележек поперёк пути от одного рельса к другому.

Для влияния характерна постоянная, не зависящая от скорости движения длина волны L ; чем больше база электровоза, тем больше длина волны при тех же прочих равных условиях (число колёсных пар, вес электровоза и др.).

Длина волны влияния для тележечного электровоза сочленённого и несочленённого

$$L = 2\pi \sqrt{\frac{rs}{i}} \cdot \sqrt{1 + \frac{\Sigma a_i^2}{s^2 n} - \left(\frac{\Sigma a_i}{sn}\right)^2}$$

где r — радиус колёс по кругу катания;

$2s$ — расстояние между кругами катания;

i — наклон образующей конуса бандажа;

n — число колёсных пар тележки;

a_i — расстояние колёсных пар до шкворня тележки.

Период колебания влияния $T_{\varphi z}$ зависит от скорости движения v и равен

$$T_{\varphi z} = \frac{L}{v}.$$

Влияние электровоза становится особенно сильным и может оказаться опасным в отношении схода с рельсов или расшивки пути в том случае, если период собственных поперечных колебаний наддресорного строения приближается к $T_{\varphi z}$ — периоду колебания влияния.

Пример. Определить критическую скорость электровоза, момент инерции наддресорного строения относительно продольной оси которого $I_x = 27\,000 \text{ кг/м/сек}^2$, суммарная жесткость не сбалансированных поперёк рессор $\Sigma \mathcal{H} = 340 \text{ кг/мм} = 340\,000 \text{ кг/м}$, расстояние рессор до средней продольной плоскости $b = 1 \text{ м}$, высота центра тяжести над плоскостью геометрических осей колёсных пар $H = 0,8 \text{ м}$ и длина волны при влиянии $L = 45 \text{ м}$, вес наддресорного строения 100 т .

Период собственных поперечных колебаний

$$T_{\varphi x} = 2\pi \sqrt{\frac{I_x}{2\Sigma \mathcal{H}_i b_i^2 - MgH}} = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{27\,000}{2 \cdot 340\,000 \cdot 1 - 100\,000 \cdot 0,8}} = 1,33 \text{ сек.}$$

Критическая скорость $v_{кр}$ при $T_{\varphi x} = T_{\varphi z}$ определяется из отношения

$$\frac{L}{v_{кр}} = \frac{45}{v_{кр}} = 1,66,$$

откуда

$$v_{кр} = \frac{45}{1,33} = 33 \text{ м/сек} = 122 \text{ км/час.}$$

КОЛЁСНЫЕ ПАРЫ

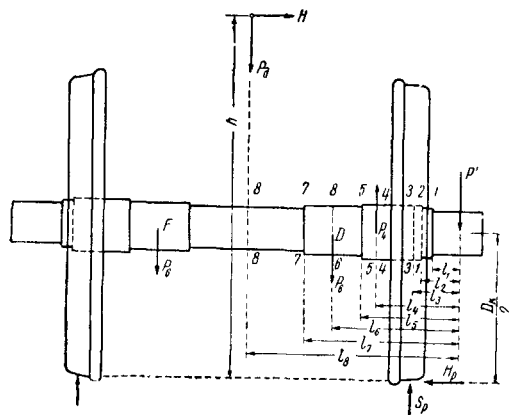
Колёсные пары различаются движущие и бегунковые. Колёсные пары собираются (формируются) из оси, колёсных центров и бандажей.

Общий вид колёсной пары электровоза ВЛ19 показан на фиг. 28, а электровоза ВЛ22^м — на фиг. 29.

силы от наддресорного строения, не уравновешенной возвышением наружного рельса, и силы давления ветра на наддресорное строение. Эту силу принимают равной 40% от обдресоренного веса, т. е.

$$H_{обр} = 0,4 P_{обр},$$

где $P_{обр}$ — полный обдресоренный вес электроваза.



Фиг. 31. К расчёту оси колёсной пары

Если рессоры некоторых колёсных пар связаны поперечным балансиrom и не воспринимают на себя опрокидывающего момента силы $H_{обр}$, то горизонтальная сила, приходящаяся на одну колёсную пару и вызывающая перераспределение нагрузок между шейками, будет равна

$$H = \frac{H_{обр}}{n'},$$

где n' — число колёсных пар, воспринимающих опрокидывающий момент.

Нагрузка P' на шейку наружного колеса от действия сил P_d и H (фиг. 31) будет

$$P' = \frac{P_d}{2} + \frac{H \left(h - \frac{D_k}{2} \right)}{2b},$$

где $2b$ — расстояние между серединами шеек колёсной пары;

h — высота центра тяжести над головкой рельса.

3) Усилия, передаваемые от тягового двигателя на моторно-осевые подшипники:

а) сил реакции при опорно-осевой подвеске тягового двигателя;

б) половины веса тягового двигателя P_M .

На каждый моторно-осевой подшипник в точках D и F (см. фиг. 31) будет действовать сила

$$P_6 = \frac{F_k D_k}{4R} \cdot \frac{L - R}{L} + \frac{P_M}{4},$$

где F_k — сила тяги одной колёсной пары (см. п. 7);

R — радиус начальной окружности большого зубчатого колеса;

L — база подвески двигателя;

D_k — диаметр движущего колеса.

4) Усилий, передаваемых на ось от больших зубчатых колёс, направленных вверх и равных

$$P_4 = -\frac{1}{2} \cdot \frac{F_k D_k}{2R}.$$

(Знак минус указывает, что эта сила направлена вверх при движении оси впереди своего тягового двигателя.)

5) Горизонтальной реакции наружного рельса H_p , определяемой из условия равновесия сил в кривых; она может быть принята равной максимально допустимой по условию схода с рельсов, т. е. статической вертикальной нагрузке колеса на рельс $H_p = H$. (Более точное определение $H_p = Y$ — см. раздел «Определение направляющих усилий и боковых давлений в кривых».)

6) Вертикальной реакции наружного рельса S_p от сил P_d , P_6 , F_4 и H :

$$S_p = \frac{P_d}{2} + P_6 - P_4 + \frac{Hh}{2s} + \frac{(H_p - H) \frac{D_k}{2}}{2s},$$

где $2s = 1,6$ м — расстояние между опорными точками колёс на рельсах;

$H_p - H$ — горизонтальное усилие, передаваемое через буксы от рамы.

7) Горизонтальной (продольной) силы от развиваемой колесом силы тяги:

$$T_k = P \psi_k;$$

поскольку расчёт ведётся при большой скорости, коэффициент сцепления принимается $\psi_k = 0,18 \div 0,20$.

Соответствующая реакция рамы электроваза на ось F'_k принимается приложенной в середине шейки.

Суммарные изгибающие моменты в вертикальной и горизонтальной плоскостях определяются геометрическим суммированием их:

$$M_i = \sqrt{(M_i^e)^2 + (M_i^{op})^2}.$$

Напряжения оси, вызываемые действием моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях, обязательно проверяются в сечениях 1—8 (см. фиг. 31).

Ось подвергается действию крутящего момента, соответствующего максимальной силе тяги по сцеплению, развиваемой одним колесом, т. е.

$$M_{кр} = -\frac{P \psi_k D_k}{2}.$$

Совокупное действие изгибающих и крутящих моментов определяется по теории прочности наибольших касательных напряжений:

$$M_p = \sqrt{M_i^2 + M_{кр}^2}.$$

При этом методе расчёта допускаемые напряжения на изгиб

$$[\sigma] = 1100 \div 1200 \text{ кг/см}^2.$$

Пример. Расчёт оси колёсной пары электро-
воза ВЛ22^М.

Расчётные данные

Статическое давление колёсной пары на рельс

$$2P = 22 \text{ т.}$$

Подрессоренная нагрузка на ось

$$P = 16,25 \text{ т.}$$

Расчётная сила тяги одной колёсной пары

$$F_K = P \psi_K = 22 \cdot 0,20 = 4,4 \text{ т}^*.$$

Вес тягового двигателя

$$P_M = 5,2 \text{ т.}$$

Диаметр движущих колёс

$$D_K = 1,2 \text{ м.}$$

База подвески двигателя

$$L = 1,13 \text{ м.}$$

Радиус начальной окружности большого зубчатого
колеса

$$R = 0,445 \text{ м.}$$

Высота равнодействующей от неуравновешенной
части центробежной силы надрессорного строения
и давления ветра над головкой рельса

$$h = 2,0 \text{ м.}$$

Расстояние между серединами шеек колёсной
пары

$$2b = 2,15 \text{ м.}$$

* Этот случай соответствует езде с повышенной
скоростью.

Составим таблицы (7, 8 и 9) основных расчётных
данных.

Таблица 7

Расчётные усилия

Название силы	Обозначение	Место приложения	Определение величины
Динамическая нагрузка	P_D	Центр тяжести надрессорного строения	$P_D = 1,4 \cdot P = 1,4 \cdot 16,25 = 22,75 \text{ т}$
Горизонтальная сила центробежная и ветра	H	То же	$H = 0,4 P = 0,4 \cdot 16,25 = 6,5 \text{ т}$
Нагрузка на наружную шейку	P'	Середина шейки	$P' = \frac{P_D}{2} + \frac{H \left(h - \frac{D_K}{2} \right)}{2b} = \frac{22,75}{2} + \frac{6,5 (2,0 - 0,6)}{2,15} = 15,61 \text{ т}$
Усилие на моторно-осевых подшипниках	P_*	Середина моторно-осевого подшипника	$P_* = \frac{F_K D_K}{4R} \cdot \frac{L - R}{L} + \frac{P_M}{4} = \frac{4,4 \cdot 1,2}{4 \cdot 0,445} \cdot \frac{1,13 - 0,445}{1,13} + \frac{5,2}{4} = 3,1 \text{ т}$
Усилие от большого зубчатого колеса	P_1	Середина места запрессовки зубчатого колеса	$P_1 = -\frac{1}{2} \cdot \frac{F_K D_K}{2R} = -\frac{1}{2} \times \frac{4,4 \cdot 1,2}{2 \cdot 0,445} = -2,97 \text{ т}$
Вертикальная реакция наружного рельса	S_p	На середине головки рельса	$S_p = \frac{P_D}{2} + P_* - P_1 + \frac{Hh}{2s} + \frac{(H_p - H) \frac{D_K}{2}}{2s} = \frac{22,75}{2} + 3,1 - 2,97 + \frac{6,5 \cdot 2,0}{1,6} + \frac{(11 - 6,5) 0,6}{1,6} = 21,71 \text{ т}$
Горизонтальная реакция наружного колеса	H_p	Головка рельса в поперечном направлении	$H_p = P = 1,1 \text{ т}$
От силы тяги, развиваемой колесом	T_K	Середина шейки в горизонтальном направлении	$T_K = P \psi_K = 11 \cdot 0,2 = 2,2 \text{ т}$
Крутящий момент	M_{KP}	—	$M_{KP} = P \psi_K \frac{D_K}{2} = \frac{11 \cdot 0,2 \cdot 1,2}{2} = 1,32$

Таблица 8

Расчёт изгибающих моментов оси

№ сечения	Силы, действующие на рассматриваемое сечение, в т	Расстояние от точки приложения сил до рассматриваемого сечения, м	Изгибающие моменты, тм
Моменты в вертикальной плоскости			
1-1	$P' = 15,61$	$l_1 = 0,15$	$M_1^g = P' l_1 = 15,61 \cdot 0,15 = 2,341$
2-2	$P' = 15,61$	$l_2 = 0,195$	$M_2^g = P' l_2 = 15,61 \cdot 0,195 = 3,044$
3-3	$P' = 15,61$ $H_p = 11,0$	$l_3 = 0,285$ $\frac{D_K}{2} = 0,6$	$M_3^g = P' l_3 + H_p \frac{D_K}{2} = 15,61 \cdot 0,285 + 11,0 \cdot 0,6 = 11,049$
4-4	$P' = 15,61$ $H_p = 11,0$	$l_4 = 0,435$ $\frac{D_K}{2} = 0,6$	$M_4^g = P' l_4 + H_p \frac{D_K}{2} - S_p (l_4 - l_3) = 15,61 \cdot 0,435 + 11,0 \times 0,6 - 21,71 \cdot 0,150 = 10,134$
5-5	$P' = 15,61$ $H_p = 11,0$ $S_p = 21,71$ $P_4 = 2,97$	$l_5 = 0,485$ $\frac{D_K}{2} = 0,6$ $l_5 - l_3 = 0,435 - 0,285 = 0,150$ $l_5 - l_4 = 0,485 - 0,435 = 0,05$	$M_5^g = P' l_5 + H_p \frac{D_K}{2} - S_p (l_5 - l_3) - P_4 (l_5 - l_4) = 15,61 \times 0,485 + 11,0 \cdot 0,6 - 21,71 \cdot 0,2 - 2,97 \cdot 0,05 = 9,681$
6-6	$P' = 15,61$ $H_p = 11,0$ $S_p = 21,71$ $P_4 = 2,97$	$l_6 = 0,635$ $\frac{D_K}{2} = 0,6$ $l_6 - l_3 = 0,635 - 0,285 = 0,35$ $l_6 - l_4 = 0,635 - 0,435 = 0,2$	$M_6^g = P' l_6 + H_p \frac{D_K}{2} - S_p (l_6 - l_3) - P_4 (l_6 - l_4) = 15,61 \times 0,635 + 11,0 \cdot 0,6 - 21,71 \cdot 0,35 - 2,97 \cdot 0,2 = 8,320$
7-7	$P' = 15,61$ $H_p = 11,0$ $S_p = 21,71$ $P_4 = 2,97$ $P_6 = 3,1$ $P' = 15,61$ $H_p = 11,0$	$l_7 = 0,8$ $\frac{D_K}{2} = 0,6$ $l_7 - l_3 = 0,8 - 0,285 = 0,515$ $l_7 - l_4 = 0,8 - 0,435 = 0,365$ $l_7 - l_6 = 0,8 - 0,635 = 0,165$ $l_8 = 1,075$ $\frac{D_K}{2} = 0,6$	$M_7^g = P' l_7 + H_p \frac{D_K}{2} - S_p (l_7 - l_3) - P_4 (l_7 - l_4) + P_6 (l_7 - l_6) = 15,61 \cdot 0,8 + 11,0 \cdot 0,6 - 21,71 \cdot 0,515 - 2,97 \cdot 0,365 + 3,1 \cdot 0,165 = 7,335$
8-8	$S_p = 21,71$ $P_4 = 2,97$ $P_6 = 3,1$	$l_8 - l_3 = 1,075 - 0,285 = 0,79$ $l_8 - l_4 = 1,075 - 0,435 = 0,64$ $l_8 - l_6 = 1,075 - 0,635 = 0,44$	$M_8^g = P' l_8 + H_p \frac{D_K}{2} - S_p (l_8 - l_3) - P_4 (l_8 - l_4) + P_6 (l_8 - l_6) = 15,61 \cdot 1,075 + 11,0 \cdot 0,6 - 21,71 \cdot 0,79 - 2,97 \cdot 0,64 + 3,1 \cdot 0,44 = 5,693$
Моменты в горизонтальной плоскости			
1-1	$T_K = 2,2$	$l_1 = 0,15$	$M_1^{zop} = T_K l_1 = 2,2 \cdot 0,15 = 0,330$
2-2	$T_K = 2,2$	$l_2 = 0,195$	$M_2^{zop} = T_K l_2 = 2,2 \cdot 0,195 = 0,429$
3-3	$T_K = 2,2$	$l_3 = 0,285$	$M_3^{zop} = M_4^{zop} = M_5^{zop} = M_6^{zop} = M_7^{zop} = M_8^{zop} = T_K l_3 = 2,2 \cdot 0,285 = 0,627$
и т. д.			

Таблица 9

Таблица результирующих моментов и напряжений оси

№ сечения	Вертикальный момент M_i^g , тм	Горизонтальный момент M_i^{zop} , тм	Крутящий момент $M_{кр}$, тм	Результирующий момент $M_p = \sqrt{(M_i^g)^2 + (M_i^{zop})^2} + M_{кр}^2$, тм	Диаметр вала d_i , см	Момент сопротивления сечения W , см ³	Напряжения σ , кг/см ²
1	2,341	0,330	—	2,364	18	573	412
2	3,044	0,429	—	3,074	20,5	848	362
3	11,049	0,627	1,32	11,145	21,5	975	1143
4	10,134	0,627	1,32	10,240	21,5	975	1050
5	9,681	0,627	1,32	9,791	20,0	785	1247
6	8,320	0,627	1,32	8,447	20,0	785	1076
7	7,335	0,627	1,32	7,479	19,5	729	1025
8	5,693	0,627	1,32	5,877	19,5	729	806

Размеры шеек проверяются по величине удельного давления на проекцию рабочей поверхности её. Эта величина

$$\Delta = \frac{P}{l d_{ш}},$$

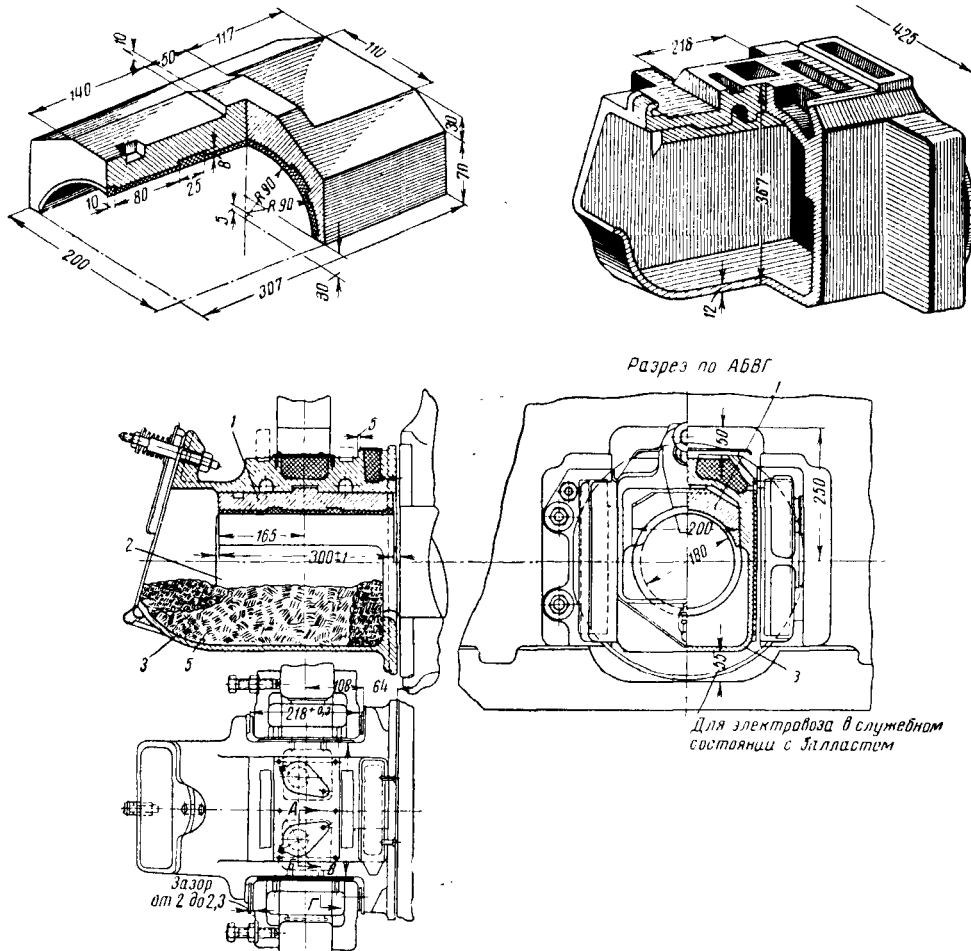
где P — нагрузка (статическая) на шейку; $d_{ш}$ и l — диаметр и рабочая длина шейки; величина Δ не должна превосходить 15—16 кг/см² для грузовых и 18—20 кг/см² для пассажирских электровозов.

где $d_{ш}$ — диаметр шейки. Эта величина L не должна превосходить 4—4,3 для пассажирских и 2,5—3 для грузовых электровозов.

ОСЕВЫЕ БУКСЫ

На большей части электровозов применены буксы с подшипниками скольжения. На фиг. 32 показана подобная букса электровоза ВЛ22^м.

Стальная цельнолитая букса в верхней части снаружи имеет два углубления под



Фиг. 32. Букса с подшипниками скольжения электровоза ВЛ22 м

На электровозе ВЛ22^м удельное давление составляет 13,5 кг/см².

Параметром, характеризующим нагревание шейки, является удельная работа трения при максимальной (конструкционной) скорости движения.

Выражение для удельной работы трения шеек при скорости движения v км/час может быть написано в следующем виде:

$$L = 0,02 \frac{v \text{ (км/час)} \Delta \text{ (кг/см}^2\text{)} d_{ш} \text{ (см)}}{D_k \text{ (см)}}.$$

опоры рессорной стойки и три углубления, образующих резервуары для смазки; два для смазки буксовых направляющих, а третий для смазки антифрикционного диска.

С боков букса имеет пазы с приваренной корытообразной наделкой толщиной 5 мм.

В буксе помещается подшипник из латуни ЛКС 80-3-3 по ГОСТ 1019—47.

Выступ на верхней части подшипника препятствует перемещению его вдоль шейки. Сторона его, опирающаяся на шейку, имеет цилиндрическую поверхность, залитую баббитом марки Б16.

Для предотвращения износа ступицы колёсного центра при передаче от колёсной пары через буксу бокового усилия на раму между буксой и колёсной парой устанавливается в специальной выточке в колёсном центре антифрикционный диск из бронзы ОПС 6-6-3 по ГОСТ 613-59.

Для распределения смазки по трущимся поверхностям дисков на этих поверхностях проточены эксцентрично кольцевые канавки и высверлены и раззенкованы восемь сквозных отверстий.

На электровозе ВЛ23, на ряде опытных электровозов ВЛ22^м и на электровозах И8 применены роликовые буксы со сферическими подшипниками ЦКБ-531 и ЦКБ-560.

ВПИСЫВАНИЕ ЭЛЕКТРОВОЗА В КРИВЫЕ

Геометрическое вписывание в кривые позволяет установить:

а) вписывается ли без заклинивания электровоз заданной осевой формулы в кривую заданного радиуса и какой для этого следует дать боковой разбег отдельным колёсным парам;

б) боковое отклонение бегунковых тележек и угол набегания их.

При геометрическом вписывании экипаж принимается в виде отрезка прямой, совпадающей с продольной осью экипажа, и на этом отрезке оказываются совмещёнными гребни бандажей (их точки, по которым измеряется толщина гребня). Соответственно ширина рельсовой колеи уменьшается до величины полного зазора колёсной пары в кривой, равного

$$2\sigma + \Delta,$$

где 2σ — зазор в прямой, который при номинальном расстоянии между внутренними гранями бандажей 1440 мм и толщине гребней бандажей 33 мм составляет

$$2\sigma = 1524 - (1440 + 2 \cdot 33) = 18 \text{ мм};$$

Δ — уширение в кривых согласно ПТЭ, § 31.

продольной оси, измеряемые в перпендикулярном направлении, получаются в натуральную величину. (Углы набегания получаются в n раз больше действительной величины.) Некоторая ошибка получается с увеличением числа n — коэффициента искажения, поэтому рекомендуется n принимать не более $10 \div 12,5$.

Если при принятом коэффициенте искажения n построение не размещается на чертеже, уменьшают, кроме того, все размеры в одном и том же соотношении m (масштаб чертежа). Однако это влечёт за собой снижение точности отсчётов отклонения.

Вместо нормальной рельсовой колеи вычерчиваются две концентрические кривые радиусами, равными:

$$r_1 = \frac{R}{n^2} + \sigma;$$

$$r_2 = \frac{R}{n^2} - (\sigma + \Delta).$$

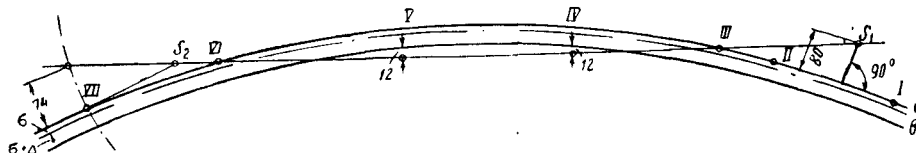
При учёте допусков по ширине колеи или между внутренними гранями бандажей (± 3 мм) соответствующим образом меняется 2σ . Затем устанавливают колёсные пары в зависимости от поставленной задачи.

Если необходимо выяснить, может ли электровоз данной осевой формулы вписаться вообще в кривую или какие разбеги для этого необходимо сообщить отдельным колёсным парам, чтобы они вписались в кривую, то направляющие колёсные пары устанавливаются по наружной кривой и по ним намечают положение средней продольной оси электровоза.

При наличии боковых разбегов у направляющих колёсных пар на величину этого разбега переместится наружу кривой продольная ось электровоза у соответствующей колёсной пары.

Расстояние от продольной оси электровоза до наружной или внутренней кривой даёт величину зазора в соответствующем месте у наружного или внутреннего рельса.

Положение в кривой двухосной бегунковой тележки определяется, помимо положения шкворня и набегания на наружный рельс,



Фиг. 33. Изображение круговой диаграммой установки электровоза 2-1-1 в кривой

Для геометрического вписывания применяют графические и аналитические методы.

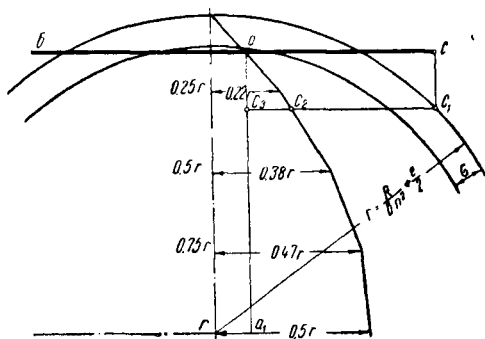
Графические методы

а) Метод круговых диаграмм. Этот метод состоит в вычерчивании экипажа с искаженным масштабом, а именно: радиус кривой уменьшается в n^2 раз, а продольная ось, откладываемая по хорде, с уменьшением в n раз; тогда отклонения точек кривой от

также характером перемещения её, а именно: или в перпендикулярном к продольной оси тележки или в перпендикулярном к продольной оси главного экипажа направлении в зависимости от конструкции тележки.

На фиг. 33 показано вписывание электровоза в кривую $R = 160$ м при набегании на наружный рельс обеих колёсных пар двухосной тележки (I и II), крайних движущих колёсных пар (III и VI) одноосной бегунковой тележки (VII).

Проф. И. И. Николаевым предложена поправка к круговому графическому методу. Для этого на радиусе кривой, перпендикулярном к продольной оси экипажа, начиная от наружной кривой вниз, откладываются деления 0,25; 0,5; 0,75 и 1 ($r = \frac{R}{n^2}$) и в перпендикулярном к этим отрезкам направлении откладываются отрезки 0,22; 0,38; 0,47 и 0,5, которые определяют поправочную кривую (фиг. 34). Отклонение некоторой точки C соответствует отрезку $C_2 - C_3$, заключённому между поправочной кривой и осью $a-a$, проведённой через точку a пересечения поправочной кривой с продольной осью главного экипажа перпендикулярно к последней.



Фиг. 34. Построение круговой диаграммы по способу проф. И. И. Николаева

б) Эллиптический метод основан на проектировании на чертёжный лист изображения кривой вместе с вписанным в ней экипажем, повернутого на некоторый угол вокруг оси, перпендикулярной к продольной оси главного экипажа; при этом круговые кривые обращаются в эллипсы, а вертикальные отрезки (зазоры колёс в кривых) получают в натуральную величину или в масштабе чертежа (если эллипс в принятом выходит из рамок чертежа); этот масштаб для вертикального направления обозначим $\frac{1}{v}$. Горизонтальный масштаб $\frac{1}{h}$ выбирается из условия размещения на чертеже экипажа по длине. Наружная и внутренняя эллиптические кривые строятся по ординатам, вычисленным по формуле

$$y = \frac{x^2 h^2}{2R'} + \frac{x^4 h^4}{8R^3} + \dots,$$

представляющей собой уравнение эллипса, отнесённого к касательной параллельной оси x -ов. В этой формуле для наружной эллиптической кривой

$$R' = R + \frac{1506}{2} + \sigma,$$

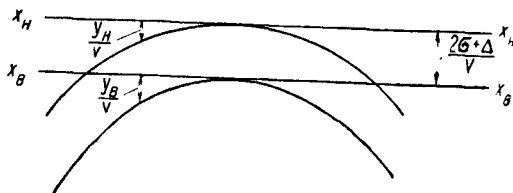
а для внутренней

$$R'' = R - \left(\frac{1506}{2} + \tau + \Delta \right).$$

Для практических целей достаточно бывает ограничиться одним первым членом этой формулы, если

$$\frac{hx_{\max}}{R} \leq \sqrt[4]{\frac{0,0024}{R}} \quad (\text{для } R = 150 \text{ м})$$

$$x_{\max} = 9 \text{ м}.$$



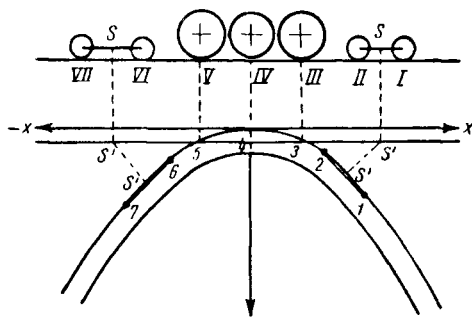
Фиг. 35. Схема построения эллиптической диаграммы

Расстояние между касательными, от которых откладываются ординаты y , равно $2\tau + \Delta$. Это расстояние, как и ординаты y , откладывается в масштабе $\frac{1}{v}$ (фиг. 35), а расстоя-

ния по оси x — в масштабе $\frac{1}{h}$.

Относительно расположения экипажа в кривой остаются те же замечания, что и при пользовании круговым методом. Вписывание электровоза 2-3-2 показано на фиг. 36. Отклонение бегунковых тележек измеряется

отрезком SS' . При $\frac{v}{h} \leq 0,05$ наклонное по отношению к оси x -ов расположение оси экипажа до угла 45° не вызывает практически ошибки при измерении зазоров или отклонения тележек по вертикали, а не по стреле эллипса.



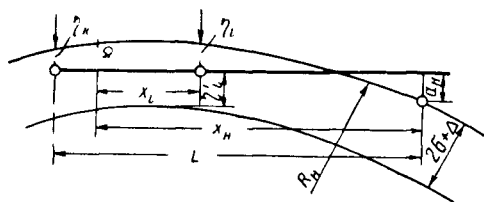
Фиг. 36. Изображение эллиптической диаграммой установки электровоза 2-3-2 в кривой

Движение экипажа в кривой можно разложить на поступательное движение по направлению продольной оси электровоза и на вращательное вокруг некоторого полюса, расположенного в точке пересечения продольной оси экипажа с перпендикулярным к ней радиусом кривой. При графических методах вписывания полюс находится, как точка пересечения перпендикуляра, проведённого

из точки касания прямой, параллельной продольной оси экипажа, с этой осью, или как середина хорды, совпадающей с продольной осью экипажа.

Аналитический метод

Для определения зазоров γ_i и γ'_i (фиг. 37) между гребнями бандажей и соответственно наружным или внутренним рельсом какой-ли-



Фиг. 37. Схема расчёта зазоров в кривой аналитическим методом

бо колёсной пары i можно пользоваться формулами:

$$\eta_i = \frac{x_H^2 - x_i^2}{2R_u} - a_H;$$

$$\eta_i' = 2\sigma + \Delta + a_H - \frac{x_H^2 - x_i^2}{2R_H},$$

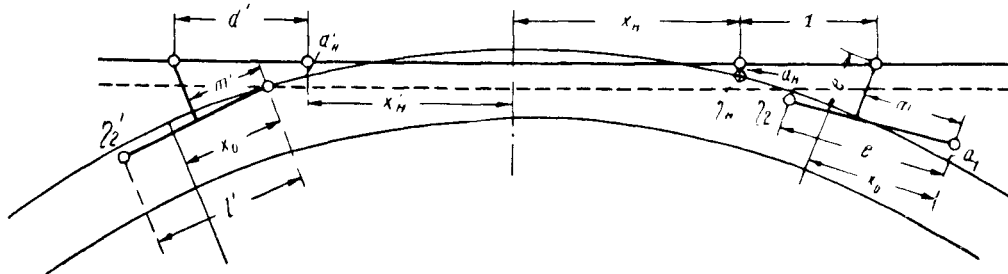
где x_H и x_i — расстояние передней направляющей в кривой и колёсной пары i до полюса Ω ;

a_H — поперечный разбег направляющей колёсной пары;

R_n — радиус наружной рельсовой нити:

$$R_H = R + \frac{1,524}{2} \text{ м.}$$

Отрицательное значение η_i' показывает, что рассматриваемая колёсная пара не впи-



Фиг. 38. К расчёту установки бегунковой тележки в кривой

сывается в кривую и для свободного прохода кривой она должна иметь поперечный разбег

$$a_j \geq \gamma'_{ij}.$$

Расстояние x_H передней направляющей
колёсной пары до полюса Ω

$$x_H = \frac{L}{2} + \frac{R_H (\tau_{IK} + a_H)}{I},$$

где η_k — зазор у наружного колеса некоторой колёсной пары k ;

L — расстояние от неё до передней направляющей колёсной пары.

Эта формула служит для определения x_n при заданном зазоре r_{jk} , а также для определения r_{jk} , если задана величина x_n .

Двухосные бегунковые тележки. Расстояние от набегающей бегунковой колёсной пары до полюса Ω_0 бегунковой тележки (фиг. 38) определяется по формуле

$$x_0 = \frac{l}{2} + \frac{R_N(\eta_2 + a_1)}{l_0}, \quad (8).$$

где l — расстояние между осями бегунковых колёсных пар;

a_1 — поперечное перемещение передней бегунковой колёсной пары за счёт бокового разбега её внутрь кривой по отношению к раме тележки;

γ_2 — зазор у наружного рельса второй бегунковой колёсной пары.

Отклонение двухосной бегунковой тележки.

$$e = \frac{2x_H d + d^2 + 2x_0 m - m^2}{2R} - \eta_H - a_1, \quad (9)$$

где d — расстояние от шкворня тележки до направляющей колёсной пары главного экипажа;

x_H — расстояние от передней направляющей колёсной пары главного экипажа до полюса его;

γ_n — зазор у наружного рельса передней направляющей колёсной пары главного экипажа;

m —расстояние оси передней бегунковой колёсной пары до шкворня тележки.

Для задней бегунковой двухосной тележки имеем аналогичные уравнения:

$$x'_0 = \frac{l'}{2} + \frac{R_H(r'_{12} + a'_1)}{l'_0} \quad (8')$$

$$e' = \frac{2x'_H d' + d'^2 + 2x'_0 m' - m'^2}{2R} - \eta'_u - a'_1. \quad (9')$$

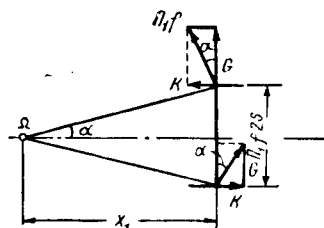
При наличии поперечного зазора у передней или задней направляющей колёсной пары главного экипажа и перемещения за счёт этого зазора a_x или a'_x экипажа наружу кри-

вой по отношению к этим колёсным парам в указанные формулы вместо γ_H или γ'_H надо подставить a_H или a'_H .

Определение направляющих усилий и боковых давлений в кривых

При движении в кривых электровоз некоторыми колёсами набегает на рельсы и поворачивается под действием последних. Эти колёса называются направляющими колёсами, а усилия рельсов — направляющими усилиями.

Движение в кривой (вращение вокруг центра кривой) можно рассматривать как состоящее из поступательного перемещения, направленного по продольной оси электровоза, и вращения вокруг полюса, проходящего через основание радиуса, перпендикулярного к продольной оси. Поступательное перемещение вызывает между колёсами и рельсами силы трения качения, которыми обычно пренебрегают, а вращение вокруг полюса вызывает силы трения скольжения, равные $\Pi_i f$, где Π_i — нагрузка колеса на рельс и f — коэффициент трения. Под Π_i принимают обычно проектную нагрузку, т. е. не учитывают пе-



Фиг. 39. Схема сил, приложенных к колёсной паре в кривой

распределение нагрузок вследствие центробежной силы, колебания наддрессорного строения и др.

Силы трения направлены перпендикулярно лучам, проведённым из полюса в опорную точку колеса с рельсом и в сторону, противоположную скольжению. Эти силы раскладываются на направление вдоль оси экипажа (фиг. 39)

$$K = \Pi_i f \sin \alpha = \Pi_i f \frac{S}{\sqrt{S^2 + x_i^2}}$$

и перпендикулярно к ней

$$G = \Pi_i f \cos \alpha = \Pi_i f \frac{x_i}{\sqrt{S^2 + x_i^2}},$$

где x_i — расстояние от оси колёсной пары до полюса Ω ;

$2S$ — расстояние между опорными точками колёсной пары $S = 0,8$.

Помимо того, при движении в кривых появляется центробежная сила.

При исследовании движения электровоза в кривых отдельно рассматривается движение бегунковых тележек и главного экипажа, а влияние бегунковых тележек на экипаж и экипажа на бегунковые тележки заменяется соответствующими силами, появляющимися в возвращающем механизме.

Если вес электровоза без бегунковой тележки P_a , а бегунковых тележек P_b , то при скорости v м/сек в кривой радиусом R м центробежная сила электровоза равна

$$C'_a = \frac{P_a v^2}{9,81 R}$$

и бегунковых тележек

$$C'_b = \frac{P_b v^2}{9,81 R}.$$

Центробежная сила частично уравновешивается в кривых (за исключением стрелочных) возвышением h наружного рельса. Горизонтальная составляющая веса P от возвышения наружного рельса определяется по формуле

$$H = \frac{Ph}{2S},$$

где $2S$ — расстояние между опорными точками колёсной пары.

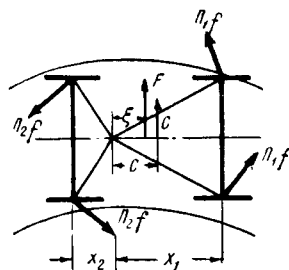
Таким образом расчётная, неуравновешенная возвышением наружного рельса, часть центробежной силы

$$C = C' - H = P \left(\frac{v^2}{9,81 R} - \frac{h}{2S} \right).$$

Подсчёт направляющих усилий и боковых давлений колёс в кривых носит характер сравнительных расчётов для различных вариантов электровозов, и поэтому для упрощения делается ряд допущений: все силы считаются приложенными и действующими в плоскости головок рельсов, кроме того, не учитывается действие силы тяги, поскольку она уменьшает боковые усилия набегавших колёс. Кроме того, рельсовый путь обычно принимается абсолютно жёстким.

Для сочленённых электровозов предположение абсолютно жёсткого пути даёт более невыгодные условия в отношении направляющих усилий и боковых давлений на рельсы.

Двухосная бегунковая тележка. Силы, действующие на двухосную тележку, показаны на фиг. 40.



Фиг. 40. Схема сил, приложенных к двухосной тележке

Условия равновесия тележки:

$$Y_1 + Y_2 - C - 2\Pi_1 f \frac{x_1}{\sqrt{S^2 + x_1^2}} + 2\Pi_2 f \frac{x_2}{\sqrt{S^2 + x_2^2}} - F = 0; \quad (10)$$

$$Y_1 x_1 - Y_2 x_2 - Cc - 2\Pi_1 f \sqrt{S^2 + x_1^2} - 2\Pi_2 f \sqrt{S^2 + x_2^2} - Fc = 0, \quad (11)$$

где Y'_1 и Y'_2 — реакции со стороны наружного рельса, действующие на гребень бандажа набегających колёс.

Тележка при движении в кривых при высоких скоростях и большой возвращающей силе F набегает обоими колёсными парами на наружный рельс, в этом случае полюс Ω располагается посередине, т. е. $x_1 = x_2$.

Для определения критической скорости $v_{кр}$, при которой начинается отход задней по ходу колёсной пары внутрь кривой, совместно решаются оба уравнения, полагая в них $Y'_2 = 0$. По найденному значению $C_{кр}$ находится $v_{кр}$ из уравнения

$$C_{кр} = \frac{P\sigma}{9,81} \cdot \frac{v_{кр}^2}{R}.$$

Задаваясь промежуточными положениями тележек, определяют для них значения x_1 , отклонения тележки e и соответствующую величину возвращающего усилия F .

Решая совместно уравнения (10), (11) и полагая в них $Y'_2 = 0$, находят далее Y'_1 и C — центробежную силу или соответствующую скорость v .

При скоростях выше критической тележка набегает обоими наружными колёсами на рельс и, задаваясь различными значениями скорости $v > v_{кр}$ или соответствующими значениями центробежной силы

$$C = \frac{P}{9,81} \cdot \frac{v^2}{R},$$

находят Y'_1 и Y'_2 .

Таким образом определяется зависимость Y'_1 и Y'_2 от скорости v .

Главный экипаж. При исследовании направляющих усилий отбрасывают бегунковые тележки и их воздействие на главный экипаж при соответствующей скорости заменяют силами F .

При определении направляющих усилий различают случай рамного электровоза и сочленённого.

$$\begin{aligned} Y'_3 + Y'_6 - C + F + F' - 2\Pi_3 f \frac{x_3}{\sqrt{S^2 + x_3^2}} - \\ - 2\Pi_4 f \frac{x_4}{\sqrt{S^2 + x_4^2}} + 2\Pi_5 f \frac{x_5}{\sqrt{S^2 + x_5^2}} + \\ + 2\Pi_6 f \frac{x_6}{\sqrt{S^2 + x_6^2}} = 0; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} Y'_3 x_3 - Y'_6 x_6 - Cc' + Fb - F'b' - \\ - 2\Pi_3 f \sqrt{S^2 + x_3^2} - 2\Pi_4 f \sqrt{S^2 + x_4^2} - \\ - 2\Pi_5 f \sqrt{S^2 + x_5^2} - 2\Pi_6 f \sqrt{S^2 + x_6^2} = 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Дальнейший анализ сил главного экипажа в кривых совершенно аналогичен разобранному для двухосной бегунковой тележки.

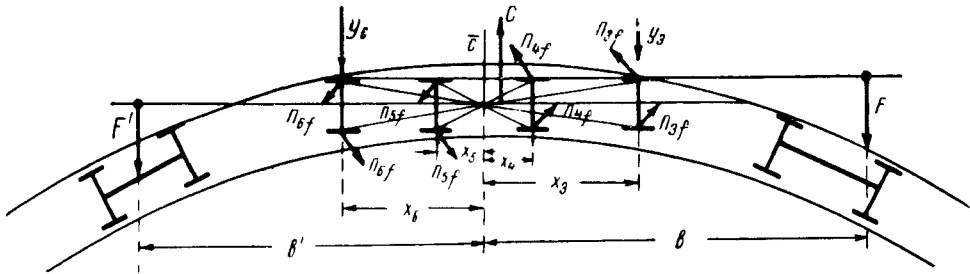
1. Для указанного на фиг. 41 положения главного экипажа определяют из уравнений (12) и (13) критическое значение центробежной силы $C_{кр}$, при которой $Y'_6 = 0$, и соответствующую критическую скорость $v_{кр}$ из уравнения

$$C_{кр} = \frac{P'_э}{9,81} \cdot \frac{v_{кр}^2}{R} - \frac{P'_э h}{2S}, \quad (14)$$

где $P'_э$ — вес электровоза без бегунковых тележек.

2. Для того же положения в кривой, задаваясь различными скоростями выше критических ($v > v_{кр}$), находят неуравновешенную центробежную силу и, подставив её в уравнения (12) и (13), определяют Y'_3 и Y'_6 .

3. Задаются рядом промежуточных положений, когда задняя колёсная пара не набегает на наружный рельс ($Y'_6 = 0$), определяют полюс Ω и расстояние до него от всех колёсных пар x_1 , x_2 и x_3 . . . и, подставив их в уравнения (12) и (13), находят значения Y'_3 и C , а по центробежной силе C по уравнению (14) — скорость v .



Фиг. 41. Схема сил, приложенных к главному экипажу

а) Рамный электровоз. Силы, действующие на главный экипаж при исключённых из расчёта концевых двухосных бегунковых тележках, показаны на фиг. 41, в предположении набегания на наружный рельс крайних движущих колёсных пар. Полюс показан в точке Ω . Горизонтальные реакции рельсов обозначены Y'_3 и Y'_6 . Уравнения равновесия экипажа в этом случае:

б) Сочленённый электровоз. В этом случае рассматривают отдельно каждую движущую тележку, прикладывая в сочленении силу S — действие отброшенной тележки.

При симметричном расположении сочленения относительно колёсных пар колёсные пары, расположенные по одну и по другую сторону сочленения, могут одновременно

набегать на наружный рельс; в этом случае горизонтальные реакции рельсов на набегające колёса и усилие в сочленении зависят от точности монтажа колёсных пар в раме, точности разбивки кривой пути и упругости пути. Задача сводится к случаю шарнирной балки на упругих опорах и к определению усилий упругих опор и в шарнире. Обычно, если требуется определить наибольшие возможные значения направляющих усилий, путь рассматривается, как абсолютно жёсткий, и исследуются следующие случаи:

1) обе движущие тележки набегают самостоятельно на наружный рельс и усилие в сочленении равно нулю;

2) задняя колёсная пара передней движущей тележки не набегает на рельс вследствие отступления его от правильной формы кривой и передняя тележка направляется в кривой первой колёсной парой и задней тележкой через сочленение;

3) первая колёсная пара задней тележки не набегает на наружный рельс и направляется передней тележкой через сочленение.

Каждая движущая тележка исследуется отдельно; порядок исследования тот же, что и для главного экипажа рамного электро-воза.

В результате всех исследований строятся кривые направляющих усилий U_i набегающих бегунковых и движущих колёсных пар в зависимости от скорости, что позволяет судить о правильности выбора возвращающих усилий бегунковых тележек, поперечной подвижности колёсных пар и т. п., а также о степени безопасности движения в кривой в отношении схода с рельсов, считая без-

опасным отношение $\frac{Y_i}{\Pi_i} \leq 1$ или сравнивая полученное отношение $\frac{Y_i}{\Pi_i}$ с отношением у других зарекомендовавших себя хорошей работой экипажей.

Если сравнение вписываемости электроваз ведётся с учётом безопасности движения в отношении опрокидывания рельса, определяют по найденным значениям направляющих усилий Y_i величину бокового давления на рельс Y'_i , учитывая силу трения в опорной точке данного колеса на рельсе, т. е. при-

$$y'_i = y_i + \Pi_i f \frac{x_i}{\sqrt{S^2 + x_1^2}}.$$

ТОРМОЗНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

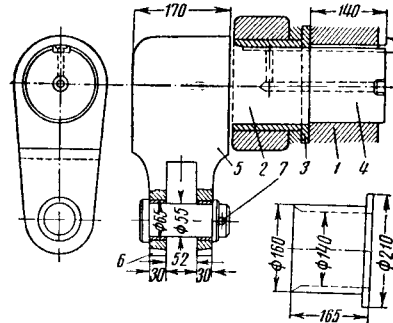
На электровозах серии Сс, ВЛ19, ВЛ22 и ВЛ22М принята тормозная схема с параллельным действием рычажной передачи и односторонним нажатием колодок.

На фиг. 42 показана тормозная схема электровоза ВЛ22^М (аналогичную тормозную схему имеют электровозы ВЛ19).

Тормозной цилиндр диаметром 14" со свободным штоком устанавливается горизонтально. Шток тормозного цилиндра шарнирно соединяется с главным тормозным рычагом,

к верхнему концу которого подходит тяга от ручного тормоза. Нижний конец насаживается на коленчатый вал (фиг. 43) из стали марки Ст. 5 на шпонке и затягивается болтом.

Средняя цапфа 2 коленчатого вала вращается во втулке 3 боковины; по каналу 4



Фиг. 43. Коленчатый вал тормозной системы

подаётся смазка. На другом конце 5 колено оканчивается вилкой 6, к которой валиком 7 крепится тормозная тяга. Отношение плеч главного рычага у электровозов Сс, ВЛ22 и ВЛ22^М — 830 : 195, у электровозов ВЛ19 — 780 : 230.

Для регулирования тормозной системы предусмотрена кулиса с винтом для перемещения камня. Горизонтальные тормозные балансиры (один с отношением плеч 1:2 и другой 1:1) из стали марки Ст. 3 обхватываются вилками двух соседних тормозных тяг и одним концом входят в ушко тормозной поперечной балки.

Тормозные балки отковываются из стали марки Ст. 4, в средней части прямоугольного сечения; в местах установки тормозных подвесок имеются цапфы с буртиками, а на концах прямоугольным сечением они входят в направляющие проушины тормозных тяг.

Тормозные башмаки с колодками подвешивают таким образом, чтобы при отпущенном тормозе они отходили от колеса на некоторое расстояние, для этого центр валика колодки должен располагаться ниже линии центров колёс так, чтобы угол радиуса колеса, проведённый в центр валика башмака, составлял с горизонтальной линией угол $\alpha = 10 \div 15^\circ$.

Усилие S , которое необходимо приложить к концу подвески, чтобы иметь давление колодки N , определяется по формуле (фиг. 44)

$$S = \frac{N(a + \Delta \lg \alpha) \cos \alpha}{a + b} \pm f \frac{Nc'}{a + b}, \quad (15)$$

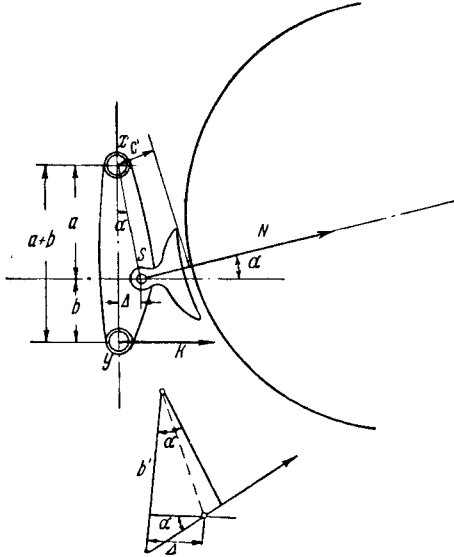
где a и b — плечи тормозной подвески;

c' — расстояние верхнего валика подвеса до касательной к кругу катания колеса в средней точке колодки;

Δ — смещение точки прикрепления башмака от линии xy , проходящей через точку λ — качания подвески и y — прикрепления тяги;

f — коэффициент трения колодки по бандажу.

Знак (+) соответствует движению колеса по отношению к колодке в направлении, при котором момент относительно верхнего валика силы трения Nf , приложенной к колодке, имеет то же направление, что и сила N' реакции колеса на колодку.



Фиг. 44. К расчёту усилий тормозной подвески

Пример расчёта тормозной системы электровоза ВЛ22М. Тормозной коэффициент при давлении в тормозном цилиндре $p=3,8$ ат принят равным $\phi = 0,75$. Давление колодки на колесо при нагрузке его на рельс $P = 11$ т равно

$$N = P\phi = 11\,000 \cdot 0,75 = 8\,250 \text{ кг.}$$

Усилие на штоке при $p = 3,8$ ат и диаметре поршня $d = 14'' = 35,56$ см

$$P = \frac{p\pi d^2}{4} = 3,8 \cdot \frac{3,14 \cdot 35,56^2}{4} = 3\,750 \text{ кг.}$$

Необходимое общее передаточное число с учётом к. п. д. тормозной системы $\eta = 0,95$

$$\frac{N}{P\eta} = \frac{8\,250}{3\,750 \cdot 0,95} = 2,3 \dots$$

Данные тормозной подвески, входящие в формулу (15):

$$a = 265 \text{ мм, } b = 175 \text{ мм, } \Delta = 54 \text{ мм, } \alpha = 13^\circ, \\ \operatorname{tg} \alpha = 0,2339, \cos \alpha = 0,9737.$$

Для этой подвески среднее для обеих тележек передаточное число по формуле (15) с учётом того, что второй член этой формулы равен нулю, так как для одной тележки он войдёт со знаком плюс, а для другой со знаком минус:

$$i_1 = \frac{N}{S} = \frac{a+b}{(a+\Delta \operatorname{tg} \alpha) \cos \alpha} = \\ = \frac{265+175}{(265+54 \cdot 0,2339) 0,9737} = 1,62.$$

Отношение плеч главного тормозного рычага (см. фиг. 42)

$$i_2 = 830 : 195$$

и первого тормозного балансира

$$i_3 = 125 : (125 + 250).$$

Общее передаточное число

$$i = i_1 i_2 i_3 = 1,62 \cdot \frac{830}{195} \cdot \frac{125}{125+250} = 2,30,$$

что соответствует ранее принятому значению для $\phi = 0,75$.

Прочность элементов тормозной системы проверяется на давление в тормозном цилиндре $p=5,6$ ат.

При этом потери в тормозной системе не учитываются.

Расчёт напряжений тормозной схемы приведён в табл. 10.

При проверке напряжений в деталях тормозного оборудования принимаются следующие допускаемые напряжения: для валиков на срез — 700 кг/см^2 и на изгиб — $1\,100 \text{ кг/см}^2$; для тормозных тяг поперечных балок и балансиров на изгиб — $900 - 1\,000 \text{ кг/см}^2$, а для главного рычага — $600 - 700 \text{ кг/см}^2$; для проушин на разрыв — $1\,000 \text{ кг/см}^2$.

КУЗОВ

Все элементы кузова — каркас, обшивка — выполняются из сортовой стали (швеллеров, угольников и обшивочных листов из Ст. 3).

Кузов тележечного (сочленённого) электровоза имеет кузовную раму, на которую устанавливается оборудование электрическое и пневматическое. Кузов рамных электровозов не имеет специальной рамы, и её роль выполняют главная рама электровоза и рамные крепления с консолями.

На фиг. 45 показана кузовная рама электровоза ВЛ22М, а на фиг. 46 — её поперечный разрез.

Высоковольтная аппаратура монтируется в специальной съёмной камере (фиг. 47).

Хребтовая балка кузовной рамы проверяется на изгиб от веса расположенного на ней оборудования и на силы инерции при ударе.

Вес крупных машин и агрегатов принимается в виде сосредоточенной нагрузки P_i с высотой центра тяжести над нейтральной осью хребтовой балки H_i , а вес остального оборудования, как и высоковольтной камеры, — в виде распределённой нагрузки различной интенсивности.

Хребтовую балку разбивают на отдельные участки l по длине с более или менее одинаковой на этом участке нагрузкой и для каждого участка определяют q_i — интенсивность нагрузки и h_i — высоту центра тяжести её над нейтральной осью хребтовой балки.

Моменты от сил инерции сосредоточенных нагрузок

$$M_i = \kappa P_i H_i,$$

и от распределённой

$$m_i = \kappa q_i l_i h_i,$$

где κ — коэффициент динамичности при ударе.

Расчётная схема дана на фиг. 48.

Реакция опоры A , неподвижной в продольном направлении:

а) вертикальная

$$R_A = \frac{\sum P_i x_i + \sum q_i l_i \xi_i + \kappa \sum P_i H_i' + \kappa \sum q_i l_i h_i'}{L},$$

где x_i — расстояние сил P_i до опоры B ;

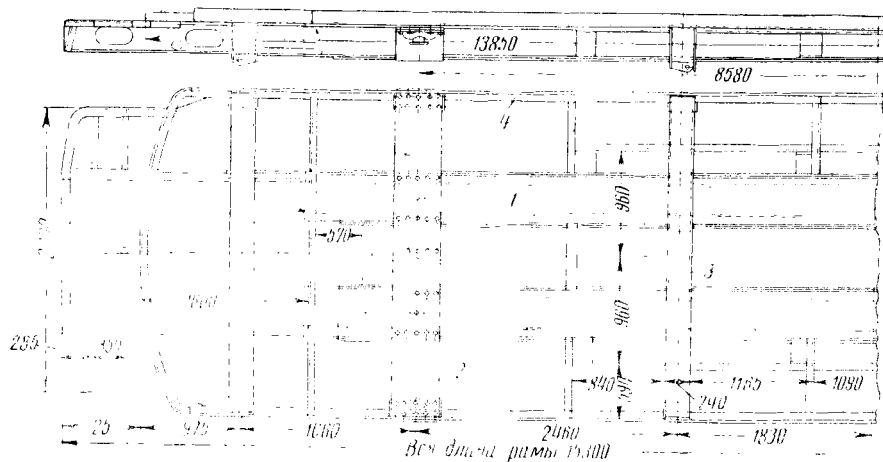
ξ_i — то же расстояние сил $q_i l_i$;

x_i и ξ_i — отрицательны для сил, расположенных справа от опоры B ;

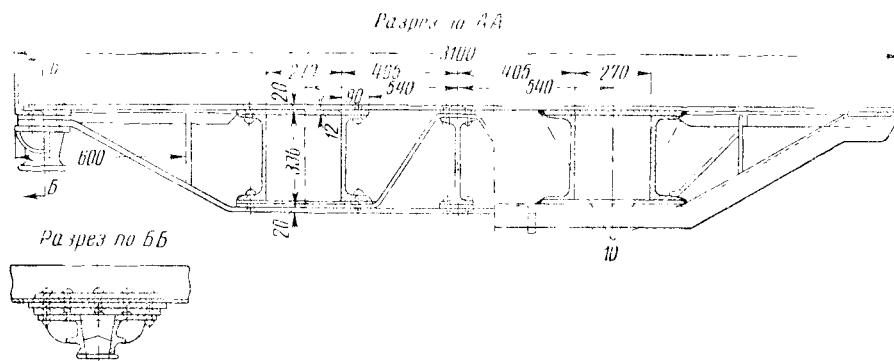
H_i' — высота центра тяжести нагрузки P_i над пятой;

h_i' — высота центра тяжести нагрузок $q_i l_i$;

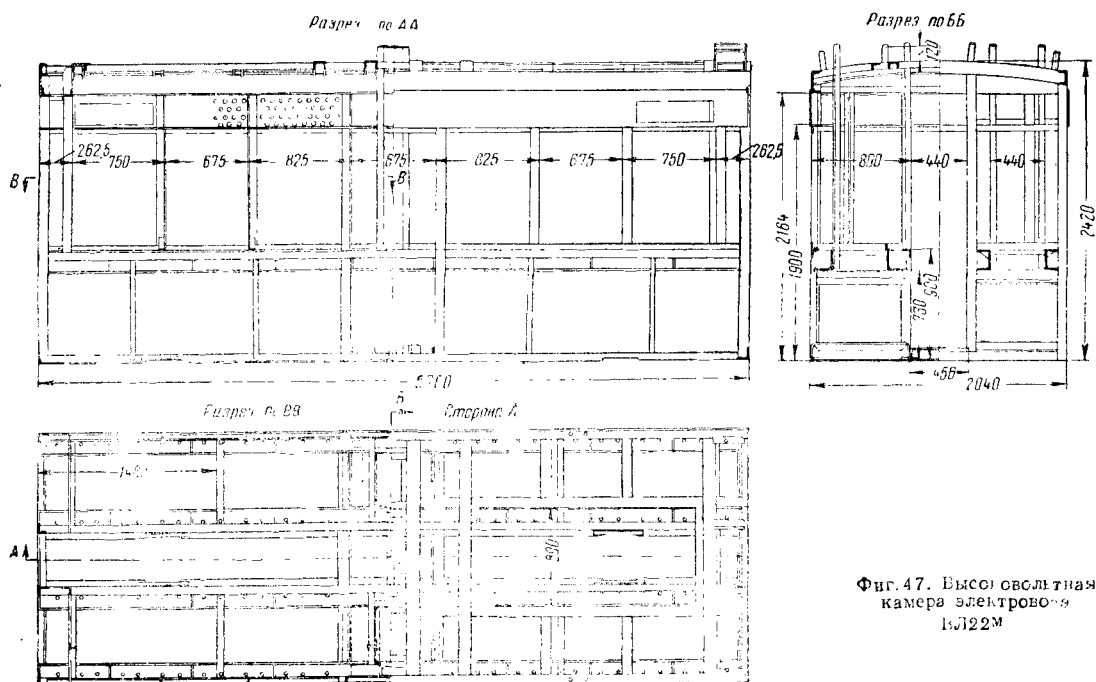
L — расстояние между опорами A и B ;



Фиг. 45. Кузовная рама электровоза ВЛ122М

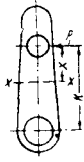
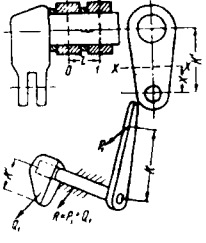
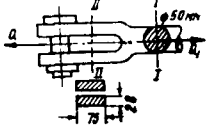
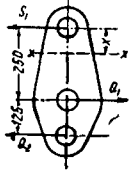
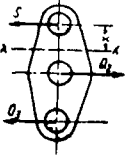


Фиг. 46. Кузовная рама электровоза ВЛ122М (поперечный разрез)

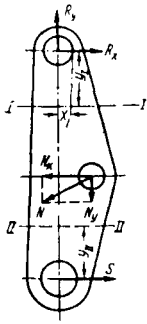
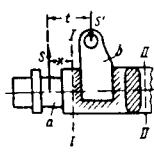
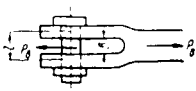
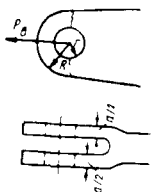


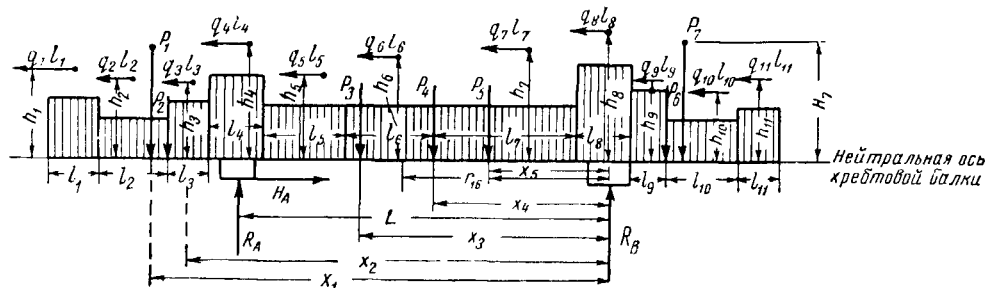
Фиг. 47. Высотная камера электровоза ВЛ122М

Таблица 10

Наименование детали	Расчётная схема	Действующие силы	Расчётная формула
Главный тормозной рычаг		P_1 — давление от штока тормозного цилиндра при $p=5 \text{ ат}$, $d=14''=35,56 \text{ см}$, $P_1 = p \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 5 \cdot \frac{3,14 \cdot 35,56^2}{4} = 4963 \text{ кг}$	Изгибающий момент в сечениях xx $M_x = P_1 x$; $\sigma_{изг} = \frac{P_1 x}{W}$
Коленчатый вал		Сила $P_1 = 4963 \text{ кг}$ на плече $k=83 \text{ см}$, $k'=19,5$ и $l=20 \text{ см}$. Сила $Q_1 = \frac{P k}{k'} = \frac{4963 \cdot 83}{19,5} = 21125 \text{ кг}$	Сечение 00 . Крутящий момент в сечении 00 $M_{кр} = P_1 k = 4963 \cdot 83 = 411930 \text{ кгсм}$. Изгибающий момент в сечении 00 $M_{00} = P_1 l = 4963 \cdot 20 = 99260 \text{ кгсм}$. Результирующий момент по теории прочности наибольших касательных напряжений $M_p = \sqrt{M_{кр}^2 + M_{00}^2}$; $\sigma = \frac{M_p}{W}$. Сечение xx . Изгибающий момент $M_x = Q_1 x$; $\sigma = \frac{Q_1 x}{W_x}$
Первая тяга (связанная с коленчатым валом)		Сила $Q_1 = 21125 \text{ кг}$	Растяжение $\sigma_p = \frac{Q_1}{F_I}$ (F_I — площадь сечения $I-I$); $F_I = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 5^2}{4} = 19,6 \text{ см}^2$; $\sigma_p = \frac{21125}{19,6}$; $F_{II} = 2 \cdot 2,6 \cdot 7,5 = 39 \text{ см}^2$; $\sigma_p = \frac{21125}{39} = 542 \text{ кг/см}^2$
Первый балансир		Усилие, передаваемое на вторую тягу: $Q_2 = \frac{Q_1 \cdot 250}{125 + 250} = \frac{2 \cdot Q_1}{3} = \frac{2 \cdot 21125}{3} = 14084 \text{ кг}$. Усилие на рессорную подвеску $S_1 = \frac{Q_1}{3} = 7042 \text{ кг}$	Изгибающий момент в сечении xx $M_x = S_1 x$. Напряжение изгиба $\sigma_{изг} = \frac{S_1 x}{W_x}$
Вторая тяга	Растяжение	Сила $Q_2 = 14084 \text{ кг}$	$\sigma_{раст} = \frac{Q_2}{F}$; F — площадь сечения
Второй балансир (равноплечий)		Силы на концах балансира $Q_3 = S = \frac{Q_2}{2} = \frac{14084}{2} = 7042 \text{ кг}$	Изгибающий момент в сечении xx $M_x = S x$; $\sigma_{изг} = \frac{S x}{W_x}$
Третья тяга	Растяжение	Сила $Q_3 = 7042 \text{ кг}$	$\sigma_{раст} = \frac{Q_3}{F}$; F — площадь сечения

Продолжение

Наименование детали	Расчётная схема	Действующие силы	Расчётная формула
Тормозная подвеска		<p>Давление на колодку $N = Si = 7\,042 \cdot 1,62 = 11\,408 \text{ кг}$ Горизонтальная составляющая $N_x = N \cos \alpha = 11\,408 \times 0,9737 = 11\,108 \text{ кг}$ Вертикальная составляющая $N_y = N \sin \alpha = 11\,408 \times 0,2280 = 2\,601 \text{ кг}$ Силы у верхнего валика подвески: вертикальная составляющая $R_y = N \sin \alpha = 2\,601 \text{ кг}$; горизонтальная составляющая $R_x = N_x - S = 11\,408 - 7\,042 = 4\,366 \text{ кг}$</p>	<p>Сечение I—I. Изгибающий момент $M_I = R_x y_I - R_y x_I$. Растяжение силой R_y. Площадь сечения I—I F_I. Момент сопротивления W_I. $\sigma_{расст} = \frac{M_I}{W_I} + \frac{R_y}{F_I}$. Сечение II—II. Момент сопротивления W_{II}. Изгибающий момент $M_{II} = S y_{II}$. Напряжение изгиба $\sigma_{изг} = \frac{M_{II}}{W_{II}}$.</p>
Тормозная балка		<p>Сила S от балансира $S = 7\,042 \text{ кг}$, t — плечо — расстояние между a — цапфой у тормозной подвески и b — вилкой, связанной с тормозным балансиром</p>	<p>Изгибающий момент в сечении I—I $M_I = Sx$. Изгибающий момент в сечении II—II $M_{II} = St$. Напряжение изгиба $\sigma_{изг} = \frac{M}{W}$.</p>
Валики		<p>Усилия валика P_a в зависимости от назначения его равны P_1, Q_1, Q_2, Q_3 или S</p>	<p>Напряжение изгиба $\sigma_{изг} = \frac{P_a}{2W_a} \left(\frac{t}{2} - \frac{b}{4} \right)$</p>
Проушины		<p>Те же усилия P_a. Удельное давление от валика $q = \frac{P_a}{da}$, где d — диаметр отверстия; a — суммарная толщина проушин</p>	<p>Напряжение на разрыв проушины $\sigma = q \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2}$.</p>



Фиг. 48 К расчёту кузовной хребтовой балки

б) горизонтальная

$$H_A = \kappa (\Sigma P_i + \Sigma q_i l_i).$$

Реакция опоры *B* (скользящей)

$$R_B = \Sigma P_i + \Sigma q_i l_i - R_A.$$

Изгибающий момент для сечения *I — I* слева от опоры *A*:

$$M_I = -\Sigma P_i x_i - \Sigma q_i l_i \xi_i - \kappa \Sigma P_i l_i - \kappa \Sigma q_i l_i h_i,$$

где x_i и ξ_i — расстояние сил P_i и $q_i l_i$ до сечения *I — I*.

Растягивающее усилие

$$T_I = \Sigma P_i + \Sigma q_i l_i.$$

(Суммы Σ распространяются на силы, расположенные слева от сечения *I — I*.)

Изгибающий момент для сечения *II — II* (между опорами *A* и *B*)

$$M_{II} = R_A x_A - H_A h_A - \Sigma P_i x_i - \Sigma q_i l_i \xi_i - \kappa \Sigma P_i l_i - \kappa \Sigma q_i l_i h_i,$$

где h_A — расстояние опоры до нейтральной оси сечения хребтовой балки;

x_A , x_i и ξ_i — расстояние сил R_A , P_i и $q_i l_i$ до сечения *II — II*.

Суммы Σ распространяются на силы, расположенные слева от рассматриваемого сечения *II — II*.

Сжимающее усилие в сечении *II — II*

$$T_{II} = \kappa \Sigma P_i + \kappa \Sigma q_i l_i,$$

где суммы Σ распространяются на силы, расположенные слева от сечения *II — II*.

Примечание. Эпюры моментов рекомендуется строить отдельно: 1) от статической нагрузки (сил P_i и $q_i l_i$) и 2) от сил инерции (κP_i и $\kappa q_i l_i$), с тем чтобы первую эпюру использовать для определения прогиба хребтовой балки под статической нагрузкой.

Напряжения в хребтовой балке определяются от суммарного воздействия статической нагрузки и сил инерции при ударе.

Напряжения одного знака сжатия или растяжения от силы T_i и от изгиба — моментами M_i — складываются:

$$\sigma = \frac{M_i}{W_i} + \frac{T_i}{F_i},$$

где W_i и F_i — момент сопротивления и площадь рассматриваемого сечения хребтовой балки.

Напряжения в хребтовой балке существующих электровазов не превышают 1 200 кг/см².

Прогиб хребтовой балки определяется по её упругой линии от вертикальной нагрузки.

При графо-аналитическом методе построения упругой линии эпюра моментов от вертикальных сил разбивается вертикальными прямыми на отдельные участки и площади этих участков принимаются за фиктивные вертикальные нагрузки, приложенные в центре тяжести площади и направленные вверх или вниз в зависимости от знака момента (рассматриваемого участка).

Далее подсчитываются изгибающие моменты от фиктивной нагрузки хребтовой балки, которые представляют собой ординаты упругой линии.

Вместо аналитического определения моментов от фиктивной нагрузки в различных сечениях хребтовой балки упругая кривая может быть построена как верёвочная кривая от фиктивной нагрузки при полюсном расстоянии, равном

$$H = EI,$$

где EI — произведение модуля упругости и момента инерции сечения.

Отношение наибольшего прогиба хребтовой балки к её пролёту между опорами не должно превышать 0,0015 — 0,0017.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОСЕКЦИЙ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

По роду службы электросекции бывают пригородной и междугородной сообщения.

Характерной особенностью электросекций пригородного сообщения являются весьма большие ускорения при пуске и большие замедления при торможении. Электросекции междугородного сообщения имеют меньшие ускорения.

При строительстве новых электросекций стремятся значительно повысить эксплуатационные и конструктивные скорости.

На электрифицированных пригородных участках железных дорог СССР работают электросекции Сд, С^р и С^р₃ постоянного тока.

Электросекции Сд, С^р и С^р₃ представляют собой поездные единицы, состоящие из одного моторного вагона посередине и двух прицепных вагонов по кочкам. Поезда состояются

из нескольких электросекций — обычно не более трёх.

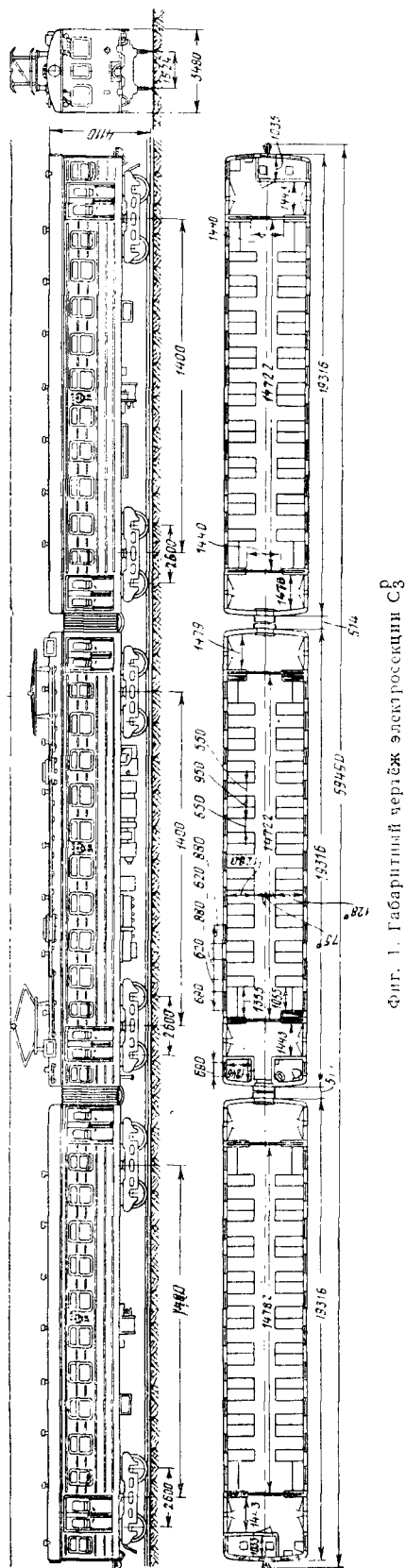
Все моторные и прицепные вагоны оборудованы кабинами управления.

Конструкция механической части моторных и прицепных вагонов электросекций Сд, С^р и С^р₃ почти одинакова.

Вагоны оборудованы жёсткими местами для сидения; часть прицепных вагонов имеет багажные отделения.

Электросекции серии Сд и частично С^р построены с выходом только на высокие платформы, а электросекции серии С^р₃ и частично С^р — со ступеньками, с учётом эксплуатации их на участках, имеющих как высокие, так и низкие платформы.

Электросекции оборудованы пневматическим тормозом с тройным скородействующим клапаном и электропневматическим тормозом ЭПТ-47, заблокированным с пневматическим



тормозом, ручными тормозами, автосцепкой СА-3 с поглощающим фрикционным аппаратом пассажирского типа (ЦНИИ-И6), звуковыми и световыми сигналами.

Основные технические и расчётные данные этих электроскопий приведены в табл. 1.

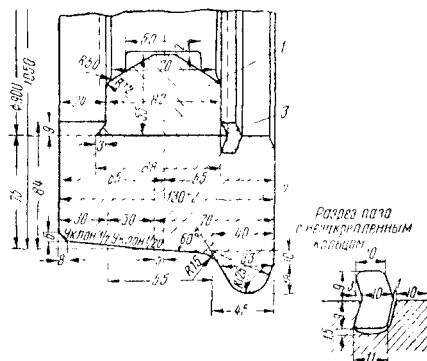
Габаритный чертёж электросекции C_3^P показан на фиг. 1. В настоящее время проходит испытание две опытные электросекции серии Сп с конструктивной скоростью 130 км/час. Мощность каждого тягового двигателя принята 200 кВт при опорно-рамном подвешивании с кулачковой муфтой. Кроме того, изготавливается новая опытная десятивагонная электросекция ЭР-1 с той же мощностью тяговых двигателей при конструктивной скорости 130 км/час. В головных вагонах секции ЭР-1 число мест 88, в промежуточных (как моторных, так и прицепных) по 110 мест. Проектируется также электросекция ЭР-5 с рекуперативным торможением.

КОНСТРУКЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОСЕКЦИЙ

Всякий вагон независимо от его назначения состоит из пяти основных узлов деталей: ходовых частей, рамы, ударно-тяговых приборов, кузова и тормоза.

Ходовые части

Колёсные пары моторных вагонов. Для моторных вагонов применяются колёсные пары с отдельным бандажом (фиг. 2) и одно-сторонней жёсткой зубчатой передачей. Центры колёс литые, с одиннадцатью спицами.



Фиг. 2. Сборное колесо:

1 — центр; 2 — бандаж; 3 — установочное кольцо

По принципу насадки зубчатого колеса колёсные пары моторных вагонов разделяются на два типа:

1) колёсные пары I типа, у которых зубчатое колесо напрессовано непосредственно на ось;

2) колёсные пары II типа (фиг. 3), у которых зубчатое колесо напрессовано на удлинённую ступицу колёсного центра.

У колёсных пар I типа между ступицами колёсного центра и центром зубчатого колеса должны быть установлены прокладки из клингерита, прессшпана, метеройда, плотного картона или свинца.

Таблица 1

Основные технические и расчётные данные электросекций СССР

Показатели	Измери- тель	Серии электросекций		
		Сд	СР	С ₃ ^Р
Состав секции	—	П + М + П		
Род службы	—	Пригородное пассажирское движение		
» тока	—	Постоянный		
Напряжение номинальное на токоприёмнике	В	1 500	1 500/3 000	3 000
Напряжение расчётное на коллекторе тяговых двигателей	»	750	1 500	1 500
Тяговые двигатели:	—	ДПИ-150,	ДК-103А	ДК-103Г
тип	—	ДПИ-152	—	—
количество на моторном вагоне	—	4	4	4
Система подвешивания	—	Опорно-осевая		
Передача на движущую ось	—	Зубчатая односторонняя		
Передачное число	—	70 : 19 = 3,684		
Модуль	—	10	10	10
Диаметр колёс по кругу катания:	—	—	—	—
при новом бандаже	мм	1 050	1 050	1 050
» износе бандаж на 50%	»	1 010	1 010	1 010
Число тормозных цилиндров:	—	—	—	—
на моторном вагоне	—	2	2	2
» прицепном »	—	1	—	1
Диаметр тормозных цилиндров:	—	—	—	—
на моторном вагоне	мм	12	12	12
» прицепном »	»	14	14	14
Передачное число тормозной рычажной передачи:	—	—	—	—
на моторном вагоне	—	8	8	8
» прицепном »	—	8,4	8,4	8,4
Расчётная сила нажатия тормозных колодок на одну ось (согласно ПТЭ)	т	7	7	7
Номинальная мощность моторного вагона при расчётном напряжении на коллекторе ¹ :	—	—	—	—
часовая при полном поле	квт	690/660	680/662	712/662
» » ослабленном поле	»	690/660	720/700	792/772
длительная при полном поле	»	504/490	516/498	508/490
» » ослабленном поле	»	510/492	576/558	632/614
Тяговые параметры при расчётном напряжении на коллекторе и износе бандаж до 50%:	—	—	—	—
Режим часовой мощности				
Полное поле возбуждения	Ток двигателя	а	250	126
	Сила тяги	кг	5 200	5 200
	Скорость	км/час	46,5	45,2
Ослабленное поле возбуждения	Ток двигателя	а	250	132
	Сила тяги	кг	3 680	4 500
	Скорость	км/час	62,7	56,5
Режим длительной мощности				
Полное поле	Ток двигателя	а	185	95
	Сила тяги	кг	3 600	3 600
	Скорость	км/час	52,5	49,7
Ослабленное поле	Ток двигателя	а	190	105
	Сила тяги	кг	2 540	3 240
	Скорость	км/час	73,5	62,7
Конструктивная (расчётная) скорость:	—	—	—	—
на прямой	км/час	85	85	85
» кривой радиусом 200 м	»	50	50	50
Максимальная скорость по тяговому двигателю	»	—	112	112
Расчётное ускорение в пусковой период на прямом горизонтальном участке пути	м/сек ²	0,45	0,45	0,45
Ускорение в пусковой период, принятое для расчёта механической части	»	0,6	0,6	0,6
Расчётное замедление при торможении на прямом горизонтальном участке пути	»	0,6	0,6	0,6
Максимальное тяговое усилие на ободе колеса при разгоне с коэффициентом сцепления $\phi = 0,33$	т	5	5	5
Тяговое усилие моторного вагона при трогании	»	20	20	20
Максимальное усилие при ударе (буферное усилие)	»	40	40	40
Радиус вписывания в кривые	м	200	200	200
Высота точки приложения центробежной силы полной подрессоренной нагрузки от головки рельса	см	—	186,4	186,4
Высота точки приложения равнодействующей сил давления ветра от головки рельса	»	—	253,4	258,3
Высота центра тяжести люлевных рессор от головки рельса под нагрузкой	»	—	47,9	47,9
Напряжение при комбинированных нагрузках не должно превышать:	—	—	—	—
для рамы и кузова	кг/см ²	1 400	1 400	1 400
» тележек	»	1 200	1 200	1 200

Продолжение табл. 1

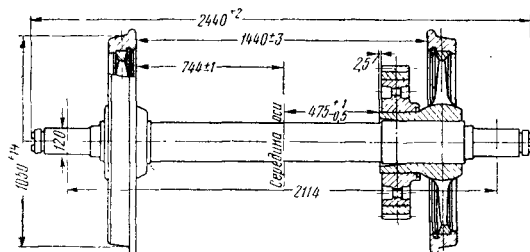
Показатели	Измери- тель	Серии электросекций		
		Сд	СР	С _з ^Р
Количество пассажирских мест				
Количество мест для сидения:				
в моторном вагоне	—	105	105	105
» прицепном без багажного отделения	—	108	108	108
» прицепном с багажным отделением	—	86	86	—
» трёхвагонной электросекции	—	299	299	321
Количество стоящих пассажиров при нормальном за- полнении:				
в моторном вагоне	—	50	50	50
» прицепном без багажного отделения	—	52	52	52
» прицепном с багажным отделением	—	44	44	—
» трёхвагонной электросекции	—	146	146	154
Общее количество пассажиров при нормальном за- полнении:				
в моторном вагоне	—	155	155	155
» прицепном вагоне без багажного отделения	—	160	160	160
» прицепном вагоне с багажным отделением	—	130	130	—
» трёхвагонной электросекции	—	445	445	475
Общее количество пассажиров при максимальном за- полнении:				
в моторном вагоне	—	300	300	300
» прицепном вагоне без багажного отделения	—	300	300	300
» прицепном вагоне с багажным отделением	—	250	250	—
» трёхвагонной электросекции	—	850	850	900
Весовые данные*				
Вес моторного вагона ³	т	58,5	61,5	62/62,3
» прицепного вагона без багажного отделения	»	37,5	38,2	38,5/38,7
» прицепного вагона с багажным отделением	»	38,5	39,0	—
Вес механической части:				
моторного вагона	»	37,0	—	—
прицепного »	»	36,0	—	—
Вес электрической части:				
моторного вагона	»	21,5	—	—
прицепного »	»	1,5	—	—
Вес тележки (полный):				
моторного вагона	»	—	13,75	13,75
прицепного »	»	—	6,7	7,0
Вес тягового двигателя без передачи	кг	2 580	2 550	2 550
Вес тележек моторного вагона без двигателей	т	—	7,9	7,9
Вес передачи деталей и подвески тягового двигателя	кг	375	375	375
Вес кузова вагона без тележек:				
моторного вагона	т	30,6	34,0	34,6
прицепного вагона без багажного отделения	»	24,1	25,6	24,5
прицепного вагона с багажным отделением	»	24,1	24,8	—
Вес трёхвагонной секции ³	т	134,5	138,7	139/139,7
Расчётный вес одного пассажира	кг	70	70	70
Основные габаритные размеры вагонов				
Габарит	—	ОСТ ВКС	6 435	—
Длина по осям автосцепки	мм	19 710	19 830	19 830
» кузова (наружная)	»	19 310	19 316	19 316
Ширина кузова:				
наружная	»	3 480	3 480	3 480
внутренняя	»	3 240	3 310	3 310
Полная ширина секции по головкам кронштейнов вход- ных поручней	»	—	3 590	3 590
База вагона (расстояние между шкворнями тележек)	»	14 000	14 000	14 000
База тележки (расстояние между центрами осей):				
моторного вагона	»	2 600	2 600	2 600
прицепного »	»	2 400	2 600	2 600
Расчётная высота опущенного пантографа от головки рельса	»	4 910	4 910	4 895
Расчётная высота поднятого пантографа от головки рельса	»	7 332	7 332	7 332
Расчётная высота верхней точки пантографа от головки рельса, при которой обеспечивается бесперебойная ра- бота пантографа:				
максимальная	»	7 037	7 037	7 037
минимальная	»	4 997	4 997	4 997
Высота от головки рельса до верха крыши	»	4 110	4 110	4 110
Строительная высота от головки рельса до оси авто- сцепки	»	1 167	1 167	1 167
Длина пассажирских помещений между торцовыми стенами:				
моторного вагона	»	14 750	14 722	14 722
прицепного вагона без багажного отделения	»	14 750	14 722	14 722
прицепного вагона с багажным отделением	»	11 985	11 960	—

Продолжение табл. 1

Показатели	Измеритель	Серии электросекций		
		Сд	СР	СР ₂
Высота потолка от пола посередине вагона	мм	—	2 650	2 650
Ширина прохода между диванами посередине вагона	»	700	750	750
Ширина поперечного прохода между диванами	»	550	550	550
Шаг диванов	»	1 500	1 500	1 500
Длина трёхместного сиденья	»	1 280	1 280	1 280
Глубина сиденья	»	420	420	420
Высота сиденья от пола	»	470	470	470
Высота пола от головки рельса	»	—	1 385	1 385

- 1 В числителе — мощность на валах двигателей, в знаменателе — на ободе движущих колёс.
 2 Допускаемое отклонение веса $\pm 4\%$.
 3 В числителе — вес вагонов для высоких платформ, в знаменателе — для низких платформ.

Разница в диаметрах по кругу катания двух колёс одной колёсной пары должна быть не более 0,5 мм.



Фиг. 3. Колёсная пара типа II моторного вагона

Кроме наружных расположенных по концам оси шеек для вагонных подшипников, имеются ещё внутренние шейки для моторно-осевых подшипников, посредством которых тяговый двигатель опирается на ось колёсной пары.

Оси моторных вагонов изготавливаются из стали Ст. 5 по ГОСТ 3281—53.

Механические свойства стали.
 Предел прочности $\sigma_b = 55 \div 58 \text{ кг/мм}^2$.

Относительное удлинение $\delta_s \geq 23\%$.

Ударная вязкость $a_k \geq 7$ (среднее из четырёх образцов); минимальное значение для каждого образца $a_k = 3,5 \text{ кг/см}^2$.

Сталь имеет следующий химический состав:

Углерода	0,35—0,45
Марганца	0,50—0,80
Кремния	0,15—0,35
Хрома	не более 0,30
Никеля	» » 0,30
Фосфора	» » 0,03
Серы	» » 0,03

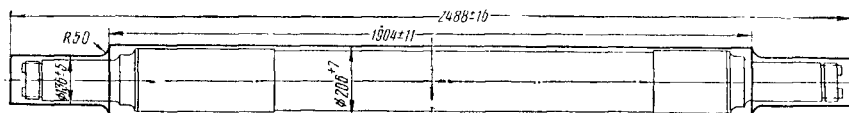
Оси поставляются с заводов-изготовителей в полуобточенном и чистом виде. Чертеж и основные размеры поковок осей моторных вагонов секций Сд и СР приведены на фиг. 4. На фиг. 5 и 6 соответственно указаны основные размеры осей колёсных пар моторных вагонов типов I и II после окончательной обработки.

Размеры основных частей осей моторных вагонов приведены в табл. 2.

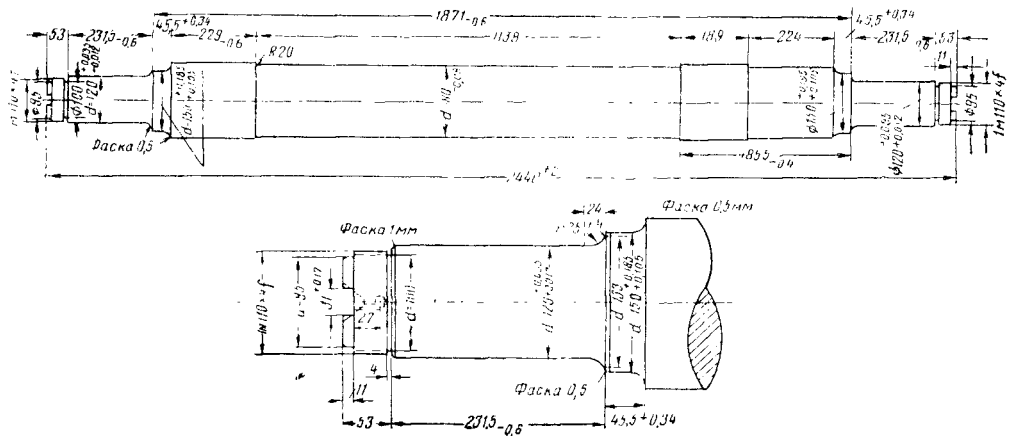
Таблица 2

Основные размеры осей моторных вагонов

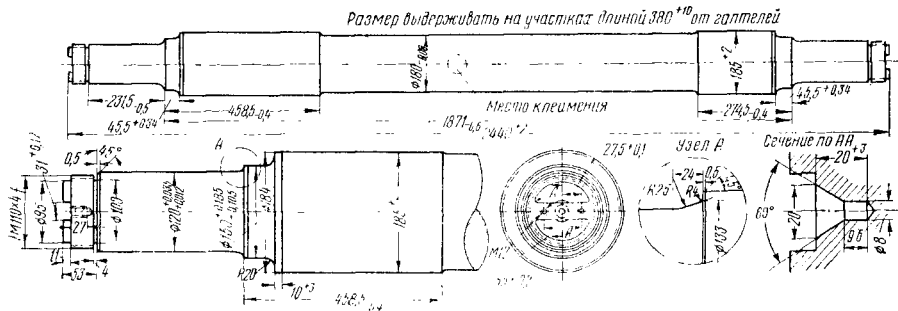
Наименование	Размер по чертежу в мм
Диаметр подступичной части оси колёсной пары типа I:	
под колёсный центр со стороны зубчатого колеса	195
под зубчатое колесо	195,5
» левый колёсный центр	185
Диаметр подступичной части оси колёсной пары типа II под колёсные центры правый и левый	185
Диаметр предподступичной части осей типов I—II	150
Диаметр шейки оси под буксовые подшипники осей типов I и II	120
Диаметр шейки оси под моторно-осевые подшипники	180



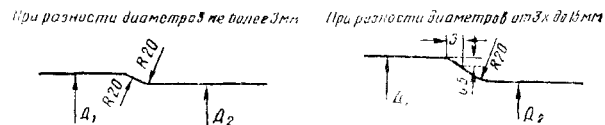
Фиг. 4. Поковка оси колёсной пары моторного вагона секций Сд и СР



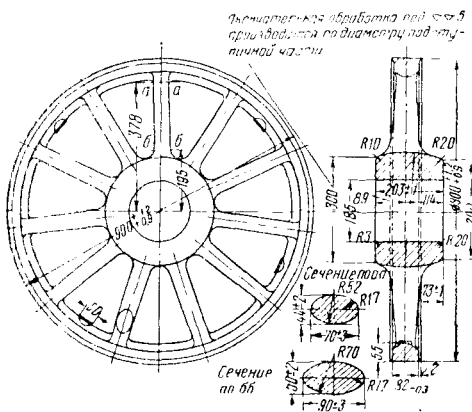
Фиг. 5. Ось колёсной пары типа I моторного вагона в обработанном виде



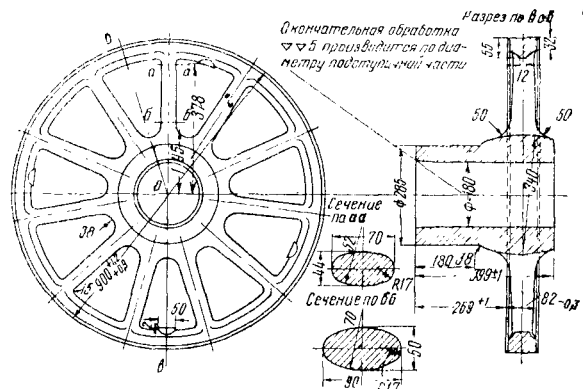
Фиг. 6. Ось колёсной пары типа II моторного вагона в обработанном виде



Фиг. 7. Сопряжение передпоподушничной части с подступничной



Фиг. 8. Колёсный центр колёсной пары моторного вагона типа I



Фиг. 9. Колёсный центр колёсной пары моторного вагона типа II

Сопряжение предподступичной части с подступичной приведено на фиг. 7.

Колёсные центры моторных вагонов изготавливаются из стального литья марки 25-4522 или 15-4024 ГОСТ 977—41 и подвергаются термообработке в соответствии с ГОСТ 4491—48. После термообработки эта сталь должна иметь следующие механические свойства:

Предел прочности на растяжение σ_b . . . 45 кг/мм²
 Предел текучести не менее σ_s 23 кг/мм²
 Относительное удлинение δ_s 22%

Основные размеры колёсных центров колёсных пар типов I и II указаны на фиг. 8 и 9 соответственно.

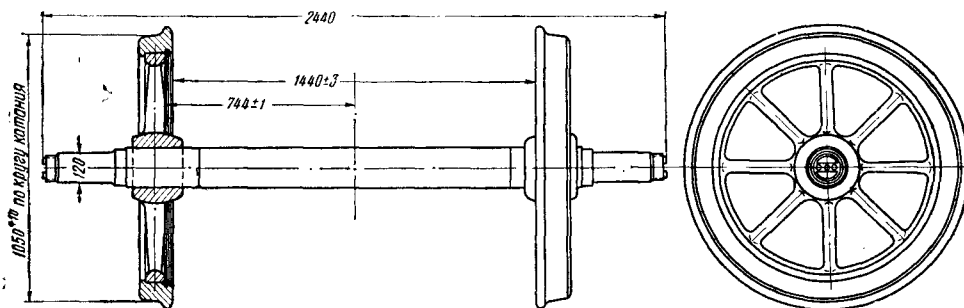
Колёсные пары прицепных вагонов. На прицепных электровагонах эксплуатируются колёсные пары трёх типов:

- 1) с литыми восьмиспицевыми колёсными центрами (фиг. 10);
- 2) с дисковыми колёсными центрами (фиг. 11);
- 3) со стальными цельнокатанными центрами (фиг. 12).

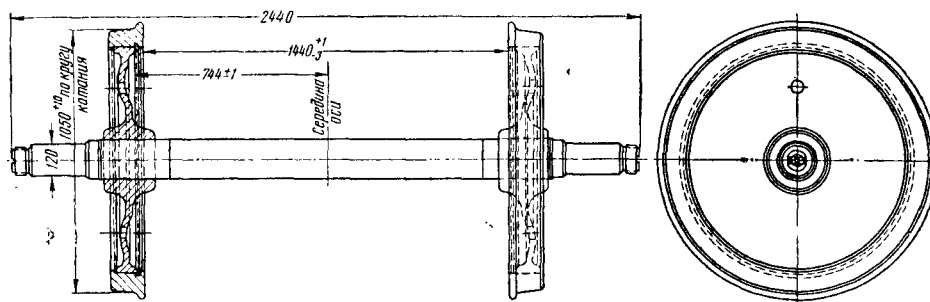
Оси колёсных пар прицепных вагонов изготавливаются из стали по ГОСТ 4008—48 или по ГОСТ 74—40 п. 6.

Химический состав этих сталей приведён в табл. 3.

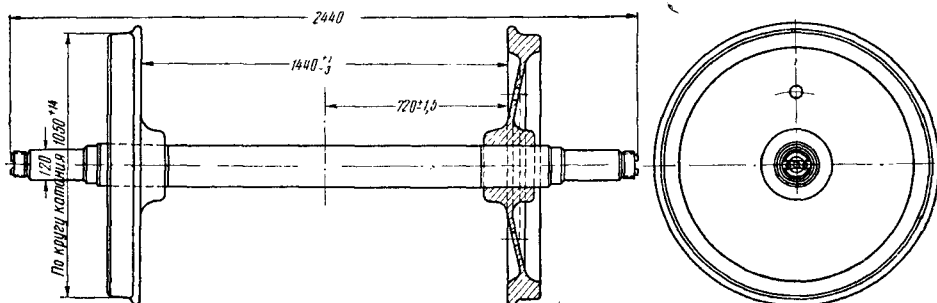
В металле осей допускается содержание (не более): при плавочном анализе — хрома



Фиг. 10. Колёсная пара прицепного вагона с восьмиспицевыми колёсными центрами



Фиг. 11. Колёсная пара прицепного вагона с дисковыми колёсными центрами



Фиг. 12. Колёсная пара прицепного вагона со стальными цельнокатанными колёсными центрами

Таблица 3

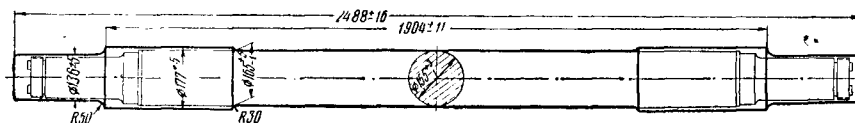
Химический состав осевой стали

Анализ	Химический состав в %				
	Углерод С	Марганец Мп	Кремний Si	Фосфор Р	Сера S
				не более	
Плавочный	0,30—0,45	0,50—0,90	0,15—0,35	0,050	0,050
Контрольный	0,30—0,48	0,50—0,90	0,15—0,35	0,050	0,055

0,30%, никеля 0,50%, меди 0,20%, молибдена 0,10%; при контрольном анализе — хрома 0,35%, никеля 0,60%, меди 0,25%, молибдена 0,10%.

Механические свойства термически обработанной осевой стали (ГОСТ 4008—48) приведены в табл. 4.

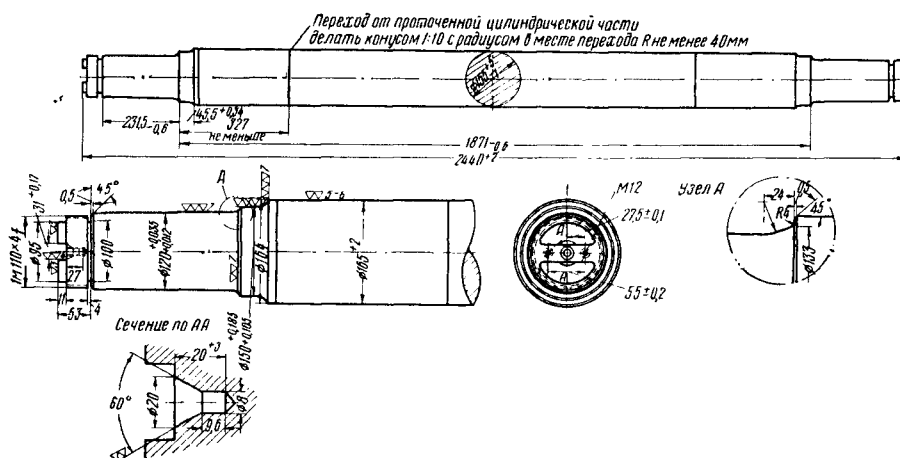
До насадки бандажа на колёсный центр внутренний диаметр его должен быть меньше наружного диаметра обода колёсного центра на 0,9—1,3 мм на 1 м диаметра. Насадку бандажей на колёсные центры производят в горячем состоянии. Температура нагрева бандажа не свыше 320°C.



Фиг. 13. Поковка оси колёсной пары прицепного вагона

Оси поставляют с заводов-изготовителей в полуобточенном и чистом виде. Основные размеры поковок осей прицепных вагонов

Механические свойства бандажной стали предел прочности на растяжение σ_b не менее 75 кг/мм², но не более 90 кг/мм².



Фиг. 14. Ось колёсной пары прицепного вагона в обработанном виде

приведены на фиг. 13. На фиг. 14 указаны основные размеры этих осей после окончательной обработки.

Колёсные центры прицепных вагонов литые восьмиспицевые (фиг. 15) изготавливают согласно ГОСТ 4491—48; дисковые колёсные центры (фиг. 16) — из стали Ст. 3.

Цельнокатаные колёса изготавливают согласно техническим условиям и правилам приёмки по ГОСТ 6362—52.

Бандажи (см. фиг. 2) для электросекций прокатывают из стали согласно ГОСТ 398—41 и формируют с колёсными центрами, имеющими диаметр обода 900 мм.

Таблица 4

Механические свойства осевой стали

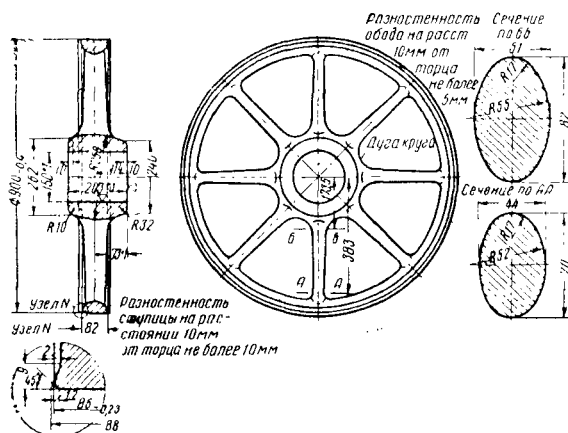
Предел прочности на растяжение в кг/мм ²	Относительное удлинение δ_s в %	Ударная вязкость в кг·м/см ²	
		Среднее значение четырёх образцов не менее	Наименьшее значение для отдельных образцов
52,0—55,9	23	6,0	3,5
56,0—58,9	22	5,0	3,0
59,0—61,9	21	4,0	2,5
62,0 и более	20	3,5	2,0

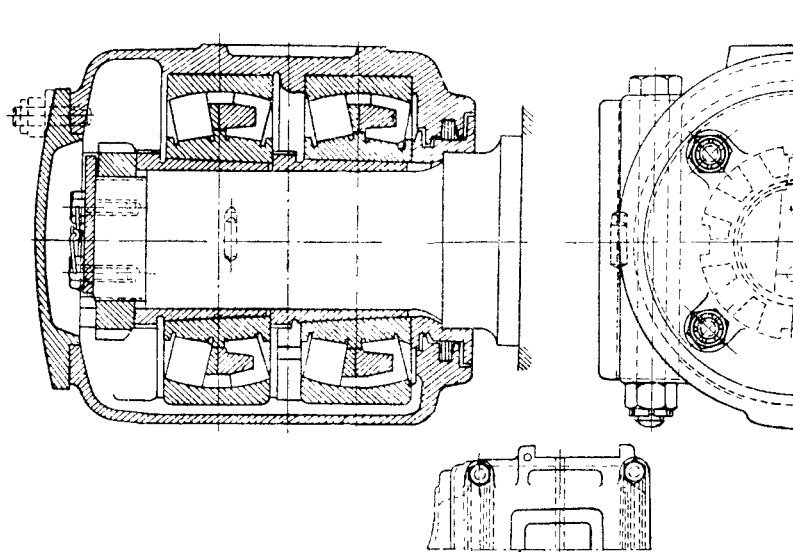
Относительное удлинение δ_s не менее 13%
и относительное сужение 16%.

Таблица 5

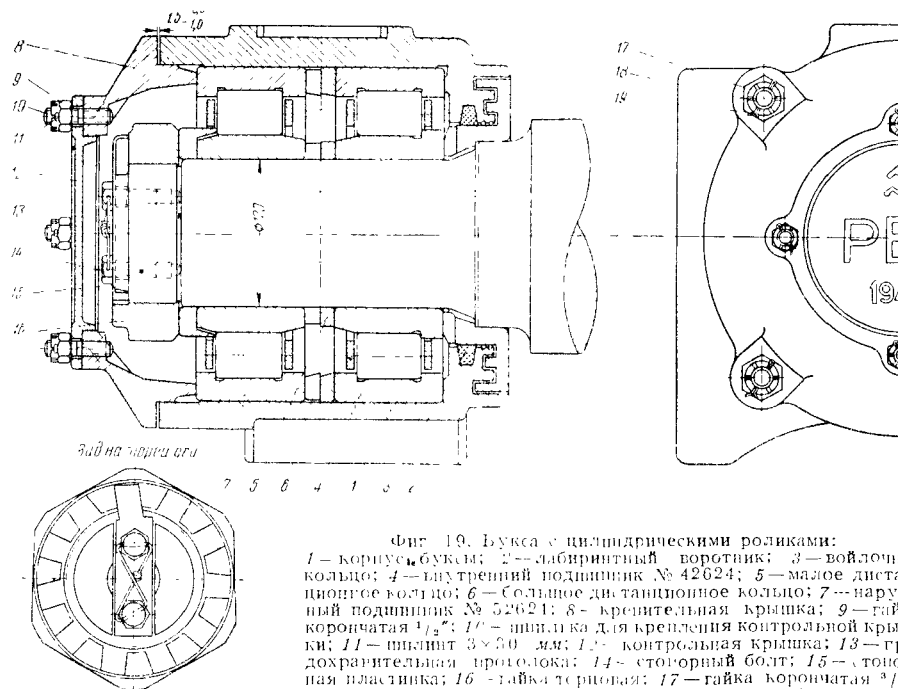
Величины конечных запрессовочных усилий
на каждые 100 мм диаметра подступичной
части в т

Наименование	С бандажом		Без бандажа	
	максимальное	минимальное	максимальное	минимальное
Оси моторных вагонов . . .	55	40	50	35
» прицепных » . . .	55	37	45	30
Зубчатые колёса при напрессовке на удлиненную ступицу колёсного центра	—	—	25	15
То же при напрессовке на ось	—	—	30	20





Фиг. 18. Букса со сферическими бочкообразными роликами



Фиг. 19. Букса с цилиндрическими роликами:
 1 — корпус буксы; 2 — лабиринтный воротник; 3 — войлочное кольцо; 4 — внутренний подшипник № 42624; 5 — малое дистанционное кольцо; 6 — большое дистанционное кольцо; 7 — наружный подшипник № 52624; 8 — крепежная крышка; 9 — гайка корончатая $1\frac{1}{2}$ " ; 10 — шпилька для крепления контрольной крышки; 11 — шпилька 3×50 мм; 12 — контрольная крышка; 13 — предохранительная прокладка; 14 — стопорный болт; 15 — стопорная пластинка; 16 — гайка терцовая; 17 — гайка корончатая $\frac{3}{4}$ " ; 18 — шпилька к корпусу буксы; 19 — шпилька 4×40 мм

щаются расходы, связанные с содержанием букс.

По конструктивному выполнению роликовые подшипники для букс подразделяются на две группы: радиальные сферические (фиг. 18) по ОСТ 6771—39 и ОСТ 7634—39 (с бочкообразными роликами) и радиальные с цилиндрическими роликами (фиг. 19) по ГОСТ 294—41 (средняя широкая серия). По способу посадки роликовых подшипников на шейку оси различают буксы с посадкой втулочной, горячей и прессовой.

Моторвагонные роликовые буксы обычно имеют два подшипника. Крышки роликовых букс глухие на болтах. На отечественных железных дорогах наибольшее распространение получили цельнокорпусные буксы с подшипниками, имеющими цилиндрические ролики.

С наружной стороны в буксе устанавливается подшипник № 52624 (ГОСТ 294—41), с внутренней стороны — подшипник № 42624.

Буксы смазывают консистентной смазкой № 1-13 (ГОСТ 1631—42); добавляют смазку после пробега 100 000 км.

Расчет осей моторных вагонов. Оси колёсных пар моторных вагонов подвергаются действию:

а) статической нагрузки на ось:

$$P_{cm} = \frac{P_k}{4} + \frac{P_m}{2} + \frac{P_{\partial a}}{2},$$

где P_k — вес кузова с пассажирами,

P_m — зарессоренный вес тележки с тормозным оборудованием,

$P_{\partial a}$ — вес тягового двигателя;

б) динамической нагрузки от колебаний обрессоренных частей вагона, которая определяется по динамическому добавочному прогибу рессор буксового подвешивания;

в) динамической нагрузки, обусловленной возникающими ускорениями массы самой оси и опирающихся на неё необрессоренных частей вагона.

Эта нагрузка вследствие трудности её определения в расчёт не принимается;

г) усилий, возникающих от горизонтальных сил центробежной силы C и силы ветра W . Эти силы вызывают перераспределение нагрузок на шейки осей, равное

$$\Delta P_{cw} = \frac{Ch_c + Wh_w}{2 \cdot 2b_p},$$

где h_c , h_w — высота приложения сил C и W относительно центра шеек оси;

$2b_p$ — расстояние между серединами шеек оси.

Изменение вертикальных реакций рельсов на колёса, вызванное действием этих сил, будет равно

$$\Delta R = \frac{C(h_c + r) + W(h_w + r)}{2 \cdot 2S},$$

где r — радиус колеса,

$2S$ — расстояние между кругами катания колёсной пары;

д) усилий, возникающих в результате направляющего действия пути в кривых и сил трения между колёсами. Определение этих усилий изложено в ТСЖ, т. VI, стр. 678;

е) сил, возникающих при торможении или тяге, которые вызывают перераспределение нагрузок, приходящихся на отдельные оси.

При развитии силы тяги нагрузки, приходящиеся на пятники передней и задней тележек, будут изменяться на величину

$$\Delta P_1 = \frac{4F_{\kappa n} h_1}{L_0},$$

где $4F_{\kappa n}$ — сила тяги от четырёх осей,

h_1 — разница в высоте автосцепки и пятника,

L_0 — расстояние между шкворнями тележек.

Соответствующее перераспределение нагрузок на оси, вызванное передачей силы тяги тележки $2F_{\kappa n}$ от ободов колёс через пятник, расположенный на высоте h_2 от головки рельса, будет равно

$$\pm \Delta P_2 = \frac{2F_{\kappa n} h_2}{2l} = \frac{F_{\kappa n} h_2}{l},$$

где $2l$ — база тележки.

При этом на заднюю ось второй по направлению движения тележки будет действовать дополнительная нагрузка

$$\Delta P = \frac{\Delta P_1}{2} + \Delta P_2 = \frac{2F_{\kappa n} h_1}{L_0} + \frac{F_{\kappa n} h_2}{l}.$$

Кроме того, на каждую шейку оси передаётся усилие тяги, реализуемое в опорных точках колёс на рельсах, равное

$$F_{\kappa n \max} = \Pi \psi_{\kappa},$$

где Π — нагрузка колеса на рельс,

ψ_{κ} — коэффициент сцепления, равный $1/3$.

При торможении нагрузка, приходящаяся на пятники передней и задней тележек, будет изменяться на величину

$$\Delta P'_1 = \frac{P_{\kappa} j}{gL_0} h'_c,$$

где P_{κ} — вес кузова с пассажирами,

j — замедление при торможении,

g — ускорение силы тяжести,

h'_c — высота центра тяжести кузова относительно пятника,

L_0 — база вагона.

Инерционное усилие, приходящееся на одну тележку, $\frac{P_{\kappa} j}{2g}$ вызовет перераспределение нагрузок между осями, равное

$$\Delta P'_2 = \frac{P_{\kappa} j}{2g} \cdot \frac{h_2}{2l}.$$

Изменение нагрузки первой оси передней тележки (пренебрегая инерционным усилием самой тележки) будет равно

$$\Delta P' = \frac{\Delta P'_1}{2} + \Delta P'_2 = \frac{P_{\kappa} j h_c}{2g L_0} + \frac{P_{\kappa} j h_2}{2g 2l};$$

ж) усилий от прессовой посадки колёс. Определение этих усилий изложено в ТСЖ, т. VI, стр. 734;

з) усилий от вращающего момента и собственного веса тягового двигателя.

При движении оси двигателем назад шестерня тягового двигателя передаёт на шестерню колёсной пары усилие Z (фиг. 20), направленное вверх:

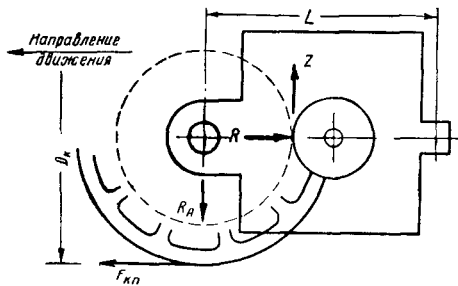
$$Z = \frac{F_{\kappa n} D_{\kappa}}{2 R}.$$

При этом в каждом моторно-осевом подшипнике возникают реакции

$$R_A = \frac{F_{\kappa} D_{\kappa}}{4 R} \cdot \frac{L - R}{L} + \frac{P_{\partial \theta}}{4},$$

где $\frac{P_{\partial \theta}}{4}$ — вес тягового двигателя, приходящийся на моторно-осевой подшипник. В месте запрессовки шестерни усилие будет равно:

$$P_{\text{ш}} = -\frac{F_{\kappa n} D_{\kappa}}{2 R}.$$



Фиг. 20. Схема усилий моторно-осевой подвески

При движении оси двигателем вперёд направление сил R_A и $P_{\text{ш}}$ изменится на обратное.

При этом следует учитывать указанное выше перераспределение нагрузок между осями ΔP , вызванное действием силы тяги моторного вагона, а также перераспределение нагрузок между шейками оси $\Delta P_{\text{св}}$ от действия горизонтальных сил C и W .

Если статическое давление на шейку оси $P_{\text{см}}$, то после указанного распределения нагрузок будем иметь:

$$P' = P_{\text{см}} + \Delta P + \Delta P_{\text{св}}$$

и

$$P'' = P_{\text{см}} + \Delta P - \Delta P_{\text{св}}.$$

Для расчёта осей прицепных вагонов, работа которых не отличается от работы осей обычных вагонов, можно пользоваться методами, изложенными в ТСЖ, т. VI, стр. 734—738.

Рессорное подвешивание

Система рессорного подвешивания. На вагонах электросекций применяется тройное рессорное подвешивание (фиг. 21).

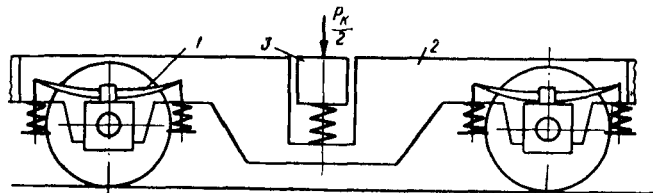
Кузов вагона опирается на раму тележки посредством системы люльчатного подвешивания с эллиптическими рессорами Галахова.

Надбуксовое рессорное подвешивание (фиг. 22) выполнено двойным и состоит из последовательно соединённых листовых рессор и пружин.

Листовая рессора 2 опирается непосредственно на роликковую буксу 1. При этом хомут рессоры входит в гнездо, имеющееся на верхней части корпуса буксы, благодаря чему исключается возможность сползания рессоры с буксы.

Пружины 6 установлены между кронштейнами 5 и поддонами 4. Кронштейны 5 укреплены с внутренней стороны к боковине рамы тележки. Через поддоны пропущены рессорные подвески 3, которые сверху оканчиваются крюками, обхватывающими листовые рессоры.

Конец каждой подвески снабжён гайкой



Фиг. 21. Схема тройного подвешивания вагонов электросекции:

1 — надбуксовое рессорное подвешивание; 2 — рама тележки; 3 — люльчатное подвешивание

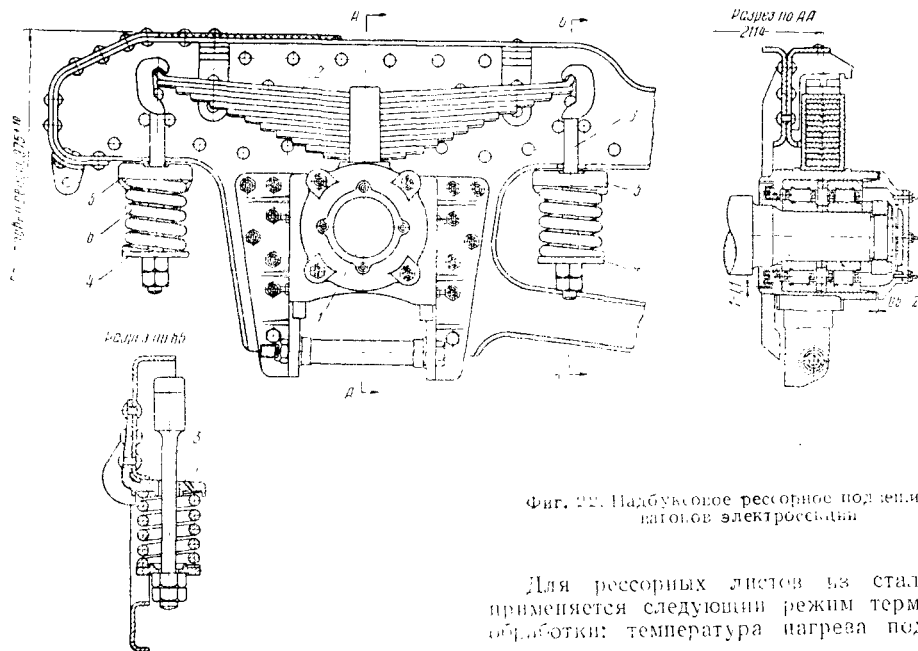
Для расчёта оси принимаются более неблагоприятные сочетания сил, когда сила $P_{\text{ш}}$ направлена вверх, а сила R_A — вниз и совпадает с весом тягового двигателя $\frac{P_{\partial \theta}}{4}$, приходящимся на каждый моторно-осевой подшипник.

Расчёт осей моторных вагонов проводится тем же методом, что и электровозных.

и контргайкой, которые и обеспечивают регулирование рессор.

Нагрузка, воспринимаемая рамой тележки посредством кронштейнов, передаётся на пружины.

Пружины через нижние поддоны и рессорную подвеску передают эту нагрузку на листовые надбуксовые рессоры и далее через буксы и роликковые подшипники — на шейки осей колёсных пар.



Фиг. 22. Надбуксовое рессорное подвешивание вагонов электросекций

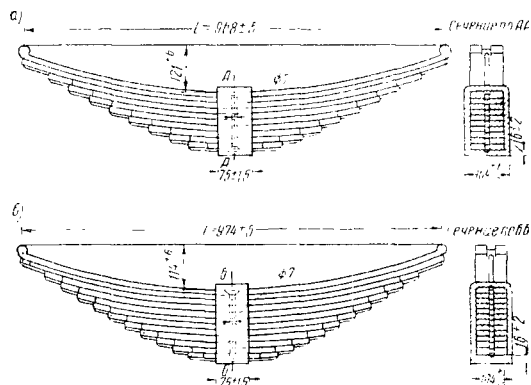
Для рессорных листов из стали 55С2 применяется следующий режим термической обработки: температура нагрева под гибку

Рессоры и пружины. Характеристики листовых рессор вагонов электросекций приведены в табл. 7. Листовые рессоры моторного и прицепного вагонов показаны на фиг. 23, а эллиптическая рессора Н. К. Галахова — на фиг. 24.

Листовые рессоры изготавливаются из рессорной (кремнистой) стали 55С2 по ГОСТ В 2052—53. Сборка рессор производится в соответствии с ГОСТ 1425—48.

Сталь 55С2 имеет следующий химический состав:

Углерода	0,50—0,60
Марганца	0,60—0,90
Кремния	1,50—2,00
Серы	не более 0,045
Фосфора	» » 0,040
Никели	» » 0,50
Хрома	» » 0,30

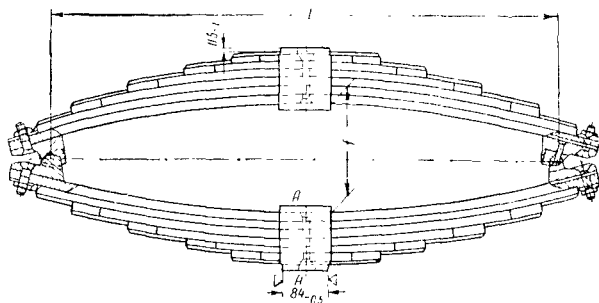


Фиг. 23. Листовые надбуксовые рессоры:
а — прицепного вагона; б — моторного вагона

Таблица 7

Характеристики листовых рессор моторвагонных электросекций

Тип рессоры	Средняя рессора фабричная в мм	Хорда в свободном состоянии Z в мм	Сечение рессорных листов в мм	Число коренных листов рессоры	Число листов ряда рессоры	Число рядов рессоры	Прогиб в мм		Гибкость в мм/м	Нагрузка в кг			
							под тарой	под грузом брутто		тара	брутто	максимальная при испытании	в кг
Листовая надбуксовая рессора моторного вагона . .	114±6	971±5	76×13	2	12	1	16	65	7,69	5 940	8 140	9 980	64,23
То же прицепного вагона . .	121±6	968±5	76×13	2	10	1	35	57	8,89	3 905	6 105	8 180	53,48
Листовая эллиптическая рессора моторного вагона . .	188±12	802	76×13	1	6	3	51	—	5,97	9 025	14 025	18 370	197
То же прицепного вагона . .	188±12	883±5	76×13	1	6	3	55	—	7,87	7 020	12 020	16 500	—



Фиг. 24. Эллиптическая рессора системы
Н. К. Галахова

930—950°C, закалка при 860—880°C и отпуск при 470—500°C. Охлаждающей средой при закалке является вода при температуре +25° или масло.

Пружины 6 (см. фиг. 22) надбуксового подвешивания изготавливаются из стали 55С2 по ГОСТ В 2052—53 в соответствии с ТУ по ГОСТ 1452—53.

Расчётная характеристика пружин приведена в табл. 8.

Таблица 8

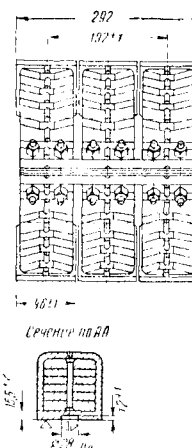
Расчётная характеристика пружин

Наименование	Измеритель	Величина
Число витков:		
полное	—	6
расчётное	—	4,5
Гибкость	мм/т	10,1
Прогиб при нагрузке от тары моторного вагона 3 060 кг	мм	30,9
Прогиб от брутто моторного вагона 4 310 кг	»	43,5
Прогиб от максимальной нагрузки 5 640 кг	»	56,9
Чистый вес пружины	кг	11,3

Методика расчёта рессор и пружин приведена в ТСЖ, т. VI, стр. 739.

Люлечное подвешивание. Для смягчения боковых ударов при входе вагонов в кривую тележка имеет некоторое поперечное смещение относительно кузова. Это достигается установкой шкворневого (наддрессорного) бруса, на котором закреплена опора кузова, с небольшим поперечным зазором относительно боковин рамы. Для принудительной установки его в среднем положении на вагонах электросекций применяют систему люлечного подвешивания (фиг. 25), которая создаёт возвращающую силу, препятствующую отклонению кузова.

В вагонах электросекций кузов опирается на верхний наддрессорный брус 2, установленный на двух комплектах трёхрядных эллиптических рессор Галахова, расположенных поперёк тележки. Эллиптические рессоры опираются на нижний подрессорный брус 11, который посредством двух опорных плит 13 устанавливается на две качающиеся балки 9, выполненные в виде ножевых опор.



Для поглощения шума между подрессорным брусом и опорными плитами помещается деревянная прокладка.

Ножевые опоры прикреплены к средним поперечным балкам 1 посредством специальной подвески.

С каждой стороны тележки, в промежутках между стенками средних поперечных балок пропущены Т-образные проушины 3, которые опираются своими заплечиками на верхние поверхности этих балок и прикреплены к ним болтами 4.

Каждая проушина 3 соединяется валиком 6 с двойной средней серьгой 5, которая в свою очередь валиком 7 соединяется с люлечным болтом 8.

Люлечный болт пропущен через отверстие ножевой опоры 9, которая удерживается на нём при помощи шайбы 10 с гайкой и контргайкой.

Для предотвращения падения подрессорного бруса при обрыве люлечных болтов к нижним поперечным балкам тележки укреплены предохранительные стальные скобы сечением 75 × 16 мм.

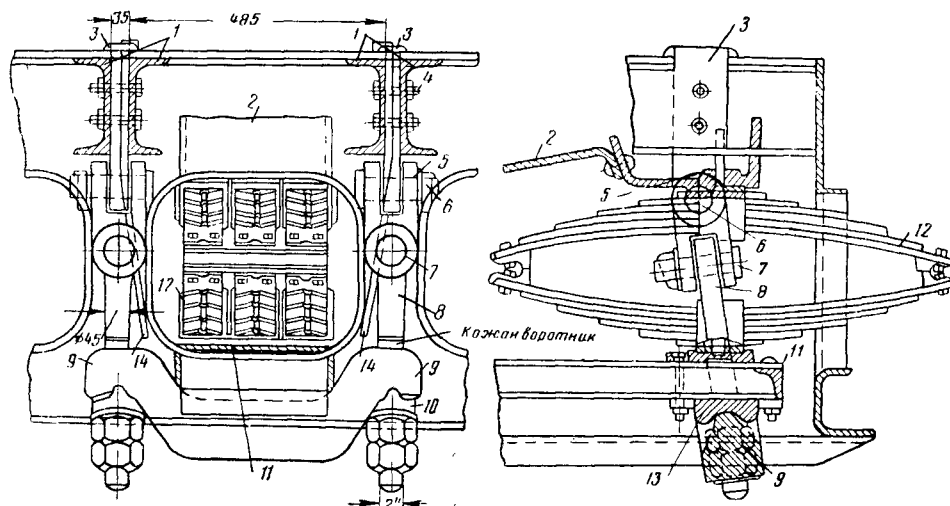
Ножевые опоры 9 предохраняются от падения двумя скобами диаметром 16 мм.

На люлечный болт в месте входа в отверстие качающей балки надевается кожаный воротник, который предохраняет поверхности соприкосновения болта и балки от загрязнения.

Вагонные люльки устраивают с начальным возвращающим усилием, равным нулю. Поэтому незначительные поперечные отклонения тележки при прохождении ею неправильностей пути в плане не будут оказывать влияния на положение кузова.

При входе вагона в кривую тележка отклоняется внутрь кривой и смещается поперёк кузова, вызывая значительное изменение наклона люлечных подвесок; это и обуславливает появление горизонтального возвращающего усилия.

Величину и угол наклона люлечных болтов подбирают так, чтобы при поперечном перемещении люльки она не ударялась о боковины рамы тележки; для этого между верхним брусом и боковиной рамы имеется постоянный зазор.



Фиг. 25. Схема люлочного подвешивания вагонов электросекций:
1—средние поперечные балки; 2—верхний наддрессорный брус; 3—Т-образные проушины; 4—болты проушины; 5—двойная серьга; 6—валик проушины и двойной серьги; 7—валик двойной серьги и люлочного болта; 8—люлочный болт; 9—ножевая опора; 10—шайба люлочного болта; 11—нижний подрессорный брус; 12—рессора Галахова; 13—опорная плита; 14—предохранительные скобы (для наглядности чертежа скобы обрезаны)

Подрессорный брус (фиг. 26) выполнен штампованным из листа толщиной 10 мм.

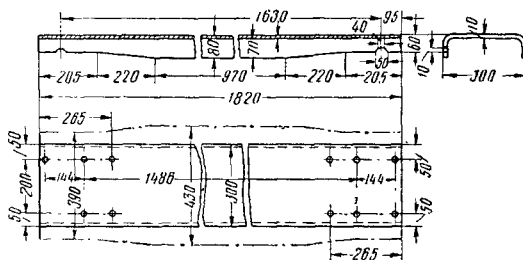
Надрессорный люлочный брус на первых вагонах электросекций Сд также выполнялся штампованным из двух частей: верхней люлочной балки и нижней коробки, скреплённых по концам стальными концевыми коробками.

Продольное крепление осуществлено заклёпками.

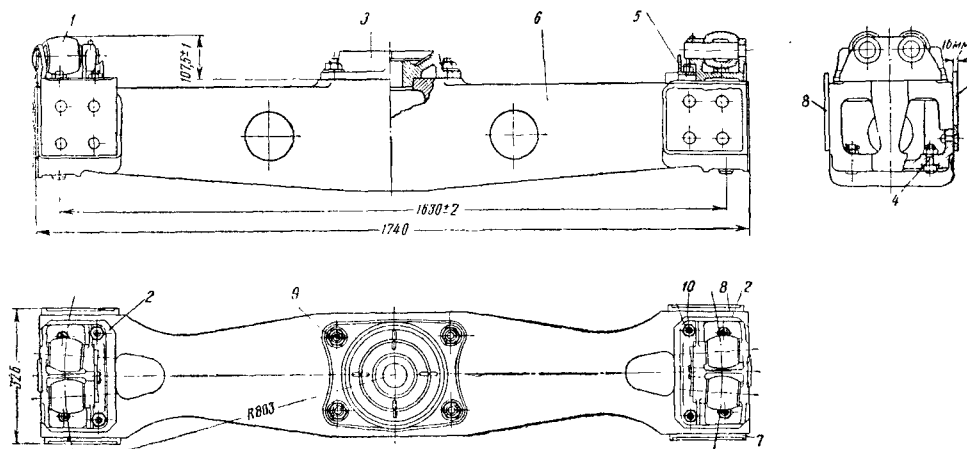
Надрессорные люлочные брусья вагонов Сд и СР последних выпусков выполнены литыми (фиг. 27) (материал — стальное литьё 25-4518 ГОСТ 977—41), они могут заменять штампованные брусья вагонов первых выпусков.

На концах надрессорного бруса в плоскости скольжения между средними попереч-

ными балками тележки установлены боковые скользуны, выполненные в виде сменных стальных накладок толщиной 16 мм. К средним



Фиг. 26. Подрессорный люлочный брус



Фиг. 27. Общий вид литого надрессорного бруса электросекций Сд и СР:
1—скользуны тележки; 2—подкладка скользуна; 3—подпятник нижний; 4—штырь для крепления рессор; 5—угольник; 6—люлочный (надрессорный) брус; 7—боковой скользуны правый; 8—боковой скользуны левый; 9—болт $\frac{3}{4}$ " \times 80 с гайкой и шплинтом; 10—болт $\frac{3}{4}$ " \times 70 с гайкой и шплинтом

и прикрепляются к боковые рамы при помощи фасонной угловой накладки. Фасонная накладка обхватывает концевое рамное крепление и приклепывается к нему. Другим своим концом она обхватывает конец боковины, имеющий очертание, соответствующее форме сечения рамного крепления, и приклепывается к отбортовке боковины.

Тележка прицепного вагона по своей конструкции аналогична тележке моторного вагона, в ней отсутствует лишь приспособление для подвески тяговых двигателей.

Как показал многолетний опыт эксплуатации, тележки моторных вагонов имеют ряд существенных недостатков, основными из которых являются: появление трещин в рамах, жесткий поворот тележек вокруг шкворня.

Одной из причин появления трещин в рамах тележек является неравномерность работы рессорного подвешивания вследствие перекоса и заклинивания люлечного бруса как при трогании вагона с места, так и при торможении.

При трогании с места моторные тележки стремятся начать движение первыми и вызывают тем самым перекос и заклинивание люлечного бруса. При торможении большее со-

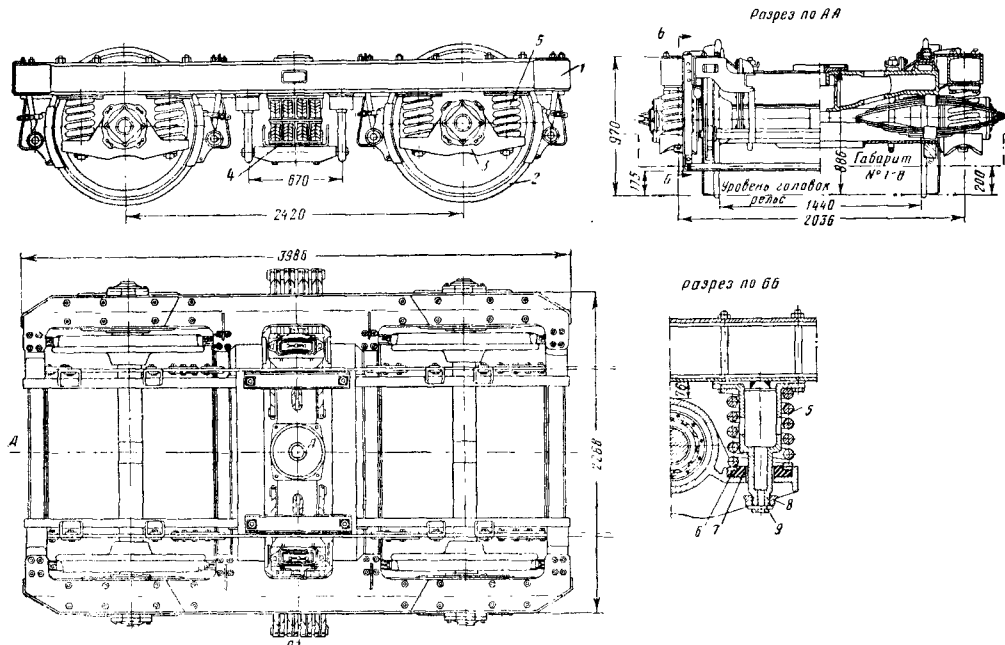
го подвешивания (вследствие перегрузок). Пружины выключаются и все удары от неровностей пути воспринимаются только надбуксовыми листовыми рессорами и передаются на раму.

Жесткий поворот тележки вокруг шкворня вызван неудовлетворительной работой подпятника тележки и шаровой пяты кузова вследствие больших выработок и заеданий по сфере, очерченной радиусом 160 мм (фиг. 28, 29). Кроме того, боковые роликовые скользуны тележек при наклоне кузова в кривых участках пути быстро изнашиваются и вызывают углубления в плоских скользунах кузова, что и создает дополнительный момент, препятствующий свободному повороту тележки.

Степennyй поворот тележек вызывает преждевременный подрез гребней колесных пар и износ рельсов.

В настоящее время вследствие указанных выше причин проектируются и изготавливаются опытные образцы новых сварных тележек моторных вагонов замкнутого сечения с опорпорамным подвешиванием тяговых двигателей, как например, на 3-вагонной электросекции Сн и проектируемой 10-вагонной секции ЭР-1.

Для прицепных вагонов за последнее вре-



Фиг. 33. Бесчелюстная тележка прицепного вагона электросекции ЭР; 1 — рама тележки; 2 — колесная пара; 3 — бокса роликовая; 4 — люлечное подвешивание; 5 — пружина; 6 — подкладка; 7 — амортизатор; 8 — гайка шпильки; 9 — шпилька

противление имеют тележки, тогда как кузов вследствие инерции стремится двигаться вперед, что также вызывает заклинивание люлечного бруса. Исследованиями установлено, что люлечные рессоры в это время выключаются и не работают. Особо вредно это отражается на тележке при следовании с большой скоростью по стрелкам и крестовинам.

Кроме того, в часы пик имеет место слишком малый свободный ход пружин рессорно-

го подвешивания (вследствие перегрузок). Пружины выключаются и все удары от неровностей пути воспринимаются только надбуксовыми листовыми рессорами и передаются на раму.

Наблюдение за работой этих тележек показало, что при больших скоростях они имеют заметное виляние. Последнее обстоятельство вызывает необходимость постановки амортизаторов.

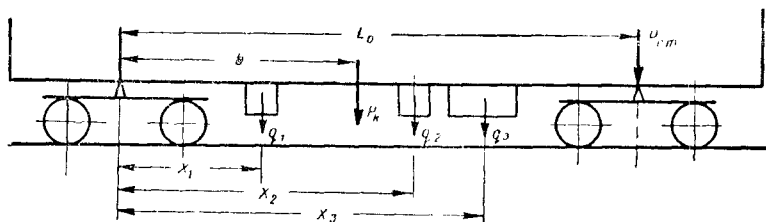
Расчетные режимы рамы тележки моторного электровагона. Тележка моторного электровагона подвергается воздействию стати-

ческой нагрузки от веса кузова, веса тягового двигателя и собственного веса.

Статическая нагрузка, приходящаяся на пятник правой тележки (фиг. 36), будет равна

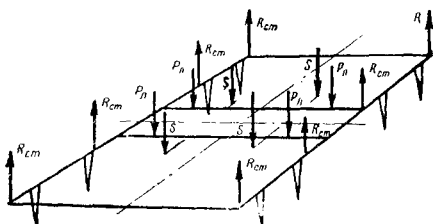
$$P_{cm} = \frac{P_k b + q_1 x_1 + q_2 x_2 + q_3 x_3 + \dots}{L_0},$$

где P_k — вес кузова при наибольшем за-
полнении пассажирами;
 q_1, q_2, q_3 — веса отдельных машин и электри-
ческих аппаратов подвагонного
оборудования;



Фиг. 36. Расчётная схема вагона

x_1, x_2, x_3 — их расстояния от левой пяты;
 b — расстояние от центра тяжести
кузова до левой пяты;
 L_0 — расстояние между пятами.



Фиг. 37. Расчётная схема тележки

Усилие P_n , приходящееся на каждую лю-
лечную подвеску рамы тележки (фиг. 37),
с учётом подрессоренного веса тележки P_n :

$$P_n = \frac{P_{cm} + P_m}{4} \text{ кг.}$$

Усилие S , действующее на раму через
каждый кронштейн подвески тяговых дви-
гателей от подрессоренного веса тягового дви-
гателя $0,5 P_{ds}$, где P_{ds} — полный вес тягового
двигателя,

$$S = \frac{P_{ds}}{4} \text{ кг.}$$

В результате воздействия всех этих сил
на кронштейнах буксового рессорного подве-
шивания возникают усилия

$$R_{cm} = \frac{P_{cm} + P_m + 4S}{8} \text{ кг.}$$

Динамическая нагрузка. Вертикальная ди-
намическая нагрузка учитывается путём ум-
ножения собственного веса вагона и полезной
нагрузки (или напряжений, полученных от

этих нагрузок) на коэффициент вертикальной
динамики.

Коэффициентом вертикальной динамики κ_d
называется отношение дополнительной дина-
мической нагрузки P_d на элемент конструкции
вагона к статической нагрузке P_{cm} :

$$\kappa_d = \frac{P_d}{P_{cm}}.$$

При расчёте вагонов значение коэффи-
циента вертикальной динамики определяют
по эмпирической формуле, предложенной
ЦНИИ МПС и НИИ Главвагона на основании

результатов динамических испытаний ряда
вагонов:

$$\kappa_d = a + \frac{0,01 v}{f_{cm}},$$

где a — коэффициент, равный: для элементов
кузова — 0,05, для обрессоренной ча-
сти тележки — 0,10 и для необрессо-
ренных частей — 0,15;

v — максимальная скорость движения,
установленная согласно техническим
условиям;

f_{cm} — статический прогиб рессорного под-
вешивания вагона.

Наиболее часто повторяющаяся величина
коэффициента вертикальной динамики сог-
ласно проведённым МИИТ опытам составляет
10%; максимальная величина достигает 40%.

**Реактивное усилие от работающего тяго-
вого двигателя.** В тележках моторных вагонов
тяговые двигатели располагаются навстречу
один другому и подвешиваются к среднему
равному креплению (фиг. 38).

При развитии движущей колёсной парой
силы тяги, равной F_{kn} , в точке подвешивания
двигателя к креплению будет возникать уси-
лие Z_n :

$$Z_n = \frac{F_{kn} D_k}{2L},$$

где D_k — диаметр движущего колеса.

Эти усилия у обоих двигателей будут на-
правлены в противоположные стороны и соз-
дадут опрокидывающий момент M , который
вызовет изменение усилий в кронштейнах
рессорных подвесок (фиг. 39), равное

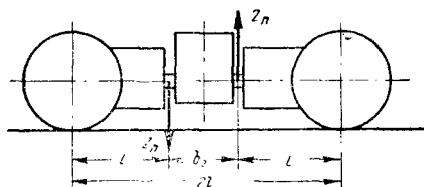
$$B = \frac{1}{4} \frac{M}{2l} = \frac{Z_n b_z}{8l},$$

где b_z — расстояние между опорными точками
двигателей на раме;

$2l$ — расстояние между колёсными па-
рами.

Кроме разобранных сил, при движении моторного электровагона на тележки воздействуют также следующие динамические усилия:

- а) центробежная сила и давление ветра;
- б) силы трения в опорных точках колёс в кривых;



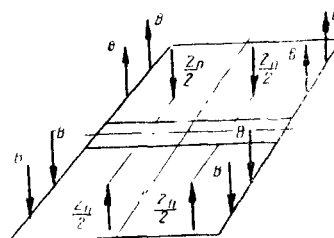
Фиг. 38. Схема подвески тяговых двигателей на тележке

- в) инерционные усилия кузова при торможении и разгоне;
- г) вертикальные кососимметричные силы;
- д) усилия, передаваемые от тормозной системы.

Методика определения этих сил изложена в ТСЖ, т. VI, стр. 714—750. Там же приве-

дены нормы расчётных нагрузок, методы расчёта, допускаемые напряжения и конструктивные требования для вагонов.

При расчёте тележек для каждого вида перечисленных нагрузок подсчитываются возникающие напряжения.



Фиг. 39. Схема действия реактивных сил от работы тяговых двигателей

Определение суммарных напряжений производится при наиболее невыгодных сочетаниях нагрузок.

Характеристика основных несущих элементов кузова

Таблица 9

Наименование элементов	Форма сечения	Размеры сечения
<i>Продольные элементы</i>		
Хребтовая балка	I	Два швеллера № 26 (260×90×10 мм)
Нижние боковые балки рамы	L	Уголок 130×90×10 мм
Нижняя балка подоконного бруса	L	» 130×90×10 »
Верхний обвязочный брус	T	Зет 80×65×6 мм
Надоконная балка	L	Уголок 30×20×3 мм
<i>Поперечные элементы</i>		
Средние несущие балки рамы	[Коробчатые штампованные переменной высоты с накладками сверху и снизу
Несущие балки	[Швеллер 180×70×8 мм
Шкворневая балка рамы] 260 [Коробчатые штампованные переменной высоты, сверху закрыты листом, снизу — широкой суживающейся накладкой
Стойки оконные	I	Уголок 60×40×6 мм
Стойки дверные и крайние угловые	T	Зет 100×75×6,5 мм
Дуги средней части крыши	—	Швеллер 50×38×5 мм
Дуги крыши под пантографом	L	Уголок 50×50×6 мм
<i>Обрешётка лобовых стенок</i>		
Буферный брус	I	Швеллер № 30 (300×100×11) мм
Угловые стойки	T	Зет 100×75×6,5 мм
Стойки промежуточные вертикальные	I	Швеллер 120×55×6,5 мм
Стойки лобовых тамбуриных дверей	[Швеллер 180×70×8 мм
<i>Обшивка каркаса</i>		
Нижний пояс боковой стенки	—	Лист толщиной 4 мм
Верхний пояс боковой стенки	—	» » 3 »
Лобовые стенки	—	» » 3 »

КУЗОВ

Классификация кузовов. По принципу восприятия нагрузки кузова подразделяются на следующие типы:

1) кузова с несущей рамой, у которых основную нагрузку воспринимает кузовная рама;

2) кузова с несущими боковыми стенками и рамой, у которых основную нагрузку воспринимают кузовная рама и боковые стенки. В этом случае боковые стенки устраиваются в виде решётчатой фермы или безраскосной системы с обшивкой, способной воспринимать боковую нагрузку;

3) цельнонесущие кузова, у которых рама, боковые стенки и крыша работают как одно общее сечение.

По конструктивному выполнению кузова делятся на:

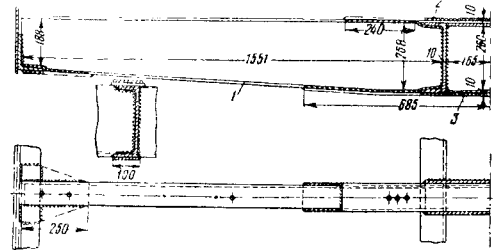
а) металлические, в которых дерево употребляется только для внутренней обшивки, отделки и перегородок;

б) цельнометаллические, в которых металл используется также и для внутренней обшивки и перегородок.

Кузова вагонов электросекций СР и Сд металлические и относятся к кузовам с несущими боковыми стенками и рамой. В зависимости от технологии изготовления кузова делятся на клёпанные и сварные. Кузова электровозов первых выпусков были клёпаны. Боковые стенки выполнены безраскосной системы с обшивкой из гладких стальных листов. На фиг. 40 показана металлическая сварная конструкция кузова моторного вагона.

Характеристика основных элементов кузова приведена в табл. 9.

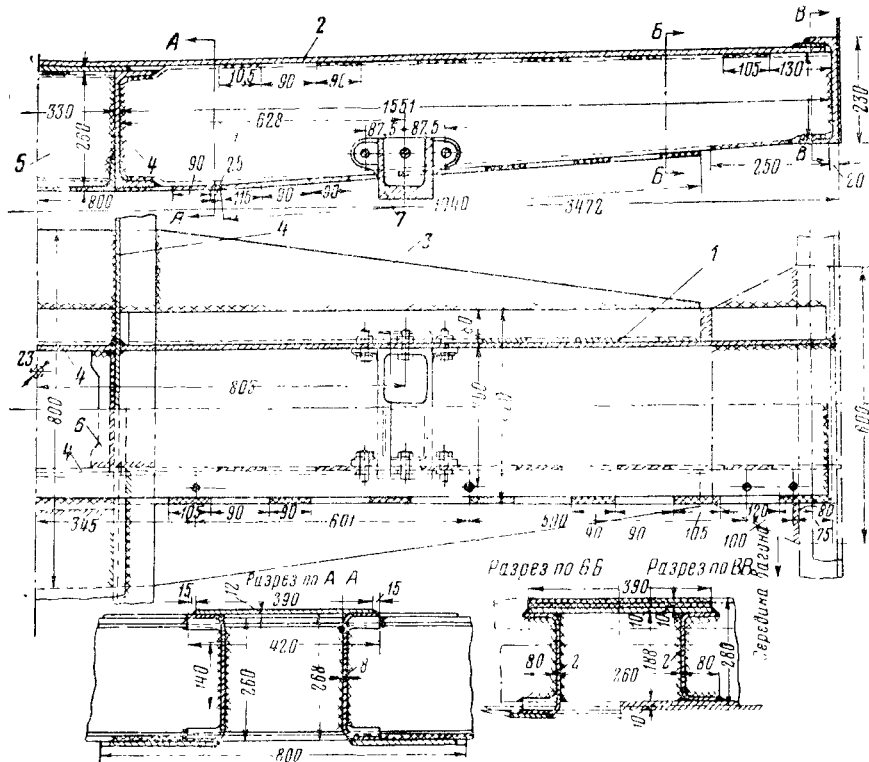
Рама кузова выполняется в виде системы продольных и поперечных балок. Средние продольные балки 3, состоящие из двух швеллеров $260 \times 90 \times 10$ мм, являются хребтовыми балками; около шкворневых опор они усилены горизонтальными накладками 4, при-



Фиг. 41. Несущая поперечная балка рамы кузова

варенными к полкам швеллеров. Боковые продольные балки 1 рамы выполнены из уголков $130 \times 90 \times 10$ мм, в концевых частях и у дверных проёмов они усилены угольниками 2 сечением $90 \times 60 \times 10$ мм.

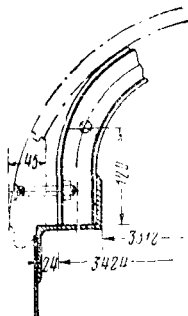
Поперечные балки рамы не только перераспределяют нагрузку между несущими боковыми стенками и хребтовой балкой, но и предохраняют последнюю от прогиба, особенно в средней её части, где значение изгибающего момента наибольшее. Для этого средние поперечные балки 5, как несущие, выполнены



Фиг. 42. Шкворневая балка рамы кузова

Конструкция лобовых стенок показана на фиг. 40. Обшивка их выполнена из листов толщиной 3 мм.

Крышесые дуги сделаны из швеллеров $50 \times 38 \times 5$ мм, в местах расположения пантографов установлены уголки $50 \times 50 \times 6$ мм. Сварные соединения крышесых дуг с верхним обвязочным брусом Z-образного сечения $80 \times 65 \times 6$ мм показано на фиг. 45.



Фиг. 45. Сварные соединения крышесых дуг

По дугам укладывается деревянный настил крыши с брезентовым покрытием. Внутренняя обшивка крыши состоит из досок толщиной 20 мм с фанерным покрытием и с прослойкой шевелина. Обшивка прикрепляется к деревянным брускам, связанным с дугами крыши. Деревянный настил пола выполнен из досок толщиной 35 мм и кладется на специальную деревянную раму из брусков 90×120 и 5×75 мм. Снизу деревянная рама имеет обшивку толщиной 13 мм; она укладывается на металлическую раму кузова вагона. Между верхним и нижним настилами укладывается слой шевелина. Верхний настил пола покрывается олифой и линолеумом. В полу моторного вагона имеются люки для осмотра тяговых двигателей.

Внутренняя обшивка стенок выполнена из деревянной раскладки и двух слоёв фанеры с прослойкой шевелина, уложенных по брускам, прикреплённым к металлическим стойкам. С внутренней стороны стенки оклеивают линкрустой.

Двери и окна. Боковые тамбурные двери электровагона делают двустворчатыми; притвором для них является общая средняя стойка. Двери из тамбура внутрь вагона — задвижные, сдвоенные, с одним общим средним притвором. Окна размером 900×950 мм имеют двойные рамы. Верхняя часть окон поднимается вверх.

Кузов снаружи окрашивают масляной краской, а затем покрывают масляным лаком или эмалью.

В средней части торцевой стороны кузова устанавливают раму упругой площадки для прохода из одного вагона в другой. Крепление рамы упругой площадки производится в нижней части к раме кузова посредством спиральных рессор, а в верхней части — к обрешётке кузова посредством шестирядной листовой рессоры.

Крайние вагоны электросекции упругими площадками не оборудуют.

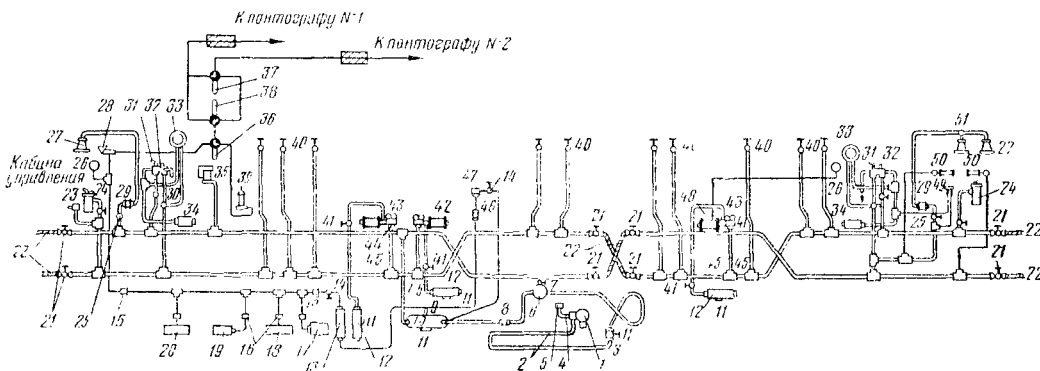
Ударно-тяговые приборы

Для сцепления вагонов между собой, а также для передачи и смягчения растягивающих и сжимающих усилий от одного электровагона к другому и удержания электровагонов на определённом расстоянии один от другого устанавливают ударно-тяговые приборы. В качестве ударно-тягового прибора на электровагонах устанавливают автоматическую сцепку типа СА-3 и фрикционный аппарат Ш-1-Т.

Описание конструкции, расчёт и особенности изготовления автосцепки СА-3 и фрикционного аппарата Ш-1-Т приведены в ТСЖ, т. VI, стр. 642—650.

Пневматическая сеть вагонов

Пневматическая схема моторного вагона C_3^P показана на фиг. 46.



Фиг. 46. Пневматическая схема моторного вагона C_3^P :

1 — мотор-компрессор; 2 — змеевик; 3 — воздухоочиститель; 4 — рукав всасывающего фильтра; 5 — фильтр; 6 — маслоотделитель; 7 и 11 — спускные краны; 8 — обратный клапан; 9 — предохранительный клапан; 10 — главный резервуар; 12 — запасной резервуар; 13 — резервуар управления; 14 — разобщительный кран; 15 — волосяной фильтр; 16 — изоляторы воздухопровода; 17 — ящик линейных контакторов; 18 — ящик реверсора; 19 — ящик реостатного контроллера; 20 — ящик мостовых контакторов; 21 — концевой кран; 22 — соединительный рукав; 23 — автоматический выключатель управления; 24 — контроллер машиниста; 25 — разобщительный кран; 26 — манометр резервуара управления; 27 — звуковой вибратор; 28 — клапан пантографа; 29 — клапан звукового вибратора; 30 — кран двойной тяги; 31 — кран машиниста; 32 — тормозной контроллер; 33 — манометр напорной и тормозной магистралей; 34 — уравнительный резервуар; 35 — регулятор давления; 36, 37, 38 — краны воздухопровода пантографов; 39 — ручной насос; 40 — стоп-краны; 41 — отпущенный клапан; 42, 48 — тормозные цилиндры; 43 — воздухораспределитель электропневматического тормоза; 44 — ускоряющий тройной клапан; 45 — пылеловка; 46 — обратный клапан; 47 — золотниковый питательный клапан; 49 — решитель перекрыши; 50 — стеклоочиститель; 51 — кран звукового вибратора

Сжатый воздух вырабатывается мотор-компрессором. Давление воздуха, поступающего от мотор-компрессора, принято равным 7 ат. Воздухопроводы и резервуары, в которые поступает сжатый воздух под давлением 7 ат, составляют так называемую напорную магистраль.

Для автоматической регулировки работы мотор-компрессора в напорную магистраль включён регулятор давления, который не позволяет давлению в напорной магистрали снижаться ниже 6 ат.

Питание электропневматических аппаратов для устойчивости их работы производится сжатым воздухом давлением 5 ат.

Снижение давления сжатого воздуха с 7 ат в главном резервуаре до 5 ат в резервуаре управления производится редукционным клапаном, который для предохранения от замерзания устанавливают под сиденьем в пассажирском помещении.

Чтобы не допустить обратного протекания воздуха при понижении давления в главном резервуаре по сравнению с давлением воздуха в резервуарах управления, в сеть включён обратный клапан.

Кран машиниста связан с напорной магистралью через кран двойной тяги. Этот кран служит для разобщения напорной магистрали от тормозной в вагонах, из которых не производится управление поездом.

Тормозное оборудование

На электросекциях применяются следующие виды тормозов:

- 1) электропневматический тормоз;
- 2) автоматический тормоз системы Вестингауза;
- 3) ручной тормоз.

Электропневматический тормоз и тормоз Вестингауза работают независимо один от другого, но при ведении поезда основным рабочим тормозом является электропневматический.

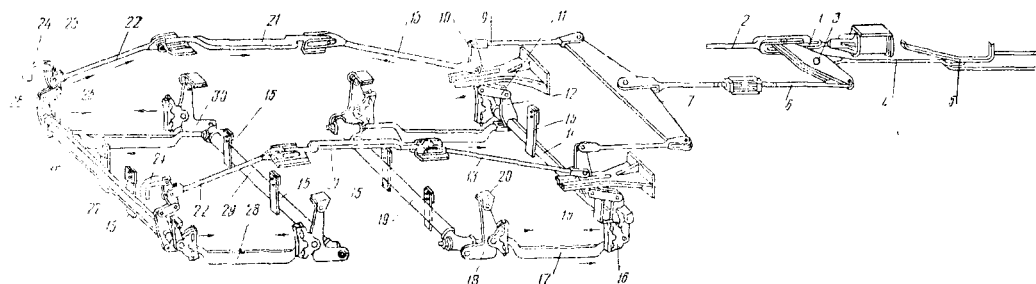
Основными достоинствами электропневматического тормоза являются:

- 1) одновременность торможения всех осей поезда независимо от длины состава;
- 2) сокращение тормозного пути на 20—30%, а также времени торможения;
- 3) неистощимость тормоза;
- 4) плавное ступенчатое торможение и ступенчатый отпуск с минимальными ступенями 0,1—0,2 ат;
- 5) конечное давление сжатого воздуха в тормозных цилиндрах не зависит от их объёма и выхода штока;
- 6) расход сжатого воздуха в процессе торможения уменьшается на 20—30%. При снятии напряжения или обрыве электрических цепей управление тормозами автоматически переходит на тормоз Вестингауза.

Установка электропневматического тормоза на подвижном составе не требует переустройства тормозного оборудования.

Ручной тормоз является резервным в случае порчи воздушного тормоза.

Описание тормозного оборудования, а также обслуживание, управление и уход за тормозами изложены в ТСЖ, т. VI, стр. 837—871.



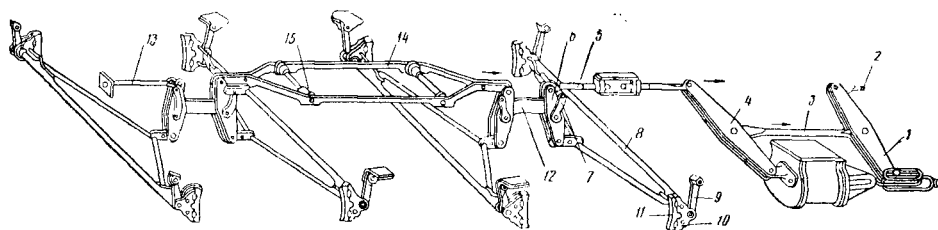
Фиг. 47. Схема рычажной передачи тележки моторного вагона;

1—горизонтальный ведущий рычаг; 2—тяга ручного тормоза; 3—шарнир ведущего рычага; 4—стойка; 5—кронштейн кузова вагона; 6—главная тяга; 7—поперечный балансир; 8—горизонтальная тяга; 9—серьга; 10—серьга; 11—серьга; 12—нижний вертикальный рычаг; 13—верхняя внутренняя тяга; 14—тормозной вал; 15—листовая пружина; 16—тормозной башмак; 17—нижняя тормозная тяга; 18—внутренний вертикальный рычаг; 19—тормозной вал; 20—кронштейн рамы тележки; 21, 22—тяги тормозные; 23—верхний вертикальный рычаг тяги; 24—кронштейн вертикального рычага; 25—серьга; 26—нижний вертикальный рычаг (серьга); 27—тормозной вал; 28—нижняя тормозная тяга; 29—тормозной вал; 30—внутренний вертикальный рычаг

Таблица 10

Основные данные тормозных цилиндров вагонов электросекций

Тип вагона	Диаметры тормозного цилиндра		Площадь поршня в см ²	Сила отпущенной пружины в кг			Диаметр проволоки пружины в мм
	в дюймах	в мм		в отпущенном состоянии	при ходе поршня 150 мм	при ходе поршня 200 мм	
Моторный	12	304,8	730	110/120	160/194	180/220	9/10
Прицепной	14	355,6	995	100/120	160/194	180/220	9/10



Фиг. 48. Схема рычажной передачи тележки прицепного вагона:

1—горизонтальный ведущий рычаг; 2—тормозная тяга; 3—затяжка рычагов 1 и 4; 4—горизонтальный ведомый рычаг; 5—тормозная тяга ведомого рычага; 6—вертикальный рычаг; 7—подвеска; 8—триангель; 9—подвеска триангеля; 10—тормозные башмаки; 11—колодки; 12—затяжка вертикальных рычагов 6; 13—тяга концевой поперечной балки тележки; 14—средняя тяга; 15—ролики средней тяги

Тормозные рычажные передачи

На моторных и прицепных вагонах применяется тормозная передача с двусторонним нажатием колодок на колесо. Каждая из тележек моторного вагона имеет самостоятельную рычажную передачу и обслуживается одним тормозным цилиндром и одним приводом ручного тормоза. Схема рычажной передачи тележки моторного вагона показана на фиг. 47.

Прицепной вагон оборудован одним тормозным цилиндром на обе тележки. Схема

рычажной передачи тележки прицепного вагона показана на фиг. 48.

Основные данные тормозных цилиндров приведены в табл. 10.

Расчёт тормозных рычажных передач. Расчёт тормозных рычажных передач изложен в ТСЖ, т. VI, стр. 865—866.

Расчёт на прочность деталей тормозной рычажной передачи всех типов вагонов должен производиться при давлении в тормозном цилиндре $p = 3,5 \text{ ат}$; при этом диаметр тяги не должен быть меньше 22 мм.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ВАГОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНОВ

На Московском метрополитене эксплуатируются вагоны типов: А и Б постройки 1934—1939 гг., Г — постройки 1940—1952 гг. и вагоны типа Д постройки 1949 г.

Поездная единица типов А и Б (секция) состоит из одного моторного и одного прицепного вагонов. Вагоны типов Г и Д все моторные.

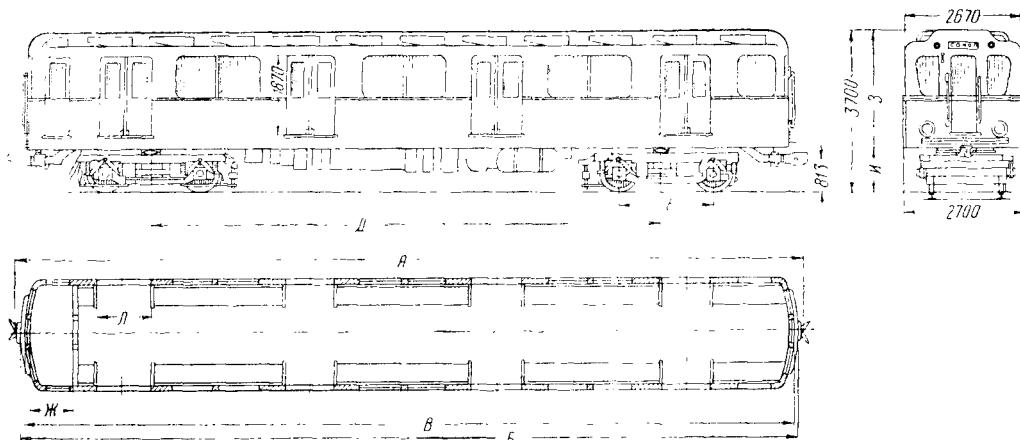
Все вагоны цельнометаллические, сварной конструкции. Основные данные их приведены в табл. 1, 2 и 3, а габаритные размеры показаны на фиг. 1.

ВАГОНЫ ТИПОВ А и Б

Кузов

Каркас и рама кузова изготовлены из углеродистых сталей марок Ст. 3 и Ст. 20.

Кузов, тележки и другие элементы механического оборудования вагонов типов А и Б имеют одинаковую конструкцию и отличаются лишь отдельными деталями. Средние и концевые хребтовые балки рамы кузова выполнены из швеллера № 16, боковые продольные



Фиг. 1. Габаритный чертёж вагонов Московского метрополитена

Таблица 1

Основные технические данные вагонов метрополитена

Технические данные	Измери- тели	Типы вагонов		
		А и Б	Г	Д
Максимальная скорость дви- жения	км/час	65	75	75
Количество двигателей на моторный вагон	—	4	4	4
Мощность одного двигателя	квт	151	83	73
Напряжение двигателя	в	750	375	375
Ускорение при пуске на площадке	м/сек ²	0,8	1,0	1,0
Замедление при служебном торможении на площадке с авторежимом	»	При на- рузке 6 т с авто- режимом	0,8	1,0
Замедление при автосто- пном торможении на пло- щадке с авторежимом	»	1,0	1,0	1,0
Число мест для сидения	—	50	44	44
Число мест для стояния при заполнении 4—5 чел. на 1 м ² свободной площа- ди пола	—	120	120	120
Число мест для стояния при максимальном запол- нении 8 чел. на 1 м ² пола	—	200	206	206
Общее число мест при ма- ксимальном заполнении	—	250	250	250

Таблица 2

Основные габаритные размеры вагонов метрополитена

Наименование	Обозначение на фиг. 1	Основные размеры в мм		
		для вагонов типа		
		А и Б	Г	Д
Длина кузова по наружным стенкам	В	18 400	18 770	18 770
Длина кузова по отбойным брусам	Б	18 800	19 000	18 770
Длина вагона по центрам голов автосцепок	А	18 910	19 110	19 160
Ширина вагона	—	2 700	2 700	2 700
Высота вагона от головки рельса	—	3 700	3 700	3 700
Высота пола от головки рельса	И	1 250	1 250	1 240
Высота автосцепки от го- ловки рельса	—	813	813	875
База вагона	Д	12 400	12 600	12 600
» тележки	Е	2 500	2 500	2 100
Диаметр колеса	—	900	900	900
Высота двери	—	1 870	1 870	1 870
Ширина дверного проёма	Л	1 240	1 140	1 140
Длина кабины машиниста	Ж	1 250	1 150	1 150
Ширина прохода между ди- ванами	—	1 270	1 280	1 280
Высота кузова	З	2 664	2 664	2 664

балки—из швеллера № 18; поперечные балки из двух угольников 75 × 50 × 8 мм, соединённых между собой планками. Шкворневые балки сварены из листов и угольников. В средней их части укреплены литые пятники; на вагонах А — плоские и на вагонах Б — сферические.

Торцовая часть рамы выполнена из швеллера № 18, усиленного в средней части приваренным ребром жёсткости.

Дверные и оконные стойки каркаса кузова изготовлены из угольников № 6 и 4. Дверные стойки соединены сверху наддверным поясом

Таблица 3

Весы основных элементов оборудования вагонов метрополитена

Наименование элемента	Вес основных элементов в кг			
	для вагонов типа			
	А и Б		Г	Д
	Мо- тор- ный	При- цеп- ной		
Тара вагона	51 700	36 300	43 700	36 200
Тележка с тяговым дви- гателем	13 500	6 000	11 450	9 250
Рама тележки	1 850	1 800	1 850	1 350
Автосцепки	500	500	500	300
Тяговый двигатель	2 700	—	1 550	700
Электрические аппараты	3 700	1 000	2 006	1 900
Кондуиты	700	100	670	170
Наружная обшивка	1 430	1 430	1 195	960
Ось колёсной пары	460	350	460	350
Рама кузова с деталями подвески	4 500	4 500	3 710	3 540
Мотор-компрессор	700	700	700	350
Максимальная нагрузка на вагон	18 000	18 000	18 000	18 000

из листовой стали толщиной 3 мм, оконные стойки — надоконными и подоконными брусками.

Снаружи кузов обшит листами толщиной 3 мм. С внутренней стороны для поглощения шума эта обшивка оклеена асбестовой изоляцией.

Вагон имеет крышу фонарного типа, которая образуется дугами, выполненными из стержней V-образного сечения со стенками толщиной 3 мм. Дуги покрыты стальными листами толщиной 1,5 мм.

С обеих сторон фонаря крыши имеются прорези для вентиляции вагона. На вагонах А они закрываются металлическими створками, допускающими регулировку вентиляции, на вагонах Б — они прикрыты черпаками, обеспечивающими более интенсивный забор воздуха.

Внутри каркас кузова обшит листами толщиной 1 мм. Стены оклеены линокрустом, окрашенной масляной краской; потолок обтянут холстом или полотном и покрыт белилами.

Снаружи вагон окрашен масляной краской. В виде опыта несколько вагонов покрыты нитрокраской. Цвет окраски нижнего пояса — темно-голубой, верхнего — светло-голубой.

Пол вагона выполнен из волнистой оцинкованной стали толщиной 1,5 мм, которая заливается ксилолитом на высоту 40 мм. Сверху ксилолит покрывается линолеумом толщиной 3 — 5 мм.

Каждый вагон имеет кабину машиниста, отделённую от пассажирского помещения металлической перегородкой. В средней части перегородка имеет дверь, а с обеих сторон двери — открывающиеся люки для осмотра размещённых в перегородке проводов.

По обеим сторонам вагона расположены диваны. Диваны имеют металлические каркасы и съёмные мягкие подушки, обтянутые кожей или её заменителем.

По краям диванов установлены стойки, упирающиеся в потолок. Смежные стойки соединены металлическими поручнями. Стойки и поручни выполнены из труб и никелированы.

С каждой стороны вагона имеется по четыре раздвижных двустворчатых двери в пассажирское помещение, управляемых посредством сжатого воздуха из кабины машиниста.

Дверные створки металлические с двусторонней обшивкой. В торцевой их части установлено резиновое уплотнение, смягчающее удар при закрывании дверей. Створки подвешены в дверном проёме на рейке при помощи двух роликов. В верхней части створок установлены оконные стёкла толщиной 6 — 8 мм.

С левой стороны вагона расположена дверь в кабину машиниста, а по обоим торцам — торцовые двери.

В пассажирском помещении имеется с каждой стороны по 7 оконных проёмов с опускающимися на 200 мм остеклёнными рамами. Торцовые части вагона имеют по два остеклённых оконных проёма. С правой стороны в кабине расположено также окно с опускающейся рамой. На лобовом окне кабины машиниста установлено приспособление для очистки стекла снаружи.

Пассажирское помещение освещается 30 вакуумными лампами 60 вт, 127 в. Лобовая стенка в нижней части вагона имеет вырезы, в которых установлено два белых прожектора;

в верхней части вагона установлено два красных сигнальных фонаря.

Вагоны снабжены автосцепкой типа ИРТ-3 с полужёстким сцеплением головок. Передняя часть автосцепки поддерживается на радианте, прикреплённом болтами к раме кузова. Гнёзда для крепления водила автосцепки установлены с обеих сторон рамы кузова, между концевыми хребтовыми балками.

Автосцепка рассчитана на рабочую нагрузку 40 т.

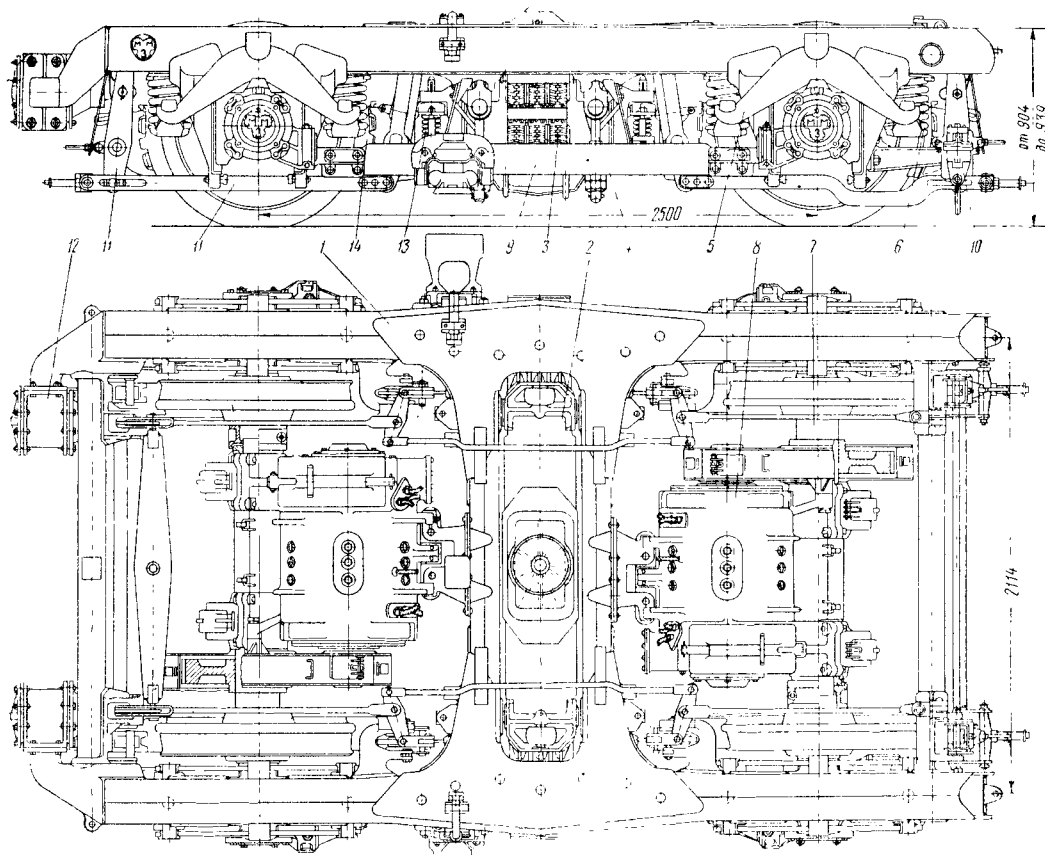
Тележка

Вагоны снабжены тележками типа УБ. Эти тележки имеют такую же конструкцию, как тележки типа УГ вагонов типа Г (фиг. 2).

Рама тележки выполнена из двух продольных, двух средних поперечных и двух концевых поперечных балок. Продольные и средние поперечные балки сварены из штампованных профилей стали марки Ст. 20 замкнутого сечения.

Продольные балки имеют толщину стенок 13 мм, а средние поперечные — 10 мм.

Концевые поперечные балки изготовлены из стальных труб (Ст. 10) диаметром 114 мм,



Фиг. 2. Тележка УГ вагонов типа Г: 1 — рама тележки; 2 — люлочная балка с пятником и роликовыми скользунами; 3 — люлочные рессоры; 4 — болты подвески люльки (на вагонах последнего выпуска применена безрезьбовая подвеска); 5 — балансир надбуксового подвешивания; 6 — надбуксовые пружины; 7 — колёсная пара; 8 — тяговый двигатель; 9 — брус токоприёмника и токоприёмник; 10 — срывной клапан автостопа; 11 — рычажная передача тормоза; 12 — тормозные цилиндры; 13 — моторное подвешивание; 14 — тормозная колодка

со стенками толщиной 10 мм и соединены спродольными при помощи специальных литых башмаков, которые одновременно являются и кронштейнами для крепления тормозных цилиндров и подвесок.

Косынки, соединяющие средние поперечные балки с продольными, выполнены из листовой стали толщиной 8 мм. Сварные швы продольных балок шлифуются.

На средних поперечных балках заклёпками прикреплены кронштейны для подвески тяговых двигателей.

К продольным балкам приварены стальные буксовые лапы, обхватывающие балки с двух сторон. К внутренней части буксовых лап приварены сменные стальные челюсти. Тележка имеет двойное рессорное подвешивание: люлечное на эллиптических рессорах и надбуксовое на двухрядных пружинах, установленных на балансирах. Общая статическая просадка кузова под максимальной нагрузкой составляет около 60 мм.

На верхнем люлечном брусce располагаются подпятник и боковые роликовые скользящие. Этот брус посредством двух люлечных рессор опирается на нижний люлечный брус, установленный на ножевые балансиры, подвешенные каждый к раме тележки на двух болтах.

Зазор между плоскими скользящими кузова и роликовыми скользящими тележки составляет около 5 мм. Через пятник кузова и подпятник люльки проходит шкворень диаметром 58 мм.

Подвеска тягового двигателя — трамвайного типа с опорой на кронштейны рамы тележки через пружинную траверсу и на ось колёсной пары через два моторно-осевых подшипника, имеющих бронзовые вкладыши марки ОЦС 5-5-5 или ОЦС 4-4-17.

Моторно-осевые подшипники работают на консистентной смазке типа кулисной.

Максимальный зазор между вкладышем и осью допускается до 1,2 мм, что обеспечивает срок службы вкладышей около 200 000 км.

С противоположной стороны от зубчатого колеса устанавливается стопорное кольцо.

Колёсные пары

Ось колёсной пары изготавливается из стали марки Ст. 5 по техническим условиям паровозных осей и имеет диаметр подступичной части 200 мм на моторном вагоне и 170 мм на прицепном. Диаметр шеек оси 120 мм. Галтели шеек выполнены двумя радиусами: 10 и 25 мм.

Колёса состоят из литых дисковых центров, изготовленных из углеродистой стали марки 15-40-24. В ступице с внутренней стороны выточена конусная канавка для уменьшения концентрации напряжений в оси.

Бандажи имеют диаметр 900 мм, толщину 75 мм и ширину 130 мм. Износ бандажей допускается на 35 мм. Расстояние между внутренними гранями бандажей сформированной колёсной пары 1440 ± 3 мм.

Бандаж надевается на центр в горячем состоянии с натягом 0,8 — 0,9 мм и закрепляется бандажным кольцом.

Колёсные центры моторных вагонов напрессовываются на ось под давлением 65 — 90 т при наличии бандажа и 50 — 75 т — без бандажа. Давление при запрессовке колёс-

ных пар прицепных вагонов на 5 т меньше, чем у моторных.

Корпуса букс колёсных пар выполнены из стального литья и имеют приваренные наличники из Ст. 3 толщиной 3 мм. Разбег колёсной пары в поперечном направлении допускается 1—10 мм и в продольном 1—6 мм.

Каждая букса имеет двойные роликовые подшипники: с внутренней стороны № 42624 и с наружной № 52624.

Уплотнение букс с внутренней стороны — лабиринтовое. На оси колёсной пары прицепных вагонов устанавливается кольцо заземляющего устройства.

Зубчатая передача

Зубчатая передача цилиндрическая с прямыми зубьями и передаточным числом 3,95. Модуль инструмента 10. Зацепление ФАУ с углом 20°.

Зубчатое колесо состоит из литого центра, на который насаживается венец. Венец изготовлен из углеродистой стали марки Ст. 50; он подвергается нормализации (нагреву до 800° и медленному охлаждению на воздухе) и закалке с высоким отпуском.

Зубчатое колесо насаживается на ось колёсной пары моторного вагона на расстоянии 6 мм от ступицы колеса конусной посадкой под давлением 30 — 55 т.

Шестерня изготавливается из хромоникелевой стали марки 20ХНЗА с цементацией и последующей поверхностной закалкой. Зубья шестерни шлифуются.

Твёрдость поверхности зубьев зубчатого колеса составляет 300, а шестерни — до 500 по Бринеллю.

В кожух зубчатой передачи заливается 1 — 1,5 л тракторного нитрола.

Зубчатые передачи обеспечивают пробег 1 млн. км и более.

Тормоз и рычажная передача

Рабочим и экстренным тормозом служит пневматический бандажный колодочный тормоз. Кроме того, вагоны оборудованы ручным тормозом, использующим ту же систему рычажной передачи. В качестве аварийного тормоза может быть использовано электрическое торможение, осуществляемое путём короткого замыкания тяговых двигателей.

Тормозные колодки — бакелитовые, срок службы их составляет от 2 до 3 месяцев при износе около 1 мм на 1 000 км пробега.

Применение бакелитовых колодок вызывает образование на поверхности бандажа сетки трещин термического характера, что требует отточки бандажей через каждые 140 — 180 тыс. км. В настоящее время вагоны оборудуются электрическим реостатным торможением.

ВАГОНЫ ТИПА Г

Кузов

Вагоны типа Г имеют кузов с более закруглённой лобовой частью, чем вагоны типов А и Б, и скругления в углах оконных и дверных проёмов.

Каркас и рама кузова выполнены сварными из штампованных профилей стали марки Ст. 20.

Применение штамповки и сокращение толщины наружной обшивки до 2,5 мм обеспечило уменьшение веса кузова на 2 т.

Боковые продольные балки рамы кузова выполняются из штампованного коробчатого профиля размером $180 \times 75 \times 6$ мм, сваренного по длине из четырёх кусков. Концевые части этих балок загнуты внутрь кузова для обхвата его лобовой части.

Шкворневые балки сварены из листовой стали толщиной 8 мм и имеют также коробчатое сечение. Снизу к нижнему листу приварена накладка толщиной 10 мм для крепления плоского цилиндрического подпятника.

Между шкворневыми балками расположено 11 штампованных поперечных балок, выполненных из швеллера размером $160 \times 65 \times 65$ мм с прорезями для прохода труб и кондуктов.

Между поперечными балками в средней части рамы сварены штампованные звенья в виде швеллеров размером $160 \times 65 \times 65$ мм, образующие средние продольные балки. На концах рамы установлены концевые хребтовые балки.

Торцовая часть рамы кузова представляет собой замкнутую коробку, впереди которой находится лобовая балка, штампованная из стали толщиной 8 мм в виде выгнутого швеллера, внутри которого сварено ребро жёсткости.

Дверные стойки Z-образного сечения со стенками толщиной 5 мм. Оконные стойки выполнены частично в виде швеллеров размером $111,5 \times 35 \times 3$ мм и частично в виде стержней Ω -образного сечения со стенками толщиной 2 мм.

Количество окон такое же, как и на вагонах типов А и Б.

Форма и конструкция крыши аналогичны крыше вагонов типа Б. Вентиляция черпакового типа. Вверху лобовой части вырезано окно для маршрутного указателя следования поезда, обрамлённое внутри приваренной рамкой. В кабине машиниста вентиляция регулируемая.

Вагоны имеют деревянный пол из сосновых досок толщиной 25 мм, которые подвергаются огнестойкой пропитке. Доски снизу обшиты листовым асбестом и кровельным железом. Сверху пол покрыт линолеумом. Конструкция диванов и окраска вагонов аналогичны вагонам типа Б.

Пассажирское помещение освещается 30 газонаполненными лампами 60 вт, 127 в, расположенными в закрытых плафонах.

Тележка

Вагоны снабжены тележками типа УГ, которые в основном аналогичны тележкам вагонов А и Б и отличаются от них лишь конструкцией кронштейнов для подвески тяговых двигателей и пятниками.

Пятники вагонов типа Г — плоские, плавающего типа.

Нижний пятник свободно (без крепления) лежит на верхнем люлечном брус в толстых резиновых прокладках, воспринимающих как вертикальные, так и горизонтальные нагрузки.

9 Том 9

Зубчатая передача

Зубчатая передача цилиндрическая с косым зубом и углом спирали 8° . Модуль инструмента 10, зацепление ФАУ с углом 20° . Передаточное число 4,65.

Зубчатые колёса и шестерни цельнокованные из стали 37ХНЗА с твёрдостью 225 — 270 по Бринеллю.

Шестерни подвергаются поверхностной закалке, повышающей их твёрдость до 500 по Бринеллю.

Зубчатое колесо насаживается на ось на расстоянии 94 мм от центра колеса с цилиндрической посадкой.

Кожух зубчатой передачи прикрепляется тремя болтами к подшипниковому щиту тягового двигателя.

Тормоз и рычажная передача

Основным способом торможения этих вагонов является электрическое реостатное торможение. Экстренным тормозом служит пневматический бандажный колодочный тормоз; этот тормоз используется также при движении на малых скоростях. Кроме того, вагоны снабжены ручным тормозом.

Тормозные колодки — бакелитовые; срок службы их составляет около 2 — 3 лет при износе 1 мм на 12 тыс. км пробега.

Остальное механическое оборудование вагонов типа Г — буксовое и люлечное подвешивание, оси колёсных пар, буксовые подшипники, буксы, автосцепка, подвеска тяговых двигателей — аналогично соответствующему оборудованию вагонов типа Б.

ВАГОНЫ ТИПА Д

Вагоны типа Д на 17% легче вагонов типа Г и имеют подрессоренную подвеску тяговых двигателей с карданной передачей и более совершенную электрическую схему.

Облегчение вагона типа Д достигнуто благодаря применению новой системы подвески тяговых двигателей, усовершенствованной конструкции тележек и автосцепки, облегчению кондуктов, компрессора и т. д.

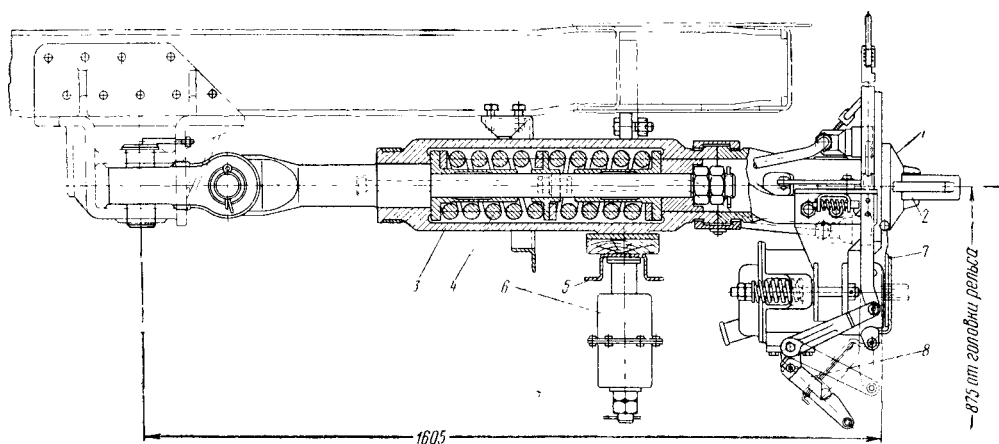
Кузов

Кузов вагона типа Д в основном аналогичен кузову вагона типа Г. Все поперечные и средние продольные балки кузова унифицированы, лобовой отбойный брус рамы выполнен без рёбер и произведено усиление каркаса в углах средних дверных проёмов, в нижних углах крайних двойных оконных проёмов и в лобовых стойках. Наружная обшивка выполнена из листов Ст. 3 толщиной 2 мм. Пятники кузова имеют сферическую форму.

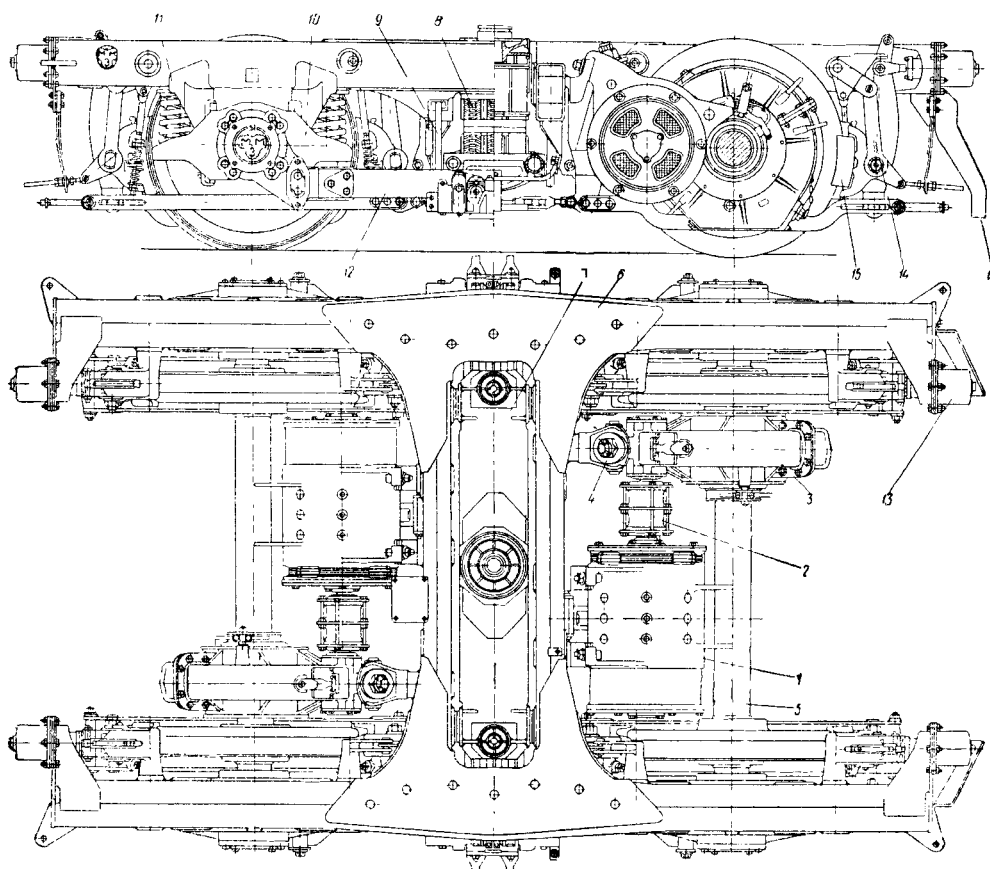
Автосцепка

Автосцепка (фиг. 3) комбинированная, жёсткого типа. Она осуществляет сцепление вагонов с одновременным соединением воздушных проводов и электрических цепей.

Головка автосцепки 1 представляет собой тонкостенный полый литой корпус, передняя часть которого оканчивается буферным фланцем. Слева фланца выступает конус с проёмом, в котором размещена сцепная скоба 2



Фиг. 3. Автосцепка вагонов типа Д



Фиг. 4. Тележка вагонов типа Д: 1—тяговый двигатель; 2—карданная муфта; 3—редуктор; 4—подвеска редуктора; 5—колёсная пара; 6—рама тележки; 7—люлочная балка с пятником и боковыми скользящими; 8—люлочные рессоры; 9—люлочная подвеска (безрезьбовая); 10—крыльчатая букса; 11—пружины надбуксового подвешивания; 12—брус токоприёмника; 13—тормозные цилиндры; 14—рычажная передача тормоза; 15—тормозная колодка; 16—метельник

Справа имеется конусная воронка, размеры которой соответствуют выступающему конусу. При сцепке конус одной автосцепки заходит в воронку другой.

Ударно-тяговый прибор состоит из водила 3 и двух цилиндрических пружин 4, при тяге и при ударе пружины работают на сжатие.

Головка автосцепки опирается на П-образный радиант 5. Пружинные амортизаторы 6 дают возможность регулировать высоту её установки.

Электрическая часть автосцепки 7 состоит из литого корпуса, подвешенного к головке, внутри которого расположена панель с электрическими контактами. Для соединения электрических цепей корпус с панелью системой рычагов 8 перемещается вперёд.

Сверху и снизу буферного фланца головки автосцепки расположены два отверстия для установки клапанов напорной и тормозной воздушных магистралей. Все детали механической части автосцепки рассчитаны на тяговое усилие 10 т и удар 12 т.

Тележка

Тележка (фиг. 4) штампованная сварная, двойного подвешивания.

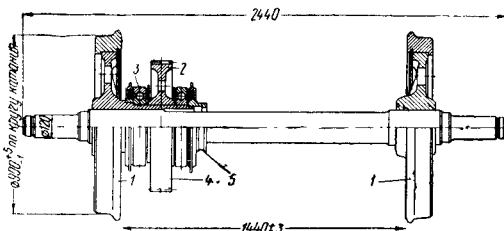
Рама её в основном аналогична раме тележки УГ, но без концевых поперечных балок.

Продольные балки имеют толщину стенок 10 мм. Средние поперечные балки выполнены так же, как и на тележках УГ, но места для установки шарниров люлечных подвесок значительно усилены.

Люлечное подвешивание выполнено глухим на плоских подвесках. Люлечные рессоры — листовые, эллиптические, с переменной гибкостью.

Буксовое подвешивание безбалансирное с пружинами, опирающимися на крылья буксы. Рама тележки опирается на буксовые пружины через резиновые прокладки.

Пятник сферический с резиновыми амортизаторами. Боковые скользуны — плоские с чугунной опорной чечевицей. Регулировка зазора между боковыми скользунами производится посредством установки подкладок под опоры кузова.



Фиг. 5. Колёсная пара вагонов типа Д

Колёсные пары

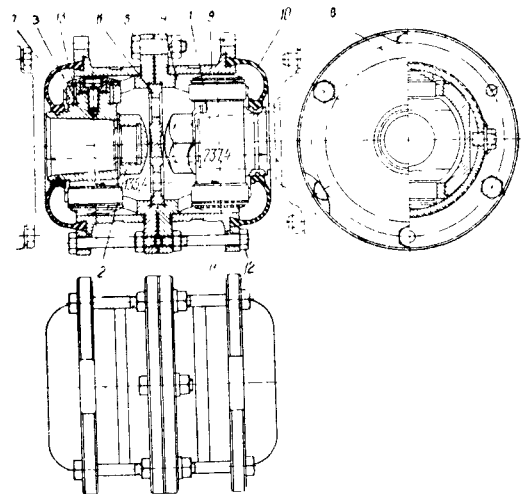
Колёса (фиг. 5) временно бандажные на литых центрах 1. Одно из колёс, расположенное со стороны редуктора, имеет удлинен-

ную ступицу для посадки на неё зубчатого колеса 2, шарикоподшипников 3, кожуха 4 и заземляющего кольца 5.

Ось колёсной пары аналогична осям вагонов типа Г, но подступичная часть имеет диаметр 170 мм. Буксы — крыльчатого типа; буксовые подшипники такие же, как и на вагонах типов А, Б и Г.

Подвеска двигателя и передача (см. фиг. 4)

Тяговые двигатели 1 подвешены консольно на кронштейне средних поперечных балок рамы тележки.



Фиг. 6. Карданная муфта

Передача вращающего момента осуществляется через карданную муфту 2 к редуктору, заключённому в жёсткий кожух 3.

Передаточное число $\frac{86}{15} = 5,73$; модуль 7,5.

Шестерня редуктора откована вместе с валом из стали 37ХН3А и закрепляется в кожухе 3 при помощи шариковых подшипников № 313 и 314.

Зубчатое колесо цельнокованное из стали 37ХН3А с шириной зубьев 108 мм.

Кожух редуктора опирается с одной стороны на шариковые подшипники № 244, расположенные на удлинённой ступице колеса, а с другой стороны подвешивается на специальном рычаге 4 к кронштейну рамы тележки. Уплотнение кожуха — лабиринтовое.

Карданная муфта (фиг. 6) — кулачкового типа допускает смещение осей тягового двигателя и шестерни на 4°. Тяговый двигатель может перемещаться вместе с рамой тележки относительно колёсной пары по вертикали на 30 мм, поперёк пути от 1 до 8 мм и вдоль пути от 2 до 6 мм.

Кулачки муфты 1 напрессовываются в горячем состоянии на концы валов двигателя и шестерни и закрепляются фасонной гайкой 2. На двух диаметрально противоположных выступах каждого кулачка на игольчатых подшипниках 3 установлены втулки 7, укреплен-

ные грибок 13. Между грибком и втулкой установлен шариковый подшипник.

Каждый кулачок вставляется в вилку 4 таким образом, что его втулки располагаются между упорами 8. Упоры изготавливаются из стали 20ХНЗА. Рабочая поверхность их закаливается с предварительной цементацией.

На вилки надеваются стаканы 9 с отверстиями для заполнения смазкой. С торцов стаканы закрываются резиновыми колпачками 10, допускающими некоторое перемещение стаканов относительно кулачков. Резиновые колпачки укрепляются с одной стороны на теле кулачка и с другой — прижимаются к стаканам шайбой 11.

Шайба и стакан крепятся к вилке болтами 12.

В настоящее время резиновые колпачки заменяются металлическими уплотняющими щитками.

Вилки двигателя и шестерни во фланцах соединяются между собой болтами 5. Для центрирования соединения имеется промежуточное упорное кольцо 6.

Тормоз и рычажная передача

Тормозные устройства на вагонах типа Д аналогичны устройствам вагонов типа Г. Механический тормоз этих вагонов имеет рычажную передачу отдельно на каждое колесо, которое тормозится от своего тормозного цилиндра диаметром 150 мм. Ручной тормоз воздействует только на колеса одной стороны вагона.

ПОДВЕСКА И ПРИВОД ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

На электроподвижном составе вследствие простоты конструкции широкое распространение получила опорно-осевая подвеска тягового двигателя, так называемая трамвайная подвеска, когда тяговый двигатель непосредственно связан с осью. Однако с повышением скоростей движения и увеличением мощности тягового двигателя необрессоренный вес его оказывает неблагоприятное динамическое воздействие на детали колёсной пары, зубчатой передачи, верхнего строения пути и др., а также ухудшает условия коммутации тягового двигателя. Снижение необрессоренного веса тягового двигателя требует отказаться от опорно-осевого подвешивания и перейти к опорно-рамному подвешиванию.

Опорно-рамным подвешиванием называется такое, при котором тяговый двигатель укреплен на раме тележки или электровоза. Вращающий момент от вала якоря тягового двигателя к оси колёсной пары передается через привод, обеспечивающий передачу момента при возможных осевых и угловых относительных перемещениях обрессоренных и необрессоренных частей.

Эти величины зависят от разбегов колёсных пар, жёсткости рессорного подвешивания, точности монтажа и других факторов.

Для электровозов с подшипниками скольжения и жёсткостью рессорного подвешивания, приходящейся на буксовый узел, 130—150 кг/мм привод должен обеспечивать передачу вращающего момента при следующих смещениях:

- а) поперечное (осевое) смещение колёсной пары ± 9 мм;
- б) продольное смещение ± 4 мм;
- в) перекос надбуксовых рессор ± 25 мм.

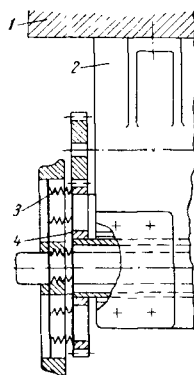
ПРИВОД ПРИ ОПОРНО-РАМНОМ ПОДВЕШИВАНИИ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Конструкции приводов, получивших распространение на практике, разбивают на две основные группы:

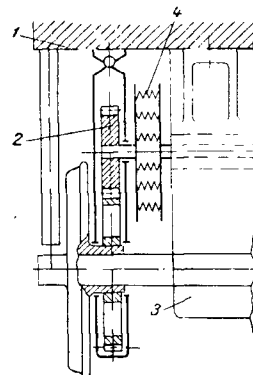
в первой группе подвижные элементы привода размещаются между дисками колёсного

центра и полового вала или большим зубчатым колесом (фиг. 1);

во второй группе подвижные элементы привода размещаются между двигателем и шестерней (фиг. 2).



Фиг. 1. Схема привода первой группы: 1 — рама тележки; 2 — тяговый двигатель; 3 — подвижные элементы привода; 4 — зубчатое колесо



Фиг. 2. Схема привода второй группы: 1 — рама тележки; 2 — шестерня; 3 — подвижные элементы привода; 4 — тяговый двигатель

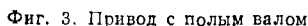
Существуют ещё два вида приводов, когда подвижные элементы размещаются в зубчатом колесе или в плоскости шестерни и зубчатого колеса. Однако эти виды приводов мало распространены и не представляют практического интереса.

В конструкциях приводов первой группы подвижные элементы передают наибольший вращающий момент, равный произведению силы тяги на радиус колеса, в то время как в приводах второй группы момент, передаваемый подвижными элементами, меньше в передаточное число раз зубчатых колёс.

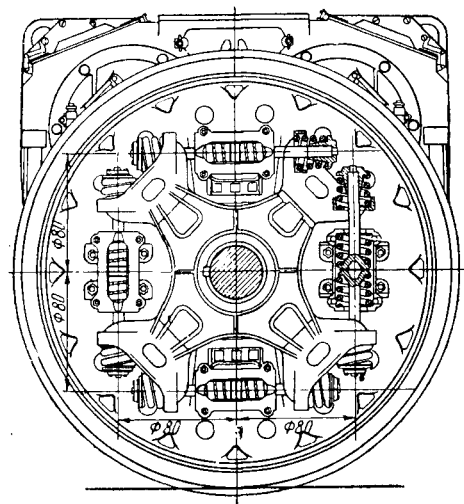
Первая группа приводов

Из большого числа разновидностей конструкции приводов первой группы наиболее широкое распространение получил привод с полым валом. На фиг. 3 показан привод, применяемый на советском электровозе ПБ,

При взаимном перемещении обрессоренных и необрессоренных частей электровоза в любых направлениях пестик перекачивается по пластине, трение скольжения заменяется трением

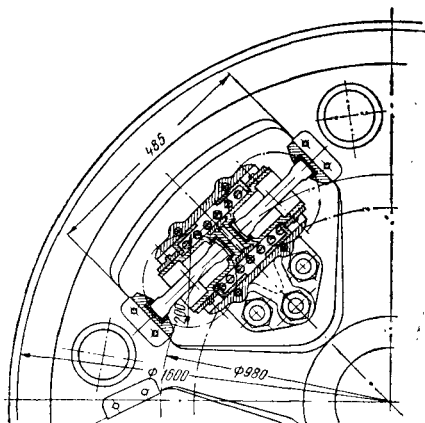


Приводы этой группы обладают рядом недостатков: ступица колёсного центра получается укороченная, поэтому напряжения в месте перехода оси в предступичную часть



Фиг. 5. Привод с полым валом и пружинно-рычажной муфтой

Несколько упрощённой конструкцией кулачка обладает привод Сешерона. Кулачок состоит из цилиндрической винтовой пружины круглого сечения, которая одним концом жёстко закрепляется в чашку кронштейна диска полого вала, а другим в чашку ступицы колёсного центра. Для такого размещения



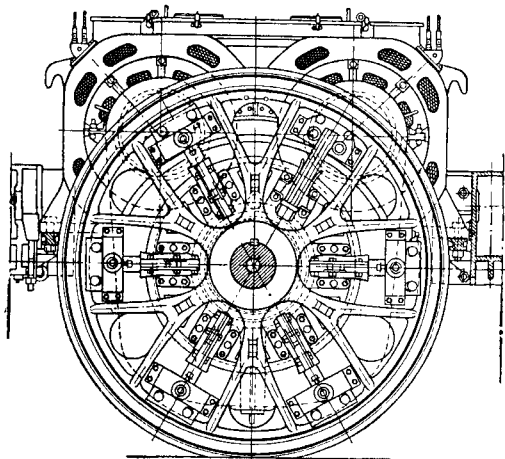
Фиг. 4. Кулачок с шаровидными пестиками

увеличиваются, что вызывает увеличение сечения оси; вес тягового двигателя за счёт массивных вкладышей и лапок для крепления полого вала увеличивается; для размещения кулачков необходимо иметь диаметр колеса по кругу катания не менее 1 530 мм при числе спиц не более 6. Вынужденное увели-

кулачка требуются меньшие габаритные размеры, однако при взаимных смещениях обрессоренных и необрессоренных частей пружины, помимо сжатия, работают на изгиб, что приводит (несмотря на высокие качества марок сталей) к преждевременной их поломке. По этим соображениям конструкция этого привода распространения не получила.

На фиг. 5 показан привод с полым валом и пружинно-рычажной муфтой. Эта конструкция проще в изготовлении и не требует смазки. Размещение этого привода требует колеса сравнительно большого диаметра, а уменьшение инерционных усилий — минимального веса муфты. Этот привод применён на электровозе 2-4_в-2 французских железных дорог.

На фиг. 6 показан привод, применяемый в Италии на пассажирском электровозе 2-3-2



Фиг. 6. Привод с полым валом и листовыми рессорами (привод фирмы Бианки)

(фирмы Бианки), в котором вместо муфты между спицами установлены листовые рессоры, концы которых при помощи шарниров соединены с диском полого вала.

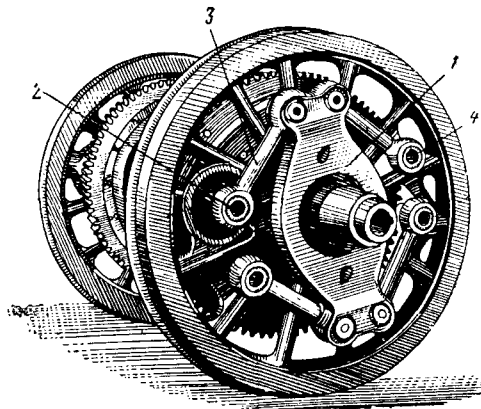
На фиг. 7 показана шарнирно-рычажная муфта с резиновыми втулками Альстом. Такой привод применён на современных скоростных электровозах Франции, Федеративной Республики Германии и других стран. Его преимущества: простота конструкции, удобство осмотра и ремонта, отсутствие трущихся частей и небольшой диаметр колеса для размещения привода.

Шарнирно-рычажная муфта состоит из двух симметричных половин, соединённых плавающей рамкой 1. Каждая половина состоит из ведущего пальца 4, запрессованного в большое зубчатое колесо, двух поводков 3, соединённых с плавающей рамкой 1, и ведомого пальца 2, запрессованного в колёсный центр. Вращающий момент тягового двигателя ведущими пальцами передаётся на ведомые пальцы через поводки и подвешенную на них плавающую рамку.

Соединения поводков с пальцами и плавающей рамкой осуществляются шарнирами, выполненными в виде резиновых втулок,

армированных внутри и снаружи стальными трубками.

Внутренняя втулка запрессовывается на палец, а наружная — в проушину поводка или плавающую рамку. Смещение муфты осу-

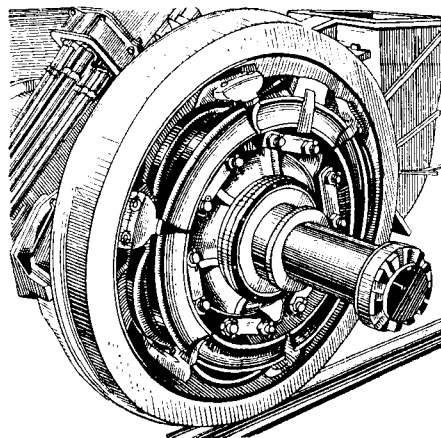


Фиг. 7. Привод с полым валом и шарнирно-рычажной муфтой с резиновыми втулками (Альстом с шарнирными Silentblock)

ществляется только за счёт деформации слоя резины.

Конструкция шарнирно-рычажной муфты обеспечивает возможность взаимных перемещений оси колёсной пары и полого вала.

На некоторых современных электровозах вместо комбинированной конструкции подвижных элементов приводов, состоящих из рычагов и эластичных пружинных или резиновых элементов, применяются приводы, состоящие только из резиновых элементов.



Фиг. 8. Общий вид привода с резиновыми кольцами

На фиг. 8 показан привод с резиновыми кольцами, применённый на электровозе Е44-038 германских железных дорог.

Вторая группа приводов

Особенностью приводов второй группы является размещение подвижных элементов между шестернёй и двигателем, а также на-

личие массивного шарнирно-подвешенного к раме кожуха литой конструкции, куда вмонтирована на подшипниках шестерня. При таком взаимном расположении момент, передаваемый подвижными элементами, меньше момента на ободу колеса в передаточное число раз. Благодаря подвеске кожуха и тягового двигателя к раме тележки взаимные смещения подвижных элементов достигают минимальных величин, однако частота их перемещений по отношению к элементам приводов первой группы больше в передаточное число раз зубчатого зацепления. Большое

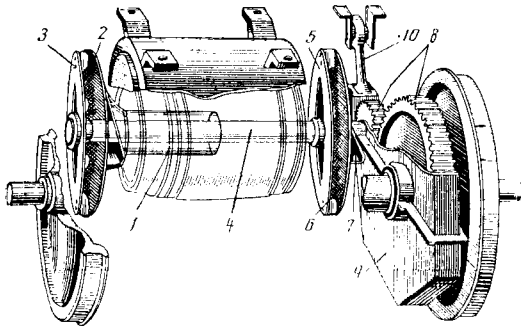
количество централи и обильную смазку зубьев, возрастает.

Недостатками этой схемы являются: 1) сокращение полезной длины для размещения двигателя, что значительно ухудшает условия создания двигателя более высокой мощности; 2) подвижные элементы размещены между кожухом передачи и двигателем, что осложняет доступ и наблюдение за их состоянием.

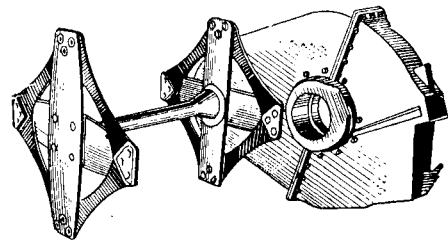
Приводы этой группы имеются двух исполнений.

1. Подвижные элементы размещаются с двух сторон тягового двигателя и соединяются между собой торсионным валом, проходящим в отверстии тягового двигателя.

Такие приводы распространены на скоростных электровагонах в Швейцарии, Франции, Бельгии, Чехословакии и Германии. Эти приводы разбиваются на две подгруппы.



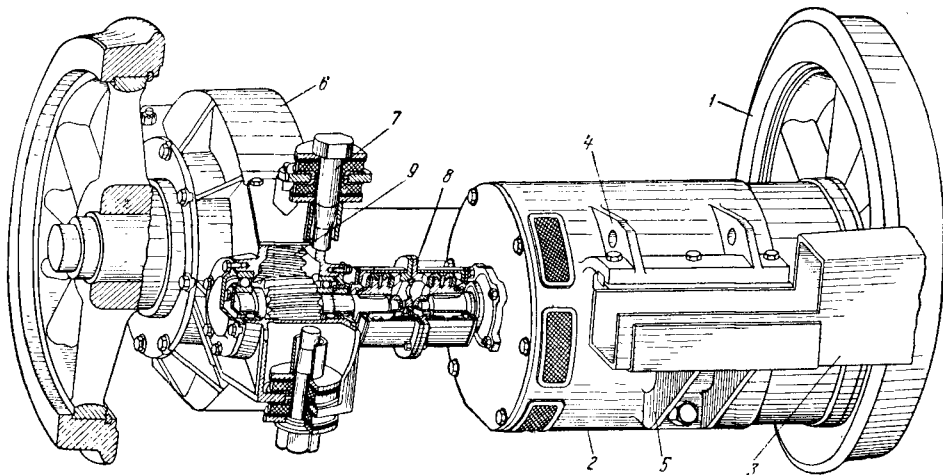
Фиг. 9. Эластичный привод с дисками в сборе с колёсной парой и тяговым двигателем: 1—втулка поводка; 2—диск привода ведущей стороны; 3—поводок вала привода; 4—вал привода; 5—поводок вала привода с ведомой стороны; 6—диск привода с ведомой стороны; 7—поводок вала хвостовика шестерни; 8—зубчатки; 9—кожух передачи; 10—качающаяся подвеска кожуха зубчаток



Фиг. 10. Общий вид привода фирмы Сешерон

К первой подгруппе относятся приводы, у которых вал тягового двигателя и хвостовик шестерни соединяются при помощи дисков и поводков; на фиг. 9 показан такой привод конструкции фирмы Броун-Бовери. Соединение поводков с торсионным валом и хвостовиком шестерни осуществляется при помощи шлиц, расположенных в торцовых частях валов и болтов. Ко второй подгруппе относятся приводы, у которых соединение осуществляется при помощи пластин; на фиг. 10 показан привод фирмы Сешерон.

зубчатое колесо насаживается на удлиненную ступицу колёсного центра, что значительно разгружает подступичную часть оси. За счёт съёма приливов моторно-осевой горловины, шапок и в некоторых случаях высверловки вала облегчается вес тягового двигателя. Долговечность зубчатых колёс, поскольку они находятся в кожухе, обеспечивающем сохран-



Фиг. 11. Привод с кулачковой муфтой вагонов Московского метрополитена имени Ленина. 1—колесная пара; 2—тяговый двигатель; 3—поперечный брус рамы тележки; 4—верхний кронштейн подвешивания на остовах двигателя; 5—нижний кронштейн подвешивания на раме тележки; 6—кожух редуктора; 7—кронштейны с эластичными элементами подвешивания кожуха редуктора к раме тележки; 8—карданная муфта сочленения; 9—зубчатые колеса

При относительном перемещении колёсной пары и двигателя эластичный диск или пластина несколько деформируется и гасит действие перемещения.

2. Подвижные элементы размещаются между шестерней и валом тягового двигателя.

Отличительным в конструкции этого привода является то, что взаимные перемещения колёсной пары и тягового двигателя обеспечиваются кулачковой муфтой жёсткого типа, расположенной между хвостовиками валов шестерни и тягового двигателя.

Муфта сконструирована таким образом, что почти во всех подвижных элементах трение скольжения заменено трением качения. В результате этого изнашиваемые детали, при правильном подборе марок сталей и их термической обработке, обладают высокой работоспособностью.

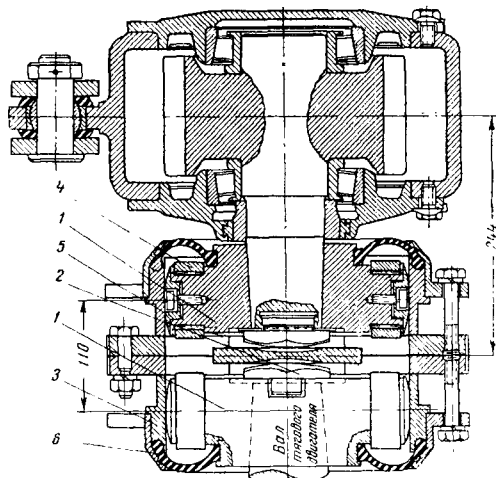
Впервые эта муфта была разработана заводом «Динамо» имени Кирова и применена на вагонах Московского метрополитена имени Ленина (фиг. 11).

На фиг. 12 показана муфта подобного рода, применённая на моторных вагонах опытных электросекций Сн.

На хвостовик шестерни и вала тягового двигателя в горячем состоянии насаживаются одинаковые кулачки 1 и закрепляются специальными гайками 2 с шаровидными поверхностями. Кулачки входят в шлицеобразные полумуфты 3, скреплённые между собой болтами.

В местах соприкосновения рабочих поверхностей шипа кулачка и шлицеобразной полумуфты, при взаимном смещении подвижных элементов, происходит скольжение. Для уменьшения скольжения на шипах установлены на игольчатых подшипниках калёные втулки 4 и грибовидные чашки 5 и закрепля-

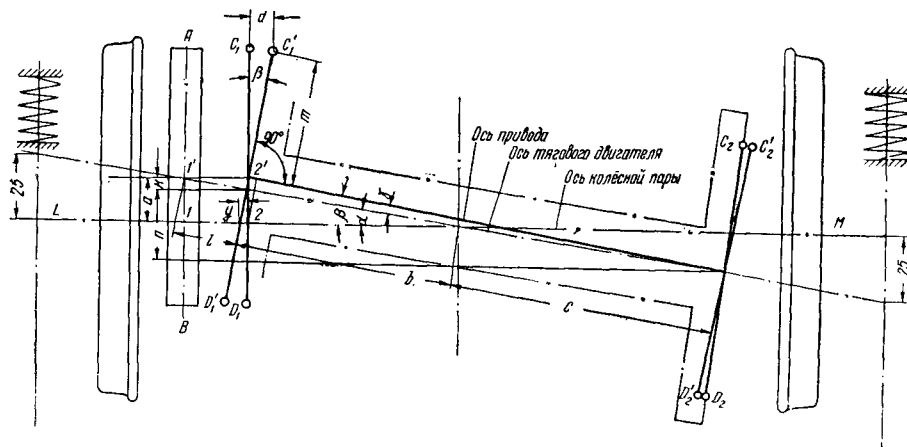
этим соображениям он может быть применён для двигателей с небольшими мощностями); неустойчивая работа резинового уплотнительного воротника в зимних условиях, систематическая смазка трущихся частей, ма-



фиг. 12. Кулачковая муфта с шестерней: 1 — кулачок; 2 — гайка шаровидная; 3 — полумуфта; 4 — втулка; 5 — чашка грибовидная; 6 — воротник резиновый

лое расстояние между серединами опорных поверхностей кулачков, ограничивающее перекосы обрессоренных и необрессоренных частей, и др.

Величины смещений элементов привода второй группы при относительных перемещениях обрессоренных и необрессоренных масс электровозов. Схема работы привода показана на фиг. 13. Принятые обозначения: LM — ось колёсной пары, AB — средняя линия ре-



Фиг. 13. Схема работы привода второй группы

ются гайками. На шлицевидных полумуфтах установлены калёные сухарики. Поскольку между полумуфтами и хвостовиками валов происходит смещение, то предусмотрены гибкие (резиновые) воротники 6, образующие вместе с полумуфтами кожух для смазки.

Недостатками этого привода являются: необходимость значительного размера для его размещения по длине тягового двигателя (по

дуктора, C_1D_1 — средняя линия эластичной муфты со стороны коллектора тягового двигателя).

При наклоне обрессоренной массы относительно вертикальной оси ось двигателя наклонится на некоторый угол α , ось шестерни 1—2 вместе с кожухом, шарнирно укрепленным на раме тележки, займёт положение 1'—2', центр муфты переместится в точку 2', вал привода

займёт положение, определяемое углом β (суммой углов α и γ), а смещения в эластичных элементах определяются величинами $C_1 C'_1$, $D_1 D'_1$, $C_2 C'_2$ и $D_2 D'_2$.

Тангенс угла наклона надпрессорного стресса

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{LM},$$

где h — перемещение надбуксовых рессор в мм;

LM — расстояние между серединами рессор в мм.

Поскольку линия подвески кожуха проходит через центр оси шестерни и составляет прямой угол с линией, соединяющей центры осей зубчатого колеса и шестерни, то смещение шестерни равно смещению зарессоренных частей.

$$a = (l + b) \sin \alpha.$$

Смещение осей привода и тягового двигателя

$$\kappa = l \operatorname{tg} \alpha.$$

Синус угла наклона осевой линии привода к осевой линии колёсной пары

$$\sin \beta = \frac{n + \kappa}{b + c},$$

$$n = (c + b) \sin \alpha,$$

$$\sin \beta = \sin \alpha + \frac{l}{b + c} \operatorname{tg} \alpha.$$

Смещение в верхней точке подвижных элементов вдоль оси колёсной пары

$$d = m \sin \beta + y,$$

$$y = b - b \cos \beta,$$

$$d = m \sin \beta + b(1 - \cos \beta).$$

Угол смещения осей привода и полого вала тягового двигателя

$$\gamma = \beta - \alpha.$$

Суммарное смещение вдоль оси колёсной пары

$$\Sigma \Delta = \pm \left(d + \frac{\varepsilon}{2} \right),$$

где ε — поперечное смещение колёсной пары.

Пример. Исходные данные:

Перемещение надбуксовых рессор $h = \pm 25$ мм.

Расстояние между серединами рессор $LM = 2150$ мм; $b = 391$ мм; $C = 669$ мм; $m = 112$ мм; $\varepsilon = \pm 9$ мм; $l = 187$ мм.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2h}{LM} = \frac{2 \cdot 25}{2150} = 0,02327;$$

$$a = (l + b) \sin \alpha = (187 + 391) \cdot 0,02327 = 13,45 \text{ мм}; \kappa = l \operatorname{tg} \alpha = 187 \cdot 0,02327 = 4,35 \text{ мм};$$

$$\sin \beta = \sin \alpha + \frac{l}{b + c} \operatorname{tg} \alpha = 0,02327 +$$

$$+ \frac{187}{391 + 669} \cdot 0,02327 = 0,0274;$$

$$d = m \sin \beta + b(1 - \cos \beta) = 112 \cdot 0,0274 + 391(1 - 0,9996) = 3,21 \text{ мм};$$

$$\gamma = \beta - \alpha = 1^\circ 34' - 1^\circ 20' = 0^\circ 14';$$

$$\Sigma \Delta = \pm \left(d + \frac{\varepsilon}{2} \right) = \pm \left(3,215 + \frac{9}{2} \right) = \pm 7,715 \text{ мм}.$$

Величины смещений подвижных элементов привода второго исполнения определяются по аналогичным формулам, только вместо длины приводного вала $(b + c)$ подставляется расстояние между кулачками муфты.

В табл. 1 приведены приводы различной конструкции, применяемые на электровозах зарубежных стран.

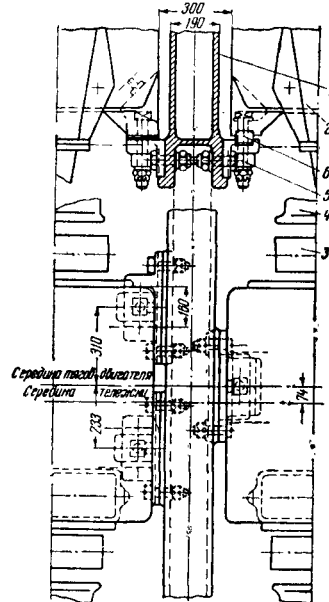
Крепление тягового двигателя при опорно-рамном подвешивании

При опорно-рамном подвешивании тяговый двигатель полностью крепится к раме тележки или электровоза. Конструкции крепления, получившие распространение на практике, разбиваются на две группы.

Группа первая — двустороннее, когда остов тягового двигателя крепится к раме тележки с двух сторон.

Группа вторая — одностороннее (консольное), когда остов тягового двигателя крепится к раме тележки с одной стороны. Обе конструкции должны обеспечивать возможность монтажа и демонтажа тягового двигателя вверх и вниз.

Двустороннее крепление применяется на электроподвижном составе с тяговыми двигателями больших мощностей, одностороннее — с небольшими мощностями.



Фиг. 14. Крепление тягового двигателя в трёх точках на съёмных кронштейнах: 1 — междурамное крепление; 2 — тяговый двигатель; 3 — боковина рамы электровоза; 4 — бандаж колёсной пары; 5 — кронштейн съёмный; 6 — сухарь фиксирующий

Двустороннее крепление двигателя можно классифицировать по числу опорных лапок: а) с тремя лапками (фиг. 14); б) с четырьмя лапками (фиг. 15).

Основные данные

Наименование	Группа первая				Подвижные элементы	
Осевая формула и серия электроваза	C _a -C _o	C _o -C _o	B _o -B _o	B _o -B _o	B _o -B _o	B _o -B _o
Страна, для которой построен электроваз	Франция		Федеративная Республика Германии		Франция	
Фирма-конструктор механической части	Альстом (Франция)		AEG (Германская Федеральная Республика)	SSW (Германская Федеральная Республика)	Крезо (Франция)	
Фирма-конструктор электрической части	Альстом (Франция)		Краусс-Маффе (Германская Федеральная Республика)	Хеншель (Германская Федеральная Республика)	Шнейдер-Вестингауз (Франция)	Жемон (Франция)
Год постройки	1950—1952	1951	1952	1953	1954—1956	1954—1956
Род службы	Грузо-пассажирский		Грузо-пассажирский		Грузо-пассажирский	
Мощность часовая, кВт	3 160	3 000	3 580	3 800	2 650	—
Тяговое усилие часовое, кг	16 560	~ 18 000	15 000	15 360	20 800	—
Скорость часовая, км/час	70	61	87,5	91	51	—
Мощность длительная, кВт	При 1 350 в — 2 940	2 700	—	—	2 470	2 000
Тяговое усилие длительное, кг	14 040	~ 14 000	—	14 800	19 000	13 500
Скорость длительная, км/час	72,8	70	—	86	53	53
Скорость конструктивная, км/час	160 на электроваз 7107 (достигнута 340)	100	125	130	140	105
Вес электроваза (сцепной), т	102	118	83,3	80,3	84	84
Нагрузка на движущую ось, т	17,0	19,7	20,8	20,1	21	21
Диаметр ведущего колеса, мм	1 250	1 250	1 350	1 250	1 250	1 250
Количество электровазов	70	1	1	1	14	24
Передаточное отношение	2,606:1	4,833:1 (87/18)	1:2,486	1:3,28	—	—
Передача	Односторонняя	Односторонняя прямозубая	Двусторонняя косозубая	Двусторонняя косозубая	Односторонняя прямозубая с промежуточной шестерней (в одном кожухе для двух двигателей)	Односторонняя прямозубая с промежуточной шестерней (в одном кожухе для двух двигателей)
Конструкция привода	Привод эластичный шарнирный системы Альстом (шарниры «Silentblock») [8]	Привод эластичный шарнирный системы Альстом (шарниры «Silentblock») [10]	Привод эластичный шарнирный системы Альстом (шарниры «Silentblock») [2]	Привод эластичный с резиновыми кольцами системы SSW [8]	Муфта с шарнирами «Silentblock» [14]	Муфта с шарнирами «Silentblock» [14]

Таблица 1

приводов электровозов

размещаются в зубчатом лесе		Группа вторая				
C ₀ -C ₀	C ₀ -C ₀	B ₀ -B ₀	B ₀ -B ₀	B ₀ -B ₀	B ₀ -B ₀	B ₀ -B ₀
Швейцария	Франция		Швейцария	Германская Федеральная Республика		Чехословакия
Броун-Бовери в Бадене (Швейцария)	Эрликон (Швейцария)	Броун-Бовери (Швейцария)	Броун-Бовери в Бадене (Швейцария)	Броун-Бовери и Мангейм (Германская Федеральная Республика)	АЕГ и Броун- Бовери (Герман- ская Федеральная Республика)	Завод имени Ленина
SLM Винтертур (Швейцария)		SLM Винтертур (Швейцария)		Крупп (Герман- ская Феде- ральная Рес- публика)	Хеншель (Герман- ская Федеральная Республика)	Завод имени Ленина
1952	1950	1953	1944	1952	1953	1954—1955
Грузо-пассажирский		Пассажирский	Грузо-пассажирский		Грузо-пассажирский	
4 400	3 180	3 385	2 950	3 280	3 440	2 440
21 240	17 400	14 150	14 200	14 950	12 800	14 700
74	65	85 (1 500 а)	75	79,3	98	58,6
3 970	3 060	При 1 350 а — 2 700, при 1 500 а — 3 070	2 800	3 020	3 280	2 000
18 000	16 000	12 400	—	—	12 040	—
78,5	68	88 (1 500 а)	—	—	100	65
125	100	160	125	130	130	120
123	104,5	80	80	82	80	80
20,5	17,4	20	20	20,5	20	20
1 260	1 400	1 300	1 250	1 250	1 250	1 250
2	1	2	7	1	2	20
1:2,216	4,19:1 (88/21)	2,02:1	1:2,22	1:2,194	1:2,211	1:2,27
Односторон- ная косозубая	Односторон- ная прямозу- бая	Односторон- ная	Односторон- ная косозубая	Односторон- ная прямозу- бая	Односторонняя	
Привод эла- стичный пру- жинный систе- мы Броун- Бовери [4]	Привод эла- стичный систе- мы Винтертур [7]	Привод эла- стичный с дис- ками системы Броун-Бовери [12]	Привод эла- стичный с дис- ками системы Броун-Бовери [3]	Привод эла- стичный с дис- ками системы Броун-Бовери [6]	Привод эластич- ный системы Сешерон [8]	Привод эластич- ный системы Сешерон

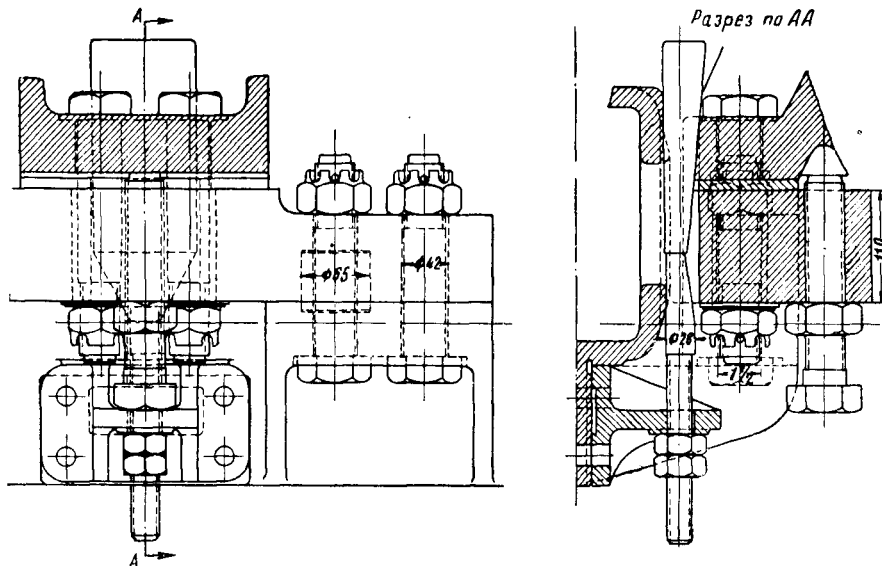
В случае «а» тяговый двигатель своими лапками опирается на съёмные кронштейны (фиг. 14), в случае «б» — на балку (фиг. 15).

При установке тягового двигателя на балки фиксация его (требуемое расположение относительно оси колёсной пары) осуществляется при помощи клиньев, а при установке на съёмные кронштейны — при помощи сухарей.

ной балке, крепящейся к боковинам рамы тележки. Типовая конструкция подобного типа показана на фиг. 16.

Детали крепления рассчитываются на вертикальное усилие, определяемое по формуле

$$R_A = -R_B = \pm \frac{DF}{2L} + \frac{P\kappa}{2},$$



Фиг. 15. Крепление тягового двигателя на электровозе ПБ

Установка тягового двигателя на трёх точках требует меньшей точности подгонки прилегания лапок.

Крепление двигателей при помощи балок для размещения его требует расстояния между

где R_A и R_B — реакция в точках крепления тягового двигателя;

D — диаметр колеса в мм;

L — расстояние между точками крепления двигателя в мм;

P — вес тягового двигателя в кг;

κ — коэффициент динамичности, который при пуске близок к единице, однако условно его принимают равным 1,4;

F — сила тяги на ободу, равная

$$F = \frac{2Q\varphi}{D}.$$

Здесь Q — давление от оси на рельс в кг;

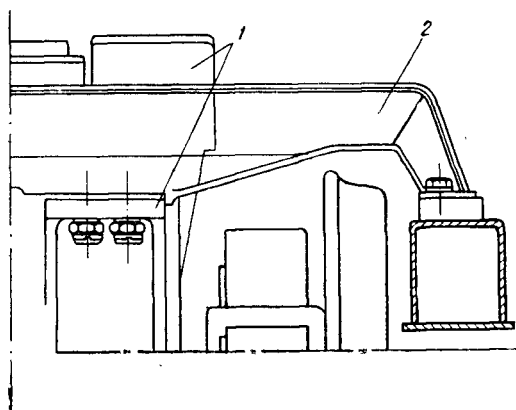
φ — коэффициент сцепления, равный 0,3.

Помимо этого детали крепления рассчитываются на ударное усилие, направленное вдоль оси электровоза.

Консольное крепление двигателя применяется на электроподвижном составе с небольшими мощностями тяговых двигателей. Оно занимает меньшие габаритные размеры по высоте, чем двустороннее, поэтому получило применение на вагонах метрополитена и моторных вагонах электросекций.

Конструкция подобного рода показана на фиг. 17.

При одностороннем креплении тягового двигателя, вследствие значительного изгибаю-

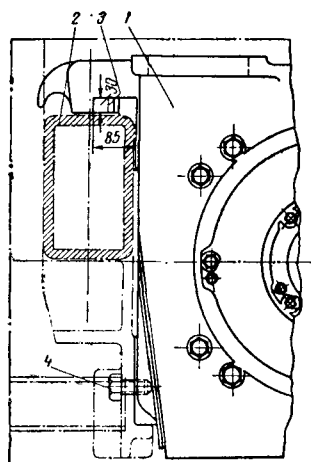


Фиг. 16. Установка тягового двигателя на съёмной балке: 1 — тяговый двигатель; 2 — съёмная балка

осями колёсных пар на 130—220 мм больше, чем крепление его с помощью съёмных кронштейнов.

В случае несимметричного расположения тягового двигателя относительно оси колёсной пары установка его осуществляется на съём-

щего момента, в местах прилегания кронштейна и шпонки происходит выработка, что нарушает совпадение осей вала шестерни и тягового двигателя.



Фиг. 17. Консольное крепление тягового двигателя: 1—тяговый двигатель; 2—поперечная балка; 3—сухарь фиксирующий; 4—болт прижимной

Расчёт деталей крепления производится на усилие при пусковом моменте с учётом вертикальной динамической нагрузки. Вертикальная динамическая нагрузка принимается равной

$$Z = P k_d,$$

где P — вес тягового двигателя в кг;
 k_d — коэффициент динамичности.

ТЯГОВЫЕ ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОВЗОВ И МОТОРНЫХ ВАГОНОВ ЭЛЕКТРОСЕКЦИЙ

Конструкция передач

Общие сведения. Тяговые зубчатые передачи предназначены для передачи вращающего момента тягового двигателя колёсному парам. На электровазах применяются двусторонние и односторонние зубчатые передачи, а на моторных вагонах электросекций — односторонние. Тяговые зубчатые передачи подразделяются на упругие и жёсткие.

Упругие зубчатые передачи смягчают динамические удары, передаваемые зубьям шестерён и зубчатых колёс, улучшают условия коммутации тягового двигателя и работы деталей его, уменьшают динамические нагрузки, возникающие от неточности размеров основного и окружного шагов зубьев и монтажа зубчатой передачи, а при двусторонней передаче облегчают монтаж и обеспечивают равномерное распределение момента тягового двигателя между обеими парами зубчатых передач.

К недостаткам упругих передач относится большое количество деталей.

Упругие зубчатые передачи бывают с пластинчатыми и цилиндрическими пружинами.

Зубчатые передачи с пластинчатыми пружинами имеют значительно большую жёсткость, чем передачи с цилиндрическими пружинами.

Жёсткие передачи лишены указанных преимуществ, но они имеют значительно меньшее количество деталей, что облегчает изготовление, ремонт и обслуживание их в эксплуатации.

Тяговые зубчатые передачи бывают прямозубые, применяемые на односторонних жёстких и двусторонних упругих передачах, и косозубые, применяемые на жёстких односторонних и двусторонних и в редких случаях на односторонних упругих передачах.

Угол наклона зубьев при односторонней передаче применяется до 8° , а при двусторонней — до 24° .

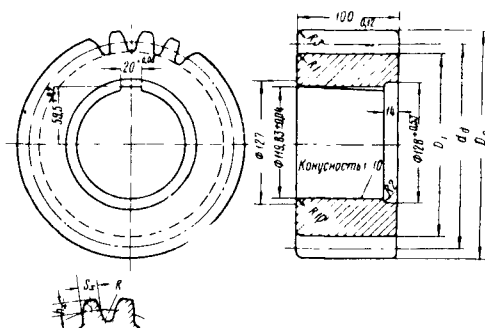
Упругие зубчатые передачи с пластинчатыми пружинами. Упругие зубчатые передачи с пластинчатыми пружинами применяются на электровазах серий С, Сс, ВЛ19, ВЛ22, ВЛ22м и ИЮ.

Зубчатое колесо непосредственно насаживается на ось или ступицу колёсного центра, а шестерня на хвостовик вала тягового двигателя.

Шестерни (фиг. 18) на всех сериях электровазов выполнены одинаковой конструкции и отличаются лишь числом зубьев и геометрическими размерами. Основные данные шестерён приведены в табл. 1а.

Для обеспечения параллельности зубьев шестерён, расположенных с каждой стороны тягового двигателя, на хвостовиках вала предусмотрены шпоночные канавки шириной 19,95 — 0,05 мм.

Несовпадение осевых линий шпоночных канавок допускается не более 0,05 мм.



Фиг. 18. Шестерня тяговой зубчатой передачи электровазов С, Сс, ВЛ19, ВЛ22, ВЛ22м и ИЮ

Для той же цели в отверстиях шестерён предусмотрены шпоночные канавки шириной 20^{0,08} мм, которые фиксируются относительно впадин зубьев.

Смещение осевых линий шпоночной канавки и впадины допускается не более 0,1 мм.

Прилегание отверстия шестерни к конусу вала проверяется по краске, при этом площадь прилегания должна быть не менее 75% посадочной поверхности с равномерным распределением пятен.

Таблица 1а

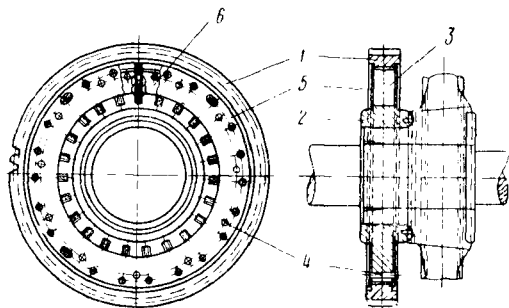
Основные данные шестерён и зубчатых колёс электровозов С, Сс, ВЛ19, ВЛ22, ВЛ22М и НО

Серии электровозов и передаточные числа	Шестерня или зубчатое колесо	Число зубьев Z	Диаметр выступов D_e мм	Диаметр впадин D_f мм	Диаметр начальной окружности d мм*	Теоретическая высота головки зуба до делительной окружности h_x мм*	Толщина зуба по хорде делительной окружности S_x мм*	Радиус выкружки в основании зубьев R мм	Лействительное межцентровое расстояние A мм	Число пазов венца	Внутренний диаметр венца D_g мм	Наружный диаметр зубчатого колеса D_H мм	Число гнезд венца зубчатого колеса	Диаметр центра колеса под посадку на удилищенную ступицу d_c мм	Коэффициент кор-рекции ϵ
Электровозы С, Сс, ВЛ22, ВЛ22М и НО с передаточным числом 4,45	Шестерня	20	227,5—0,15	181,4	200	14,2	18,23—0,12	4,8—0,3	545	—	—	—	—	—	+0,375
	Зубчатое колесо	89	903—0,6	856,9	890	6,55	12,96—0,15	4,8—0,3	545	25	735—0,15	—	—	—	—0,375
	Центр зубчатого колеса	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	735—0,25—0,35	25	325+0,1	—
Электровозы БЛ19, ВЛ22 и ВЛ22М с передаточным числом 3,74	Шестерня	23	257—0,1	210,8	230	13,853	18,019—0,12	4,9—0,3	545	—	—	—	—	—	+0,35
	Зубчатое колесо	89	873,6—0,2	827,4	860	6,85	13,16—0,15	4,9—0,3	545	23	705—0,15	—	—	—	—0,35
	Центр зубчатого колеса	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	705—0,25—0,35	23	325+0,1	—
Электровоз ВЛ22М с передаточным числом 2,76	Шестерня	29	317—0,5—0,27	271,4	290	13,7	18,24—0,11	4,8—0,3—0,24	545	—	—	—	—	—	+0,35
	Зубчатое колесо	80	813—0,6	766,9	800	6,55	13,16—0,13	4,8—0,3	545	21	645—0,15	—	—	—	—0,35
	Центр зубчатого колеса	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	645—0,25—0,35	21	320+0,1	—

Примечание. Модуль инструмента $m = 10$ мм, угол зацепления $\alpha = 20^\circ$.

* При высотной коррекции начальные и делительные окружности совпадают.

Шестерни на хвостовик вала тягового двигателя насаживаются в горячем состоянии с предварительным подогревом в течение



Фиг. 19. Колесо тяговой зубчатой передачи электровозов С, Сс, ВЛ19, ВЛ22М и НО: 1—венцы; 2—центр зубчатого колеса; 3—пружина пластинчатая; 4—прокладка; 5—боковая шайба; 6—заклёпка

45 мин. до температуры 100°C в кипящей воде с раствором соды (10 г соды на каждый литр воды).

Насажённая шестерня на валу закрепляется гайкой, которая закрепляется от самоотвёртывания замковой шайбой.

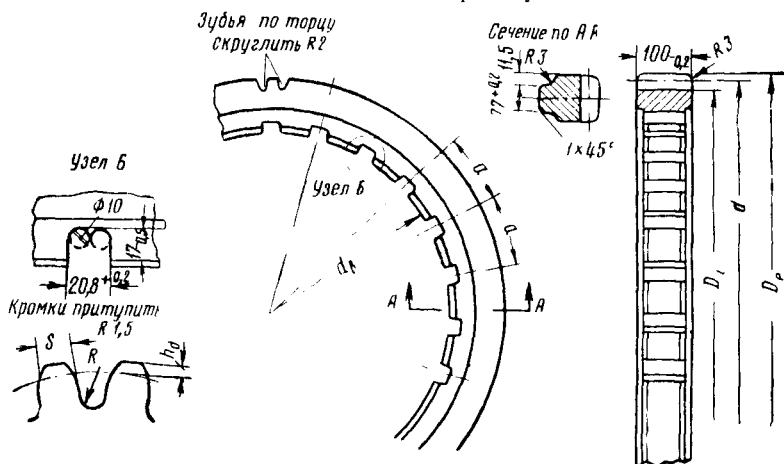
В целях увеличения прочности и уменьшения концентрации напряжений поверхности зубьев и впадин у основания сопряжены радиусом. Максимальная величина радиуса выкружки впадины определяется размерами зубьев и параметрами режущего инструмента. При модуле режущего инструмента 10 мм и угле зацепления 20° максимальный радиус выкружек равен 4,8 — 5 мм.

Рабочие поверхности зубьев шлифуются. Система коррекции высотная.

Зубчатые колёса (фиг. 19) и венцы (фиг. 20) на всех сериях электровозов выполнены одинаковой конструкции и отличаются лишь числом зубьев, пазов и размерами деталей. Рабочие поверхности зубьев не шлифуются. Ширина венцов всех зубчатых колёс равна 100 мм.

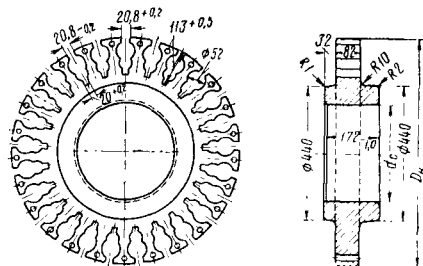
На внутренней поверхности венца расположены пазы шириной $20,8^{+0,2}$ мм, служащие для установки пакетов пружин.

Для установки пружинных пакетов на центрах зубчатых колёс литой конструкции



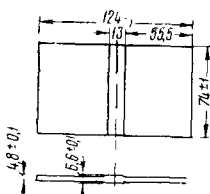
Фиг. 20. Венец зубчатого колеса

Шестерни после насадки на вал должны сесть на 1,5 — 2 мм глубже, чем при предварительной насадке в холодном состоянии.

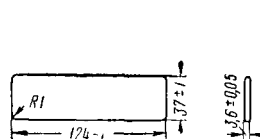


Фиг. 21. Центр зубчатого колеса

[стальная отливка 25-ЛКII по ГОСТ 977—53 (фиг. 21)] имеется такое же количество гнёзд, как и на венцах. Размеры прокладок указаны на фиг. 22.



Фиг. 22. Прокладка зубчатого колеса



Фиг. 23. Пластина пружинная зубчатого колеса

Дополнительная насадка шестерни с подогревом или в холодном состоянии не допускается.

Разность толщин прокладок в сочетании с размерами пазов центра зубчатого колеса обеспечивает начальный натяг пакета пластинчатых пружин после установки их в гнёзда.

да центра зубчатого колеса и свободное надевание венца на центр.

Материал прокладок — сталь 2 по ГОСТ 380 — 52. Прокладки подвергаются цементации и термообработке. Глубина цементации 0,3 — 0,8 мм. Твёрдость 50 — 75 единиц по Шору.

Пружины (фиг. 23) изготавливаются из стали 50ХФА по ГОСТ 4543 — 48.

Для механической прочности пластинчатые пружины рекомендуются изготавливать методом протяжки и подвергать термической обработке. Твёрдость 45 — 55 единиц по Роквеллу.

Окончательно обработанные пружинные пластины проверяются на трёхкратную остаточную деформацию при прогибе 3 мм и расстоянии между опорами 114 мм. При этом максимальная остаточная деформация должна быть не более 0,10 мм. При последующей проверке пластин той же партии на прогиб 3 мм остаточной деформации не должно быть.

Сборка пакетов пружин. После установки пакетов в гнезда центра зубчатого колеса пакеты с учётом допусков на размеры пружин, прокладок, пазов венца и центра могут иметь величины начальных натягов от 0,1 до 0,9 мм.

Минимальный натяг пакета пружин равен

$$f_{\min} = \frac{6,5 + 4 \cdot 3,55 - \frac{21 + 20,2}{2}}{2} = 0,1 \text{ мм.}$$

Максимальный натяг пакета пружин равен

$$f_{\max} = \frac{6,7 + 4 \cdot 3,65 - \frac{20,8 + 20}{2}}{2} = 0,9 \text{ мм.}$$

Рассматриваем пакет пружин как балку, заделанную посередине.

Напряжение от изгиба, возникающее в пружине, равно:

$$\sigma = \frac{3}{2} \frac{Eh}{l^3} f,$$

где E — модуль упругости, равный $2,2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$;

h — толщина пружины, равная 0,36 см;

l — плечо приложения силы, равное 5 см;

При $f = 0,01 \text{ см}$

$$\sigma = \frac{3 \cdot 2,2 \cdot 0,36}{2 \cdot 5^3} 0,01 = 479 \text{ кг/см}^2;$$

при $f = 0,09 \text{ см}$

$$\sigma = 4270 \text{ кг/см}^2.$$

Момент сопротивления одной пружины

$$W = \frac{3,7 \cdot 0,036^2}{6} = 0,08 \text{ см}^3.$$

Изгибающий момент, необходимый для прогиба одной пружины на 0,01 см, составит

$$M_{из} = 479 \cdot 0,08 = 38,3 \text{ кг} \cdot \text{см};$$

для прогиба, равного 0,09 см,

$$M_{из} = 4270 \cdot 0,08 = 342 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

Этим моментам на плече 5 см соответствуют силы:

$$P_{\min} = \frac{38,3}{5} = 7,7 \text{ кг};$$

$$P_{\max} = \frac{342}{5} = 68 \text{ кг}.$$

Пакеты, состоящие из четырёх пар пружин, при числе их 25 могут упруго передать силу:

$$P_{п. \min} = 8,25 \cdot 7,7 = 1540 \text{ кг};$$

$$P_{п. \max} = 8,25 \cdot 68 = 13600 \text{ кг}.$$

Сила тяги F на ободе колеса от одной колёсной пары, равна

$$F = P_n \frac{D_g}{D_k},$$

где D_g — внутренний диаметр венца, равный 73,5 см (для электровоза с передаточным числом 4,45);

D_k — диаметр колеса по кругу катания, равный 120 см.

$$F_{\min} = 1540 \frac{73,5}{120} = 940 \text{ кг};$$

$$F_{\max} = 13600 \frac{73,5}{120} = 8300 \text{ кг}.$$

Максимальная касательная сила на ободе колеса по сцеплению равна 6000 кг.

Из полученных результатов следует, что пакеты пружин, подобранные с верхними допусками и установленные в гнезда центра зубчатого колеса, имеющего пазы с нижними допусками, будут работать как шпонки, в то время как пакеты и прокладки, изготовленные с нижними пределами, а пазы гнезд — с верхними, будут деформироваться от приложения небольшой нагрузки.

При установке пакетов в гнезда с максимальным и минимальным натягами усилие в пазах венца будет распределяться неравномерно, в результате чего как в ободе венца, так и в зубьях будут появляться дополнительные усталостные напряжения, способствующие образованию трещин во впадинах зубьев и в пазах.

Для того чтобы обеспечить равномерное распределение усилия между всеми пакетами, необходимо, чтобы общая толщина пакета была больше полусуммы ширины верхней и нижней частей гнезда центра зубчатого колеса на величину 0,4 — 0,7 мм при замере пакета в сжатом состоянии.

Монтаж зубчатых колёс на ось колёсной пары. В целях разгрузки оси и уменьшения концентрации напряжений в оси зубчатое колесо насаживается на удлиненную ступицу колёсного центра. Сборка зубчатых колёс на оси колёсной пары производится в следующем порядке: на удлиненную ступицу колёсного центра надевается шайба, затем под давлением 50 — 80 т запрессовывается центр зубчатого колеса. Вместо запрессовки допускается горячая посадка. Проч-

ность горячей посадки центра зубчатого колеса на удлиненную ступицу проверяется давлением распрессовки 60 т.

Далее на ось колёсной пары надеваются остальные две шайбы, затем с правой и левой сторон шайб надеваются венцы и напрессовываются колёса.

В гнезда центров зубчатых колёс устанавливаются пакеты пружин, надеваются венцы и проверяется параллельность зубьев. В случае несовпадения параллельности зубьев венцы снимаются и снова устанавливаются в другие пакеты.

Взаимное смещение венцов производится до тех пор, пока не будет достигнута параллельность зубьев. Число зубьев и пазов на венцах подобрано так, чтобы при взаимном поворачивании венцов можно было получить непараллельность в пределах требуемой точности, т. е. не более 0,5 мм.

После получения параллельности (в пределах требуемой точности) производится клёпка шайб.

На окончательно смонтированных зубчатых колёсах, помимо параллельности зубьев, подлежит проверке торцовое биение венца (не более 0,4 мм), радиальное биение окружностей выступов (до 0,2 мм) и поперечное перемещение венца (до 1 мм).

Монтаж тягового двигателя на ось колёсной пары. После установки тягового двигателя на ось колёсной пары необходимо, чтобы:

- 1) наименьший зазор между зубьями был в пределах 0,2 — 0,5 мм;
- 2) разница между односторонними зазорами у обеих передач — не более 0,2 мм;
- 3) контакт рабочих поверхностей зубьев по краске — не менее 65% длины и 60% высоты зуба;
- 4) свес зубьев шестерни относительно зубьев венца — не более 4 мм;
- 5) зазоры между осью и вкладышем моторно-осевых подшипников — в пределах 0,3 — 0,5 мм, а разница между ними не более 0,2 мм;
- 6) продольный разбег оси колёсной пары в моторно-осевых подшипниках тягового двигателя — в пределах 1 — 2 мм.

Упругие зубчатые передачи с цилиндрическими пружинами. Упругая зубчатая передача электровоза Н8. Шестерня выполнена аналогично конструкции шестерни зубчатой передачи электровозов ВЛ19 и ВЛ22.

Рабочие поверхности зубьев шлифуются. Профиль зацепления зубьев зубчатых колёс скорректированный. Система зацепления высотная.

Основные размеры шестерни приведены в табл. 2.

Упругое зубчатое колесо показано на фиг. 24.

Для размещения пружин в венце и центре зубчатого колеса предусмотрено восемь гнезд, равномерно расположенных по окружности диаметром 669 мм. Рабочие поверхности зубьев не шлифуются.

У оснований зубьев как венцов, так и шестерён предусмотрены выкружки радиусом 5,2 мм.

Центр зубчатого колеса (фиг. 25) изготавливается из литой стали 25ЛН1 по ГОСТ 977 — 53.

Таблица 2

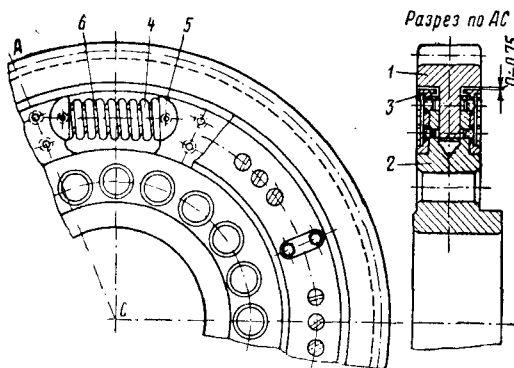
Основные данные тяговых упругих передач электровоза Н8 и электросекции СН

Серия электровоза	Шестерня или зубчатое колесо	Число зубьев Z	Передаточное число i	Ширина C мм	Модуль инструмента m мм	Угол неходного кон. типа φ	Диаметр выступов D_e мм	Диаметр окружности впадин D_f мм	Диаметр начальной окружности d мм*	Диаметр делительной окружности d_0 мм*	Полная высота зуба h мм	Высота головки зуба до хорды начальной окружности k_x мм	Толщина зуба по хорде начальной окружности S_x мм	Высота головки зуба до делительной окружности h_0 мм	Толщина зуба по дуге делительной окружности S_0 мм	Собщая нормаль L мм	Коэффициент коррекции ϵ	Действительное межцентровое расстояние A мм
Н8	Шестерня	22	3,904	100—0,3	11	20	260,6—0,5	211,1	231	—	24,75	15,24	20,02—0,11—0,22	—	—	87,02—0,12	+0,345	586,6±0,2
	Зубчатое колесо	82					916,4—0,5	866,9	902	—	24,75	7,26	14,51—0,12—0,25	—	—	318,53—0,25	—0,345	
СН	Шестерня	23	3,174	120—0,23	10	20	259,174	213,8	232,39	230	22,687	13,74	18,17—0,12	14,587	18,909	80,03—0,12	+0,44	485
	Зубчатое колесо	73					751,2—0,17	705,828	737,11	730	22,687	6,86	13,25—0,14	10,6	16,007	261,417—0,14	+0,041	

* При высотной коррекции диаметры начальной и делительной окружностей совпадают.

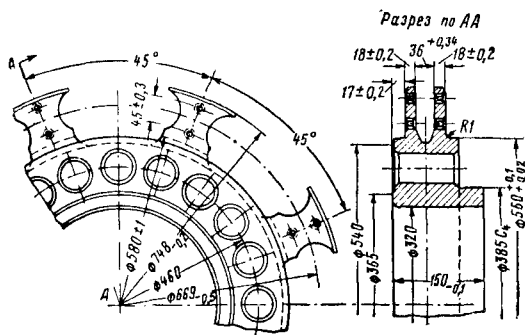
Для уменьшения его веса в центре предусмотрено 20 отверстий диаметром 50 мм.

Цилиндрические поверхности гнёзд подвергаются закалке токами высокой частоты. Твёрдость закалённых поверхностей 32 — 55 единиц по Роквеллу.



Фиг. 24. Упругое колесо тяговой зубчатой передачи электровоза Н8: 1 — венец; 2 — центр зубчатого колеса; 3 — кольцо; 4 — пружина; 5 — кулачок; 6 — валик направляющий

Для предохранения наружной поверхности центра от износа, для фиксации и направления перемещения кулачков, а также



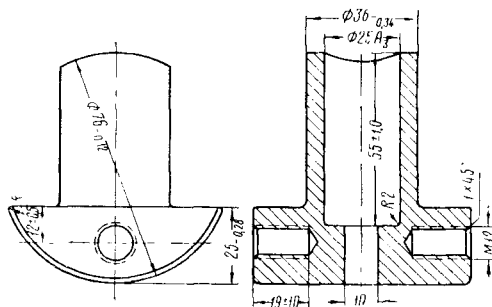
Фиг. 25. Центр упругого зубчатого колеса

для предохранения попадания в кожуи частей пружин в случае поломки их между венцом и центром зубчатого колеса предусмотрено Г-образное кольцо 3 (см. фиг. 24) из ковкого чугуна (К-4-35-4 по ГОСТ 1215 — 41).

Наличие кольца облегчает условия ремонта. При отсутствии кольца будет изнашиваться центр зубчатого колеса, восстановление которого производится электронаплавкой с последующей обработкой, что значительно увеличивает трудоёмкость работ при ремонте.

Цилиндрические пружины изготавливаются из стали 55 С2 по ГОСТ 2052 — 53. Основные данные пружин приведены в табл. 3.

Параметры пружин выбраны так, чтобы суммарное начальное давление их было близко или соответствовало усилию на обод колеса при длительном режиме, а максимальное суммарное давление было близко или соответствовало усилию на обод колеса при реализации коэффициента сцепления 0,3.



Фиг. 26. Кулачок упругого зубчатого колеса

Кулачок (фиг. 26) состоит из опорной части и хвостовика.

Для того чтобы предохранить пружину от дополнительной внецентренной нагрузки в хвостовиках предусмотрены отверстия для установки в них направляющих валиков.

Кулачки изготавливаются из стали 40 по ГОСТ 4543 — 48. Для повышения износостойчивости поверхности кулачков подвергаются закалке. Твёрдость закалённых поверхностей 32 — 38 единиц по Роквеллу.

Насадка шестерён на хвостовики вала тягового двигателя производится так же, как шестерён на вал якоря тяговых двигателей электровозов ВЛ22.

Сборка зубчатого колеса производится в такой последовательности.

В проёмы центра зубчатого колеса устанавливают выступами венцы так, чтобы середина упоров совпала с серединой пазов, затем венцы поворачивают до тех пор, пока рабочие цилиндрические поверхности гнёзд венца и центра не совпадут.

Таблица 3

Основные данные цилиндрических пружин

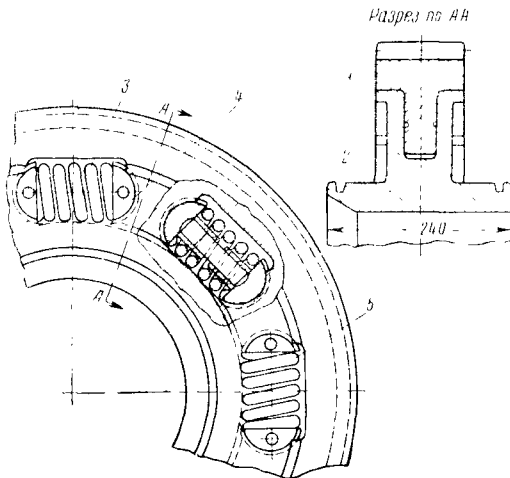
Серия электровоза или электросекции	Диаметр проволоки d мм	Внутренний диаметр витка D мм	Свободная высота пружины h мм	Полное число витков n_0	Рабочее число витков n_p	Жёсткость пружины $ж$ кг/мм	Начальный натяг пружины f мм	Давление начальной затяжки пружины в кг/мм
Н8	$16^{+0,4}_{-0,5}$	$38 \pm 0,5$	$160,4 \pm 0,4$	8,5	$7 \pm 0,2$	60	4,4	240—260
Упругая передача СР и СН	14	46 ± 1	$96^{+1,9}_{-0,95}$	5,5	3	59	4—5	236—295

Далее в отверстие хвостовика одного из кулачков устанавливают направляющий залик и на хвостовик надевают пружину и второй кулачок.

С помощью специальных струбцин, устанавливаемых в отверстие кулачков, пружины сжимают до требуемого размера и помещают в гнезда. Затем струбцины снимают и устанавливают кольца.

Кольца к боковым центрам зубчатого колеса прикрепляют болтами М12, которые предохраняются от отворачивания замковыми шайбами. После сборки зазор между венцом и кольцами должен быть в пределах 0,02 — 0,55 мм.

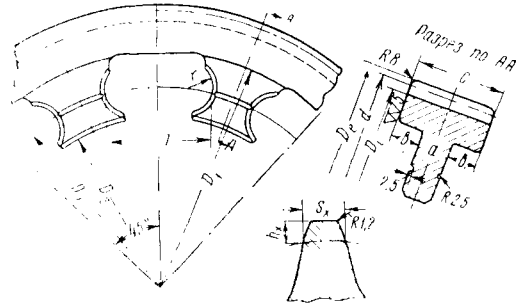
Модернизированная упругая зубчатая передача моторного вагона электросекции СР. На моторных вагонах электросекции СР установлена опытная партия упругих зубчатых передач. Конструкция шестерни и раз-



Фиг. 27. Упругое колесо тяговой зубчатой передачи моторных вагонов электросекций СР и СН: 1—венец; 2—центр зубчатого колеса; 3—пружина; 4—кулачок; 5—валик направляющий

меры упругого зубчатого колеса сохранены те же, что и на существующих жесткой конструкции. Упругое зубчатое колесо показано на фиг. 27.

Для размещения пружин в сборе с кулачками и направляющим валиком в венце и центре предусмотрено восемь гнезд, расположенных равномерно по окружности радиусом 490 мм.

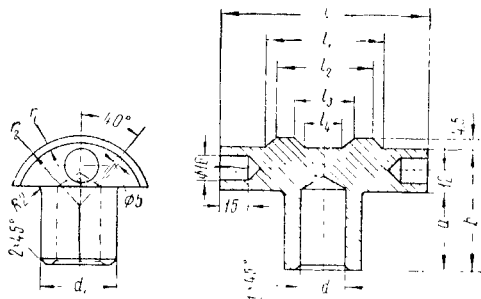


Пружина 3 (см. фиг. 27) изготавливается из стали 55 Ст по ГОСТ 2052 — 53.

Основные данные пружины приведены в табл. 3.

Торцы пружин обрабатываются по пятому классу чистоты.

Непараллельность торцов должна быть не более 1 мм. В остальном пружины должны удовлетворять техническим условиям ГОСТ 1452 — 42.



Фиг. 30. Кулачок упругого зубчатого колеса

Основные параметры пружины были выбраны исходя из тех же условий, что при выборе параметров пружин для передачи электровоза Н8.

Зазор между упорами кулачков определен равным 14 мм.

Кулачок (фиг. 30) изготавливается из стали марки Ст. 3 по ГОСТ 380 — 50.

Для повышения поверхностной прочности кулачки подвергаются цементации на глубину 0,8 — 1,2 мм и последующей закалке. Твердость закаленных поверхностей 56 — 59 единиц по Роквеллу.

Основные размеры кулачков приведены в табл. 5.

Сборка упругого зубчатого колеса производится так же, как на электровозе Н8.

После сборки зубчатое колесо должно удовлетворять следующим требованиям:

- 1) отклонение основного шага — не более 0,03 мм;
- 2) биение профиля зубьев при проверке роликом — не более 0,1 мм;
- 3) биение торца зубчатого колеса на венце — не более 0,1 мм;
- 4) местные зазоры между опорными цилиндрическими поверхностями кулачков и гнезд центра и венца — не более 0,5 мм.

Упругая зубчатая передача моторного вагона электросекции СН. На моторном вагоне электросекции СН применено опорно-рамное подвешивание тягового двигателя, при котором вращающий момент тягового двигателя к зубчатым передачам осуществляется при помощи кулачковой муфты, которая описана в статье «Привод при опорно-рамном подвешивании» (см. фиг. 11 и 12), или при помощи тарсионного вала и пластинчатых пружин (см. там же фиг. 10).

Шестерню и зубчатое колесо устанавливают в кожух литой конструкции, который, помимо своего основного назначения, воспринимает силовую нагрузку от вращающего момента тягового двигателя и сохраняет межцентровое расстояние зубчатых колес.

При опорно-осевом подвешивании эти функции выполняет остов тягового двигателя.

Конструкция кожуха в сборе с зубчатыми колесами моторного вагона электросекции СН показана на фиг. 31.

В нижней части кожуха для подвески предусмотрено ребро с отверстием. На цилиндрические поверхности центра зубчатого колеса диаметром 380 мм устанавливаются толщиной 12,5 и шириной 77 мм бронзовые подшипники 3 ОЦС Б-6-3 по ГОСТ 613 — 50.

С наружной стороны вкладыши зажимаются верхними и нижними половинками кожуха. После затяжки болтов зазор между вкладышами и цилиндрическими вращающимися поверхностями центра зубчатого колеса должен быть равен 0,08 — 0,2 мм. В нижней части кожуха имеется отверстие с резьбой для проверки уровня смазки, в верхней части — прямоугольное отверстие для заливки в кожух смазки. На крышке его установлено специальное устройство с фильтром, предназначенное для пополнения воздуха и поддержания в кожухе наружного атмосферного давления.

В верхней части предусмотрено сквозное круглое отверстие, в которое устанавливаются крышки 4, фиксирующие при помощи конических подшипников шестерню.

На хвостовики шестерни в подогретом состоянии насаживаются конические подшипники 5 № 7518 по ГОСТ 333 — 41.

Со стороны удлиненного хвостовика в нагретом состоянии насаживается фиксирующее кольцо 6.

После установки шестерни с подшипником на верхние кольца подшипников надеваются крышки, которые фиксируют шестерню в кожухе.

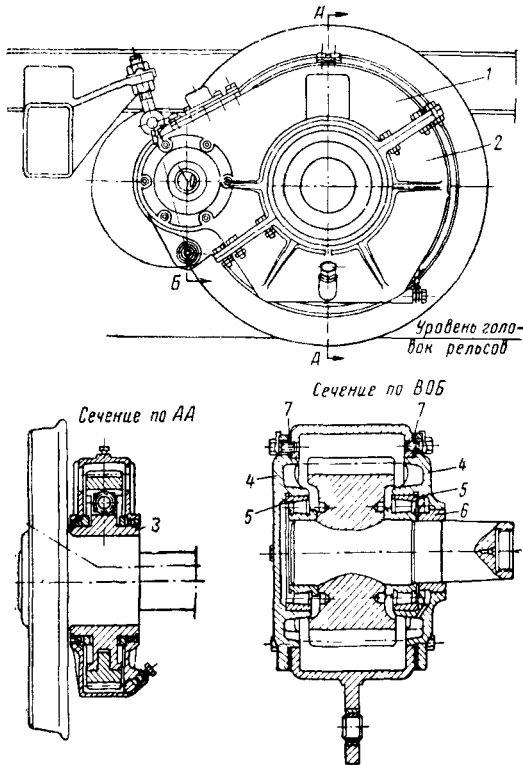
Таблица 5

Основные размеры кулачков в мм (см. фиг. 30)

Серия электросекции	d_1	d_2	r_1	r_2	a	b	l	l_1	l_2	l_3	l_4
СР	42	$26^{+0,28}$	35	39,5	$39_{-0,34}$	$63_{-0,4}$	$110_{-0,87}$	65	60	30	25
СН	42	$26^{+0,28}$	35	39,5	$39_{-0,34}$	$63_{-0,4}$	80	$52_{-0,4}$	48	36	28

Требуемый зазор роликовых подшипников 0,07 — 0,18 мм регулируется прокладками 7, устанавливаемыми между крышками и кожухами.

Правильно смонтированная шестерня должна легко вращаться, без заедания и перекосов.



Фиг. 31. Кожух в сборе с зубчатой передачей моторного вагона электросекции СН: 1—верхняя половина кожуха; 2—нижняя половина кожуха; 3—подшипник бронзовый; 4—крышка; 5—конический подшипник; 6—фиксирующее кольцо; 7—прокладка

Роликоподшипники смазываются консистентной смазкой 1-13 по ГОСТ 1631—42.

Для того чтобы не было утечки масла, поверхности соприкосновения частей кожухов, а также цилиндрические поверхности горловин обрабатывают по 6—7-му классам чистоты и плотно затягивают болтами.

После монтажа шестерён и зубчатого колеса производится проверка бокового зазора между зубьями, который должен находиться в пределах 0,28 — 0,76 мм.

Расхождение боковых зазоров в одной зубчатой паре не должно быть более 0,12 мм, зубчатые колёса должны легко поворачиваться без заедания и перекосов.

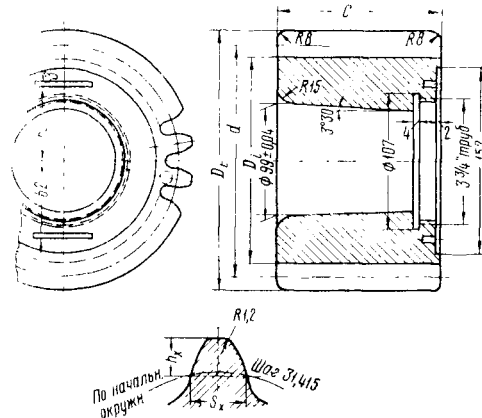
На шестерне предусмотрен хвостовик для насадки кулачковой муфты или крестовины пластинчатых пружин.

Основные размеры шестерни приведены в табл. 2.

Конструкция упругого зубчатого колеса на тяговой зубчатой передаче моторного вагона электросекции СН такая же, как на модернизированной зубчатой передаче СР

(см. фиг. 27) с размерами, приведёнными в таблицах 2 — 5.

Жёсткая зубчатая передача моторных вагонов электросекций Сд, СР и С₃^Р. На моторных вагонах электросекций Сд, СР и С₃^Р передача вращающего момента тягового двигателя к оси колёсной пары осуществляется одной парой зубчатых колёс жёсткой конструкции, состоящей из шестерни и зубчатого колеса.

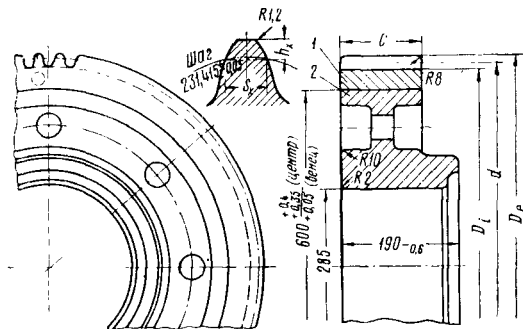


Фиг. 32. Шестерня тяговой зубчатой передачи моторных вагонов электросекций Сд, СР и С^Р

Шестерня (фиг. 32) имеет конусное отверстие, которое с наружной стороны сопрягается с цилиндрическим резьбовым отверстием, предназначенным для закрепления шестерни гайкой на хвостовике вала якоря тягового двигателя.

Рабочие поверхности зубьев подвергаются поверхностному упрочнению цементацией с последующей закалкой и шлифуются.

Зубчатое колесо показано на фиг. 33. Венец насаживается на центр зубчатого коле-



Фиг. 33. Колесо тяговой зубчатой передачи моторных вагонов электросекций Сд, СР и С₃^Р: 1—венец; 2—центр зубчатого колеса

са в горячем состоянии до нарезки зубьев. Температура нагрева 120 — 180°, натяг 0,3 — 0,4 мм.

Рабочие поверхности зубьев шлифуются. Сопряжение рабочих поверхностей и впадин осуществляется радиусом.

Основные данные шестерен и зубчатых колес приведены в табл. 6.

Центр зубчатых колёс отливается из мартеновской стали с химическим составом и механическими свойствами по ГОСТ 977—53, марки 25ЛП.

Насадка шестерни на хвостовик вала тягового двигателя производится с подогревом в содовом растворе до температуры кипения 100—110°C.

Конус хвостовика вала и конусное отверстие шестерни перед посадкой тщательно протирают уайт-спиритом.

Конус вала перед посадкой шестерни проверяют конусным калибром по краске.

Насадка шестерни производится вручную доводкой лёгкими ударами кувалды весом 5 кг.

Шестерня должна сесть на конус вала на 0,75—1,25 мм глубже, чем при предварительной пробе в холодном состоянии.

После насадки биение на торцах зубьев не должно быть более 0,05 мм, а биение профиля зубьев при проверке роликом не должно быть более 0,1 мм.

Зубчатое колесо на удлиненную ступицу колёсного центра напрессовывается в холодном состоянии.

Зазоры между осью колёсной пары и вкладышами моторно-осевых подшипников должны находиться в пределах 0,2 — 0,4 мм.

Площадь прилегания рабочей поверхности вкладыша к оси после подгонки должна быть не менее 75%.

Продольный разбег тягового двигателя на оси колёсной пары должен быть не более 0,5 мм, а свес шестерни относительно колеса не более 3 мм.

Непараллельность осей шестерни и зубчатого колеса, измеренная на ширине зубьев, должна быть не более 0,035 мм.

Боковые зазоры между зубьями зубчатого колеса и шестерни должны быть в пределах 0,2 — 0,7 мм.

Зубья шестерни и зубчатого колеса после монтажа их должны иметь контакт рабочих поверхностей не менее 65% длины и 60% высоты зуба.

Для увеличения контакта рабочих поверхностей зубьев рекомендуется производить прикатку составом по весу: 10% коллоидального графита и 1% карборундового двадцатиминутного порошка со скоростью вращения длительного режима 250 об/мин.

Жёсткие косозубые передачи электровозов.

На некоторых электровозах ВЛ22^м, а также на вновь выпускаемых электровозах серии ВЛ23 установлена двусторонняя косозубая передача.

На этих электровозах применена передача одинаковой конструкции, отличающаяся лишь числом зубьев и связанными с ними размерами. Передача состоит из шестерни, венца и центра зубчатого колеса.

Шестерня (фиг. 34) изготавливается из стали 12ХНЗА или 37ХНЗА по ГОСТ 4543—48.

После закалки поверхности зубьев не шлифуются. Основные размеры шестерни приведены в табл. 7.

Зубчатое колесо показано на фиг. 35.

Венцы зубчатых колёс (фиг. 36) изготавливаются из стали 37ХНЗА. Заготовки венцов до

Таблица 6

Основные данные шестерен и зубчатых колес моторных вагонов Сд, СР, СЗ и СН (фиг. 32 и 33)

Серия электро-сечей	Шестерня или зубчатое колесо	Число зубьев Z	Передаточное число i	Ширина С мм	Модуль инструмента m мм	Угол исходного кон-тура α°	Диаметр выступов D _в мм	Диаметр [окружности впадин D _п мм	Диаметр начальной окружности d мм	Диаметр делительной окружности d _д мм	Полная высота зуба h мм	Высота головки зуба до хорды начальной окружности h _х мм	Толщина зуба по хорде начальной окружности S _х мм	Высота головки до делительной окружно-сти h _д мм	Толщина зуба по дуге делительной окружно-сти S _д мм	Общая нормаль L мм	Коэффициент корек-ции ε	Делительное меж-центровое расстояние A мм
Сд, и СР СЗ и уп- рутая передача СР	Шестерня	19	3,684	135—0,25	9,75	15	214—0,09	170,29	190	185,25	21,855	12,4	17,45	14,375	18,664	78,303—0,223—0,423	+0,641	445
	Зубчатое колесо	70					712—0,15	668,29	700	682,5	21,855	6,07	13,62—0,12	14,75	18,868	229,388—0,238—0,438	+0,68	

Таблица 7

Основные данные шестерён и зубчатых колёс косозубой передачи электровозов ВЛ22М и ВЛ23 (фиг. 34 и 36)

Серия электро- воза	Шестерня или зубчатое колесо	Число зубьев Z	Передачное число i	Ширина зуба S мм	Модуль инструмента m мм	Угол исходного контура α_0	Угол наклона зубьев по делительной окружности β_0	Диаметр выступов D_e мм	Диаметр окружности впадин D_i мм	Диаметр делительной окружности d мм	Высота головки зуба до хорды делительной окруж- ности h_x мм	Толщина зуба по хор- де делитель- ной окруж- ности S_d мм	Коэффициент коррекции в торцовом сечении ε_α	Действительное межшес- терное расстояние A мм	Высота от центра впадины паза шпонки $h_{ш}$ мм	Диаметр конус- ного, от- верстия шестерни $D_{кш}$ мм	Радиус выкружки основа- ния зубьев R	Диаметр отверстия в шестерне под гайку d_s	Внутрен- ний диа- метр впаина d_v мм
ВЛ22М	Шестерня	18	4,535	100 \pm 0,2	10	20	23°27'	223,2 \pm 0,6	177,2	196,2	13,857	18,237 \pm 0,11	—	545	59,5 \pm 0,2	119,83 \pm 0,04	5	138 \pm 1	—
	Зубчатое колесо	82						906,2 \pm 0,2	860,2	893,8	6,24	12,941 \pm 0,17	—		—	—	5	—	735 \pm 0,082
ВЛ23	Шестерня	21	—	100 \pm 0,02	10	20	24°37'	258,3 \pm 0,5	212,7	231	14,09	18,35 \pm 0,21 \pm 0,11	+0,332	566,5	65,3 \pm 0,2	137,82 \pm 0,085 \pm 0,4	5 \pm 0,4	152 \pm 1	—
	Зубчатое колесо	82						914,7 \pm 0,5	869,1	902	6,407	13,048 \pm 0,3 \pm 0,17	—0,332		—	—	5 \pm 0,4	—	735 \pm 0,082

колеса в продольном направлении, что имеет место в тяговых зубчатых передачах. Так, радиальный зазор между шейкой оси и вкладышем моторно-осевого подшипника в эксплуатации допускается до 3 мм и соответственно увеличивается межцентровое расстояние. Продольный разбег тягового двигателя на оси колёсной пары допускается в эксплуатации до 8 мм и соответственно относительное смещение зубьев шестерён и зубчатых колёс составит +4 мм (см. Правила капитального ремонта электровозов, п. 83 и 84).

Основным мероприятием, повышающим эксплуатационную стойкость и долговечность зубьев тяговых зубчатых передач, является правильный выбор марок сталей для шестерён и венцов и термическая обработка их. Для повышения стойкости на смятие или сдвиг необходимо, чтобы рабочая поверхность зубьев имела высокую твёрдость, а сердцевина зубьев имела высокий предел усталости.

В настоящее время на тяговых зубчатых передачах электровозов и моторных вагонах применяются стали марок 37ХНЗА, 12ХНЗА, 30ХНЗА по ГОСТ 4543—48 и сталь 50 по ГОСТ — 52.

Область применения марок сталей приведена в табл. 8.

Таблица 8

Материал тяговых зубчатых передач

Марка стали	Серии электровозов и электросекций
<i>Шестерни</i>	
12ХНЗА	ВЛ19 и ВЛ22 ^М , Н8, С _д , С _р , С ₃ , С _Н
37ХНЗА	ВЛ19 и ВЛ22 ^М , ВЛ23 и НО, Н8, С и Сс
<i>Зубчатые колёса и венцы</i>	
30ХНЗА	С _Н , С _р , С _д , С ₃
37ХНЗА и 50	С, Сс, ВЛ19 и ВЛ22 ^М , Н8, ВЛ23 и НО

Заготовки венцов и шестерён изготавливаются ковкой с прокаткой или горячей штамповкой.

Для повышения механических свойств заготовки венцов и шестерён перед нарезкой зубьев вначале подвергаются грубой механической обработке, затем термической обработке и закалке с высоким отпуском — улучшению.

Показатели механических свойств стали для тяговых зубчатых передач электровозов и моторных вагонов электросекций после улучшения приведены в табл. 9.

Поверхность зубьев венцов и шестерён после нарезки, но до шлифовки, подвергается поверхностной закалке (поверхностному упрочнению), за исключением венцов зубчатых колёс моторных вагонов электросекций, для которых ограничиваются термоулучшением.

На существующих тяговых зубчатых передачах способы поверхностной закалки различные.

На электровозах ВЛ19, ВЛ22^М, Н8, НО и ВЛ23 шестерни, изготавливаемые из сталей марок 12ХНЗА, подвергаются цементации с последующей закалкой. Твёрдость рабочих поверхностей 43—52 единицы по Роквеллу.

Шестерни, изготавливаемые из стали марки 37ХНЗА, также подвергаются закалке. Твёрдость закалённых поверхностей 43—52 единицы по Роквеллу.

В обоих случаях закалка поверхностей зубьев шестерён производится частичная, т. е. только по рабочей поверхности (см. фиг. 37), нагревом токами высокой частоты или ацетилено-кислородным пламенем.

Поверхности зубьев венцов электровозов, изготовленных из стали марки 37ХНЗА, также подвергаются закалке с отпуском по рабочему профилю (фиг. 37).

ЦНИИ МПС совместно со специалистами заводов МПС, авиационной и автомобильной промышленности разработана технология, по которой была изготовлена опытная партия тяговых зубчатых передач.

Материал шестерён 12ХНЗА, венцов — 37ХНЗА. Глубина цементуемого слоя поверхности зубьев шестерён 1,7—2,2 мм.

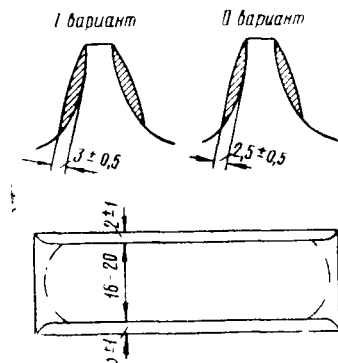
Таблица 9

Показатели механических свойств сталей после термоулучшения

Тип подвижного состава		Марка стали	Временное сопротивление разрыву σ_B кг/мм ² не менее	Предел текучести σ_S кг/мм ² не менее	Относительное удлинение δ % не менее	Относительное сжатие ψ % не менее	Ударная вязкость α_K кг·м/см ² не менее	Твёрдость по Бринеллю H_B
Электровозы всех серий	Шестерни	12ХН3А ГОСТ 4543—48	85	60	11	50	9	207—241
	Венцы	37ХН3А ГОСТ 4543—48	90	70	12	45	9	250—270
Моторные вагоны электросекций	Шестерни	12ХН3А ГОСТ 4543—48	85	60	10	50	8	196—241
	Венцы	30ХН3А ГОСТ 4543—48	85	57	10	36	6	270—300

Твёрдость поверхности 56—60 единиц по Роквеллу. Твёрдость поверхности зубьев венца 50—54 единицы по Роквеллу. Глубина закалённого слоя 1,8—2,2 мм. Закалка производилась по всему контуру зубьев шестерён и венцов (см. фиг. 38).

Зубья шестерён и венцов были изготовлены по 2-му классу точности по ГОСТ 1643—46. Шлифовка зубьев производилась

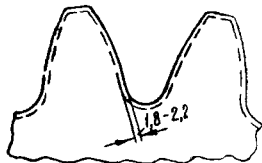


Фиг. 37. Эскиз закалки профилей зубьев шестерён и венцов электровозов С, Сс, ВЛ19, ВЛ22М, Н8, НО6 и ВЛ23: I вариант — нагрев токами высокой частоты; II вариант — нагрев ацетилено-кислородным пламенем

по всему контуру. Долговечность этих зубчатых колёс в несколько раз больше долговечности зубчатых колёс, изготовляемых Новочеркасским электровозостроительным заводом имени Будённого.

На моторных вагонах электросекций Сд, СР, СР₂ и СН шестерни изготавливаются из стали марки 12ХНЗА. Поверхности зубьев цементируются. Глубина цементируемого слоя 1,7—2,2 мм.

После цементации зубья шестерни подвергаются двукратной закалке с отпуском.



Фиг. 38. Эскиз закалки зубьев по всему контуру

Цементация и закалка производятся по всему контуру профиля зубьев (фиг. 38). Твёрдость закалённых поверхностей должна быть не менее 54 единиц по Роквеллу.

Венцы зубчатых колёс моторных вагонов электросекций изготавливаются из стали марки 30ХНЗА. Грубо обработанные заготовки подвергаются термоулучшению. Закалка производится с высоким отпуском. Твёрдость 270—300 единиц по Бринеллю.

Одним из улучшенных методов поверхностного упрочнения зубьев является цементация с последующей закалкой, обеспечивающая высокую усталостную прочность зубьев наряду с высокими показателями их износо-

стойкости и контактной прочности. Однако применение её связано с техническими трудностями, особенно при обработке зубчатых колёс больших диаметров, и, кроме этого, требуется высоколегированная цементируемая сталь.

В этой связи в последние годы всё большее применение в промышленности находит высокочастотная поверхностная закалка, как более экономичный и производительный процесс, позволяющий в ряде случаев использовать простую углеродистую сталь вместо легированной.

В настоящее время применяются два способа поверхностной закалки: закалка с нагревом токами высокой частоты только рабочей поверхности зубьев и закалка всего зуба по контуру с нагревом токами высокой частоты.

Обработка по первому способу наиболее легко осуществима в производственных условиях заводов, но при такой обработке снижается циклическая прочность и долговечность зубьев, так как у основания их появляются усталостные трещины.

Причиной появления трещин является образование остаточных растягивающих напряжений в зоне неупрочнённой галтели, лимитирующей усталостную прочность всего зуба.

Обработка по второму способу (контурная закалка), как правило, значительно повышает сопротивляемость зубьев воздействию повторно-переменных нагрузок благодаря созданию благоприятных сжимающих напряжений по всему контуру зуба, действие которых особенно эффективно при наличии концентратора напряжений (галтели).

Такая обработка технологически сложнее первой и менее доступна для внедрения на заводах, так как для её осуществления необходимы специальные закалочные станки.

Чтобы использовать высокую контактную прочность и износостойкость зубьев, достигаемые поверхностной закалкой, и повысить сопротивляемость зубьев усталостному разрушению, применяется метод комбинированного упрочнения, по которому рабочая поверхность зубьев подвергается закалке с нагревом токами высокой частоты, а незакалённые поверхности впадины упрочняются наклёпом от дробеструйного аппарата или накаткой роликами.

По данным результатов испытаний Академии наук СССР и завода транспортного машиностроения пришли к следующим выводам.

Наибольшей усталостной и ударно-усталостной прочностью обладают цементированные шестерни из стали 12Х2Н4А.

За ними следуют цементированные шестерни из стали 12ХНЗА и практически равные с ними по прочности шестерни из углеродистой стали 50 с комбинированной обработкой: закалкой токами высокой частоты рабочей части зуба и последующим наклёпом дробью или роликом.

Величины пределов выносливости указанных шестерён весьма близки (47,5—51 кг/мм²).

Однако последующая эксплуатационная проверка зубчатых колёс на тепловозах пока-

зала, что поверхностное упрочнение впадин накаткой роликами оказалось недостаточным, так как после сравнительно небольших пробегов у основания зубьев появляются усталостные трещины.

По результатам стендовых и эксплуатационных испытаний ЦНИИ МПС пришёл к заключению, что выход из строя зубчатых передач электровозов и моторных вагонов электросекций происходит по излому зубьев, а не по износу. Поэтому основным мероприятием является повышение предела выносливости, которого можно достигнуть закалкой поверхностей зубьев по всему контуру, по рабочим поверхностям и по впадинам на глубину 2,5—4 мм для зубчатых колёс и шестерён, изготавливаемых из сталей марок 37ХНЗА и 50 и цементацией по всему контуру на глубину 1,7—2,2 мм с последующей закалкой для шестерён, изготовленных из стали марки 12ХНЗА.

Одновременно ЦНИИ МПС считает, что для уменьшения динамических нагрузок на зубья необходимо тяговые зубчатые передачи изготавливать с допусками по 1—2-му классам точности по ГОСТ 1643 (проект) и шлифовать впадины зубьев.

Исходя из результатов стендовых и эксплуатационных испытаний тяговых зубчатых передач электровозов и моторных вагонов электросекций, проведённых ЦНИИ МПС, стендовых испытаний шестерён тепловозов, проведённых Академией наук СССР совместно с заводом транспортного машиностроения, а также учитывая опыт эксплуатации тяговых зубчатых передач на электроподвижном составе для зубчатых передач электровозов и моторных вагонов, можно рекомендовать:

для шестерён сталь 12Х2Н4А или 12ХНЗА с цементацией по всему контуру глубиной 1,7—2,2 мм и последующей закалкой; твёрдость закалённых поверхностей 56—63 единицы по Роквеллу;

для венцов сталь марки 37ХНЗА или сталь 45 или сталь 50 по ГОСТ 1050—52 с поверхностной закалкой по всему контуру зуба; глубина закалки 2,5—4 мм; твёрдость закалённого слоя 46—52 единицы по Роквеллу; допуск на изготовление не ниже 2-го класса точности и со шлифовкой рабочих поверхностей зубьев.

Расчет геометрии зацепления зубьев

Наименование и условные обозначения, принятые при расчёте прямоугольных тяговых передач

(соответствуют ОСТ ВКС 8089, проекту ГОСТ 1643 и введены недостающие)

Число зубьев	Z
Угол профиля исходного контура . . .	σ_d
Коэффициент коррекции	ε_c
Суммарный коэффициент коррекции . .	ε_0
» [относительный коэффициент коррекции]	λ_0
Коэффициент смещения осей	λ
Укорочение головки зуба	
Полусумма чисел зубьев шестерни и колеса	z_{cp}
Межцентровое расстояние без коррекции при выбранном z_{cp}	A_0

Продолжение

Действительное межцентровое расстояние	A
Диаметр начальной окружности . . .	d
» делительной окружности	d_d
» основной	d_0
Передаточное число	i
Диаметр окружности выступов	D_e
» впадин	D_i
Длина общей нормали зубчатых колёс с нормальным зацеплением	L_0
Длина общей нормали зубчатых колёс с корригированным зацеплением . .	L
Число впадин при измерении зубьев по длине общей нормали	n
Высота ножки зуба по делительной окружности	h_d''
Коэффициент высоты зуба основной рейки	f_0
Толщина зуба по окружности выступов в долях модуля	S_e
Шаг по делительной окружности . . .	t
Основной шаг	t_0
Предельное отклонение основного шага	Δt_0
Гарантированный боковой зазор . . .	C_n
Наибольший возможный боковой зазор .	$C_{n\max}$
Предельное отклонение межцентрового расстояния	ΔA
Допуск на радиальное биение зубчатого венца	E_0
Наименьшее смещение исходного контура	$\Delta_m h$
Допуск на смещение исходного контура	δh
Толщина зуба по дуге делительной окружности (при беззазорном зацеплении)	S_d
Толщина зуба по хорде делительной окружности (при беззазорном зацеплении)	S'
Расстояние от хорды делительной окружности до окружности выступов	h_x
Толщина зуба по дуге делительной окружности с учётом уменьшения толщины зуба и допуска	S_d'
Толщина зуба по хорде делительной окружности с учётом уменьшения толщины зуба и допуска	S
Наименьшее уменьшение толщины зуба по хорде делительной окружности	$\Delta_m S$
Наименьшее уменьшение толщины зуба по дуге делительной окружности	$\Delta_m S_d$
Допуск на толщину зуба по хорде делительной окружности	δS
Допуск на толщину зуба по дуге делительной окружности	δS_d
Минимальное уменьшение длины общей нормали	$\Delta_m L$
Допуск на длину общей нормали . .	δL
Радиус головки зуба фрезы	r
Высота переходной галтели зуба фрезы	c
Радиус окружности, ограничивающей активный профиль на зубьях	R_a
Активная высота зуба	H_a
Радиус окружности, на которой находится точка перехода от эвольвенты профиля к галтели	R_c
Высота зуба до начала переходной галтели	H
Высота головки зуба до делительной окружности	h_d''
Высота головки зуба до начальной окружности	h'
Расстояние по линии зацепления, проходящее точкой контакта зубьев за период, в течение которого находится в зацеплении головка зуба шестерни	$l_{ш}$
Расстояние по линии зацепления, проходящее точкой контакта зубьев за период, в течение которого находится в зацеплении головка зуба колеса	l_k

Продолжение

Коэффициент перекрытия	ϵ
Относительное удельное давление на ножках зубьев шестерни или колеса по отношению к удельному давлению в полюсе зацепления	ζ
Высота фланкированного участка на зубе изделия	h_ϕ
Радиус окружности, на которой лежит начало фланка на зубьях	R_ϕ
Угол, соответствующий фланку на зубьях	φ_x
Угол, соответствующий участку теоретической эвольвенты от основной окружности до начала фланка	$\Delta\alpha$
Глубина фланка на зубьях	Δh

Основные формулы расчёта геометрии зацепления зубьев¹. Здесь приведены только формулы, которые вызваны спецификой расчёта тяговых зубчатых передач. В каждом отдельном случае при пользовании формулами приводится ссылка с указанием названия литературного источника, страниц и номера таблицы или графика.

Для сохранения нормального радиального зазора, а также для удаления начала точки зацепления вершины зуба от опасного сечения его (место сопряжения эвольвентного профиля с кривой выкружки у основания зуба) производится укорочение зуба, определяемое по формуле

$$\lambda = m\xi_c - (A - A_0) = mz_{cp}(\xi_0 - \lambda_0). \quad (1)$$

Толщина зуба по хорде на дуге окружности произвольного радиуса и длина общей нормали определяются с учётом наименьшего смещения исходного контура, обеспечивающего гарантированный боковой зазор между зубьями шестерни и колеса, предусмотренного проектом ГОСТ 1643.

Наименьшее уменьшение толщины зуба и хорды дуги окружности произвольного радиуса

$$\Delta_n S_x = \frac{2 \cdot |\Delta_m h| \sin \alpha_0}{\cos \left(\alpha_x - \frac{S_x}{d_x} 57,296^\circ \right)}. \quad (2)$$

Величина допуска на толщину зуба по хорде дуги окружности произвольного радиуса

¹ Формуляр расчета и необходимые формулы к нему составлены с участием гг. Ю. Е. Заводского, Г. А. Хромова, А. А. Щацилло и Т. В. Шишковой.

$$\delta S_x = \frac{2\delta h \sin \alpha_0}{\cos \left(\alpha_x - \frac{S_x}{d_x} 57,296^\circ \right)}. \quad (3)$$

Минимальное уменьшение длины общей нормали и допуск на неё определяются по формулам, приведённым в проекте ГОСТ 1643.

Радиус окружности, ограничивающий активный профиль на ножках зубьев для шестерни

$$R_{a.u} = \frac{\frac{d_{uu}}{2} - l_k \sin \alpha}{\cos \arctg \frac{l_k \cos \alpha}{\frac{d_{uu}}{2} - l_k \sin \alpha}}; \quad (4)$$

для зубчатого колеса

$$R_{a.k} = \frac{\frac{d_k}{2} - l_{uu} \sin \alpha}{\cos \arctg \frac{l_{uu} \cos \alpha}{\frac{d_k}{2} - l_{uu} \sin \alpha}}. \quad (5)$$

Радиус окружности начала теоретической эвольвенты профиля зуба определяется с учётом наименьшего смещения исходного контура, необходимого для обеспечения гарантированного бокового зазора:

$$R_c = \frac{\frac{d_d}{2} - (h'' - c)}{\cos \arctg \left[\frac{\frac{d_d}{2} - (h'' - c)}{\left| \frac{d_d}{2} - (h'' - c) \right|} \right] \operatorname{tg} \alpha_d}. \quad (6)$$

Формула для определения радиуса R_c выведена без учёта допуска на смещение исходного контура.

Радиус основной окружности эвольвенты фланка определяется, полагая, что на рабочем контуре угол фланка будет равен $\Delta\alpha_0$

$$r'_0 = \frac{d_0}{2} \cos(\alpha_0 + \Delta\alpha_0). \quad (7)$$

Фланкирование зубьев шестерни зубчатого колеса. Ошибки основного шага, неточности в геометрии, деформации зубьев шестерён и зубчатых колёс вызывают шум и дополнительные динамические нагрузки, которые возрастают с повышением скорости движения.

Это явление можно уменьшить применением фланкирования зубьев, т. е. искусственного искажения профиля и вершины его.

Поскольку на тяговых зубчатых передачах большие диаметры колёс, то величина

Таблица 10

Значение углов фланкирования в зависимости от класса точности изготовления и модуля

Показатель	К л а с с т о ч н о с т и								
	1-й			2-й			3-й		
Модули	1—1,75	2—3,75	4—10	1—1,75	2—3,75	4—20	1—1,75	2—3,75	4—20
$\Delta\alpha_0$	2°	1° 20'	1°	3° 20'	2°	1° 20'	4° 30'	3° 20'	2°

фланка получается меньше предусмотренной по ГОСТ 3058—54; его можно получить шлифовкой зубьев. Это даёт возможность задать высоту фланка непосредственно на шестерне и колесе, оставляя при этом без изменения рабочий контур инструмента. Углы фланкирования приведены в табл. 10.

Формуляр расчёта геометрии зацепления тяговой зубчатой передачи с прямыми зубьями. При расчёте использованы таблицы, графики и номограммы книги «Детали машин», т. 1, под редакцией Г. С. Ачеркана, Машгиз, 1953 г.

Исходные данные

Число зубьев шестерни	$Z_{ш} = 23$
» » колеса	$Z_{к} = 85$
Передаточное число	$i = \frac{Z_{к}}{Z_{ш}} = \frac{85}{23} = 3,695$
Модуль	$m = 10 \text{ мм}$
Угол профиля исходного контура	$\alpha_0 = 20^\circ$
Коэффициент высоты зуба	$f_0 = 1,0$
Действительное межцентровое расстояние	$A = 545 \text{ мм}$
Коррекция	угловая

Измерение зубьев производится по длине общей нормали.

Формуляр расчёта прямозубых тяговых передач

Определяемая величина	Формулы и подсчёты (линейные размеры в мм)	Точность подсчёта
Полусумма чисел зубьев шестерни и колеса	$Z_{cp} = \frac{Z_{ш} + Z_{к}}{2} = \frac{23 + 85}{2} = 54$	1 знак после запятой
Межцентровое расстояние без коррекции	$A_0 = m Z_{cp} = 10 \cdot 54 = 540$	Целое число
Коэффициент смещения осей	$\lambda_0 = \frac{A - A_0}{A_0} = \frac{545 - 540}{540} = 0,00926$	5 знаков после запятой
Суммарный относительный коэффициент коррекции (выбирается по табл. 1 стр. 383 в зависимости от λ_0)	$\xi_0 = 0,00957$	То же
Суммарный коэффициент коррекции	$\xi_c = Z_{cp} \xi_0 = 54 \cdot 0,00957 = 0,517$	3 знака после запятой
Коэффициент коррекции шестерни и колеса	$\xi_{ш} = +0,450$ $\xi_{к} = +0,067$	То же
Угол зацепления передачи (определяется по табл. 1 стр. 383 в зависимости от λ_0)	$\alpha = 21^\circ 24'$	1'
Диаметры делительных окружностей	$d_{0ш} = m Z_{ш} = 10 \cdot 23 = 230,0$ $d_{0к} = m Z_{к} = 10 \cdot 85 = 850,0$	3 знака после запятой
Диаметры основных окружностей	$d_{0ш} = d_{0ш} \cos \alpha_0 = 230 \cos 20^\circ = 230 \cdot 0,9397 = 216,13$ $d_{0к} = d_{0к} \cos \alpha_0 = 850 \cos 20^\circ = 850 \cdot 0,9397 = 798,74$	2 знака после запятой
Диаметры начальных окружностей (для проверки): $\frac{d_{ш} + d_{к}}{2} = A$	$d_{ш} = d_{0ш} (\lambda_0 + 1) = 230 (0,00926 + 1) = 232,130$ $d_{к} = d_{0к} (\lambda_0 + 1) = 850 (0,00926 + 1) = 857,870$	3 знака после запятой
Укорочение головки зуба [см. формулу (1)]	$\lambda = A_0 (\xi_c - \lambda_0) = 540 (0,00957 - 0,00926) = 0,167$	То же
Диаметры окружностей выступов	$D_{еш} = d_{0ш} + 2m (f_0 + \xi_{ш}) - 2\lambda = 230 + 2 \cdot 10 (1,0 + 0,450) - 2 \cdot 0,167 = 258,67$ $D_{ек} = d_{0к} + 2m (f_0 + \xi_{к}) - 2\lambda = 850,0 + 2 \cdot 10 (1,0 + 0,067) - 2 \cdot 0,167 = 871,0$	2 знака после запятой
Шаг	По делительной окружности $t = m \pi = 10 \cdot 3,1416 = 31,416$ Основной $t_0 = m \pi \cos \alpha_0 = 31,416 \cdot 0,93969 = 29,521$	3 знака после запятой

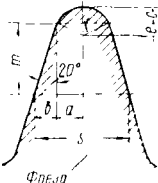
Продолжение

Определяемая величина	Формулы и подсчёты (линейные размеры в мм)	Точность подсчёта
Предельное отклонение основного шага (по табл. 4 проекта ГОСТ 1643)	$\Delta t_0 = +0,020$	3 знака после запятой
Гарантированный боковой зазор (Выбирается по табл. 6 проекта ГОСТ 1643)	$C_n = 0,340$	
Предельное отклонение межцентрового расстояния (по табл. 6 проекта ГОСТ 1643)	$\Delta A = \pm 0,170$	
Допуски на радиальное биение зубчатого венца (по табл. 2 проекта ГОСТ 1643)	$E_{0ш} = 0,060$	
	$E_{0к} = 0,105$	
Наименьшее смещение исходного контура (по табл. 9 проекта ГОСТ 1643 выбирается в зависимости от ΔA , Δt_0 и C_n)	$\Delta_M h_{ш} = -0,370$	
	$\Delta_M h_k = -0,370$	
Допуски на смещение исходного контура (по табл. 7 проекта ГОСТ 1643, выбираются в зависимости от E_0)	$\delta h_{ш} = 0,160$	
	$\delta h_k = 0,240$	
Наибольший возможный боковой зазор. (Справочник машиностроителя т. 4, стр. 308 М. 1956)	$C_{ниг} = (\Delta_M h_{ш} + \Delta_M h_k) + \delta h_{ш} + \delta h_k + \Delta A) 2 \sin \alpha_d =$ $= (0,370 + 0,370 + 0,160 + 0,240 + 0,170) 2 \cdot 0,34202 =$ $= 1,310 \cdot 2 \cdot 0,34202 = 0,896$	
Толщина зуба по дуге делительной окружности (при беззазорном зацеплении)	$S_{дш} = m \left(\frac{\pi}{2} + 2 \xi_{ш} \operatorname{tg} \alpha_d \right) = 10 \left(\frac{3,1416}{2} + \right.$ $\left. + 2 \cdot 0,450 \cdot 0,36397 \right) = 10 (1,5708 + 0,3276) = 18,984$	То же
	$S_{дк} = m \left(\frac{\pi}{2} + 2 \xi_k \operatorname{tg} \alpha_d \right) = 10 \left(\frac{3,1416}{2} + \right.$ $\left. + 2 \cdot 0,067 \cdot 0,36397 \right) = 10 (1,5708 + 0,0488) = 16,196$	
Толщина зуба по хорде делительной окружности (при беззазорном зацеплении)	$S'_{ш} = S_{дш} - \frac{S_{дш}^2}{6d_{дш}^2} = 18,984 - \frac{18,984^2}{6 \cdot 230^2} =$ $= 18,984 - 0,023 = 18,961$	
	$S'_{к} = S_{дк} - \frac{S_{дк}^2}{6d_{дш}^2} = 16,217 - \frac{16,217^2}{6 \cdot 850^2} =$ $= 16,217 - 0,001 = 16,216$	
Наименьшее уменьшение толщины зуба по хорде делительной окружности [см. формулу (2)]	$\Delta_M S_{ш} = \frac{2 \Delta_M h_{ш} \sin \alpha_d}{\cos \left[\alpha_d - \frac{S_{дш}}{d_{дш}} 57,296^\circ \right]} =$ $= \frac{2 \cdot 0,370 \cdot 0,34202}{\cos \left[20^\circ - \frac{18,984}{230,0} 57,296^\circ \right]} =$ $= \frac{0,2531}{\cos (20,0^\circ - 4,73^\circ)} = \frac{0,2531}{\cos 15,17^\circ} =$ $= \frac{0,2531}{0,96515} = 0,262$	То же
	$\Delta_M S_k = \frac{2 \Delta_M h_k \sin \alpha_d}{\cos \left[\alpha_d - \frac{S_{дк}}{d_{дш}} 57,296^\circ \right]} =$ $= \frac{2 \cdot 0,370 \cdot 0,34202}{\cos \left[20,0^\circ - \frac{16,196}{850,0} 57,296^\circ \right]} =$ $= \frac{0,2531}{\cos (20,0^\circ - 1,09^\circ)} = \frac{0,2531}{\cos 18,91^\circ} = \frac{0,2531}{0,94603} = 0,268$	

Продолжение

Определяемая величина	Формулы и подсчёты (линейные размеры в мм)	Точность подсчёта
Допуск на толщину зуба по хорде делительной окружности [см. формулу (3)]	$\delta S_{ш} = \frac{2\delta h_{ш} \sin \alpha_d}{\cos \left(\alpha_d - \frac{S_{ош}}{d_{ош}} 57,296^\circ \right)} =$ $= \frac{2 \cdot 0,160 \cdot 0,34202}{\cos \left[20,0^\circ - \frac{18,984}{230,0} 57,296^\circ \right]} =$ $= \frac{0,109}{\cos (20,0^\circ - 4,73)} = \frac{0,109}{0,96515} = 0,113$	3 знака после запятой
	$\delta S_K = \frac{2\delta h_K \sin \alpha_d}{\cos \left(\alpha_d - \frac{S_{оК}}{d_{оК}} 57,296^\circ \right)} =$ $= \frac{2 \cdot 0,240 \cdot 0,34202}{\cos \left[20,0^\circ - \frac{16,196}{850,0} 57,296^\circ \right]} = \frac{0,164}{\cos (20^\circ - 1,09^\circ)} =$ $= \frac{0,164}{\cos 18,91^\circ} = \frac{0,164}{0,94603} = 0,173$	То же
Толщина зуба по хорде делительной окружности с учётом уменьшения толщины зуба и допуска (для простановки на чертеже)	$S_{ш} = [S'_{ш} - \Delta_M S_{ш}] - \delta S_{ш} =$ $= [18,961 - 0,262] - 0,113 = 18,699 - 0,113$ $S_K = [S'_K - \Delta_M S_K] - \delta S_K =$ $= [16,216 - 0,268] - 0,173 = 15,948 - 0,173$	
Расстояние от хорды делительной окружности до окружности выступов	$h_{шш} = \frac{D_{еш} - d_{ош}}{2} + \frac{S_{ош}^2}{4d_{ош}} = \frac{258,665 - 230}{2} +$ $+ \frac{18,984^2}{4 \cdot 230} = 14,724$ $h_{хК} = \frac{D_{ЕК} - d_{оК}}{2} + \frac{S_{оК}^2}{4d_{оК}} = \frac{871,005 - 850}{2} +$ $+ \frac{16,196^2}{4 \cdot 850} = 10,579$	То же
Длина общей нормали без учёта коррекции (выбирается по табл. 3, стр. 390)	$L_{ош} = 77,025$ $L_{оК} = 292,357$	
Поправка на длину общей нормали, учитывающая коррекцию (величина $2m \sin \alpha_d$ выбирается по табл. 3, стр. 390 в зависимости от m)	$\xi_{ш} \cdot 2m \sin \alpha_d = 0,450 \cdot 6,840 = 3,078$ $\xi_K \cdot 2m \sin \alpha_d = 0,067 \cdot 6,840 = 0,458$	
Длина общей нормали с учётом коррекции	$L'_{ш} = L_{ош} + \xi_{ш} + 2m \sin \alpha_d =$ $= 77,025 + 3,078 = 80,103$ $L'_K = L_{оК} + \xi_K + 2m \sin \alpha_d =$ $= 292,357 + 0,458 = 292,815$	То же
Наименьшее уменьшение длины общей нормали (см. проект ГОСТ 1643)	$\Delta_M L_{ш} = 0,68 \left[\Delta_M h_{ш} + \frac{E_{ош}}{2} \right] = 0,68 \left(0,370 + \frac{0,060}{2} \right) = 0,272$ $\Delta_M L_K = 0,68 \left[\Delta_M h_K + \frac{E_{оК}}{2} \right] = 0,68 \left(0,370 + \frac{0,105}{2} \right) = 0,288$	

Продолжение

Определяемая величина	Формулы и подсчёты (линейные размеры в мм)	Точность подсчёта
Допуск на длину общей нормали (см. проект ГОСТ 1643)	$\delta L_{ш} = 0,68 (\delta h_{ш} - E_{ош}) = 0,68 (0,160 - 0,060) = 0,068$ $\delta L_{к} = 0,68 \delta h_{к} - E_{ок} = 0,68 (0,240 - 0,105) = 0,092$	3 знака после запятой
Длина общей нормали для простановки на чертеже (с учётом отклонения и допуска)	$L_{ш} = (L'_{ш} - \Delta_{ш} L_{ш}) - \delta L_{ш} =$ $= (80,103 - 0,272) - 0,068 = 79,831 - 0,068$ $L_{к} = (L'_{к} - \Delta_{ш} L_{к}) - \delta L_{к} =$ $= (292,815 - 0,288) - 0,092 = 292,527 - 0,092$	
<p>Определение радиуса r головки зуба фрезы и высоты переходной галтели c</p> 	$b = m \operatorname{tg} \alpha_0 = 10 \operatorname{tg} 20^\circ = 10 \cdot 0,36397 = 3,640$ $a = \frac{\pi m}{4} - b = \frac{3,1416 \cdot 10}{4} - 3,640 = 4,214$ $r = \frac{a}{\cos \alpha_0} = \frac{4,214}{0,9397} = 4,484$ $l = a \operatorname{tg} \alpha_0 = 4,214 \operatorname{tg} 20^\circ = 4,214 \cdot 0,36397 = 1,534$ $c = r - l = 4,484 - 1,534 = 2,950$	То же
Наименьшая высота ножки зуба с учётом переходной галтели и смещения исходного контура	$h_m = m(f_0 - \xi_{ш}) + C + \Delta_{ш} h_{ш} =$ $= 10 (1,0 - 0,450) + 2,950 + 0,370 = 8,82$ $h_k = m(f_0 - \xi_k) + C + \Delta_{ш} h_k =$ $= 10 (1,0 - 0,067) + 2,950 + 0,370 = 12,65$	2 знака после запятой
Наибольшие диаметры окружностей впадин	$D_{iш} = d_{ош} - 2h_m = 230,0 - 2 \cdot 8,82 = 212,36$ $D_{ik} = d_{ок} - 2h_k = 850,0 - 2 \cdot 12,65 = 824,70$	То же
Радиус окружности, ограничивающей активный профиль на ножках зубьев шестерни [см. формулу (4)]	$R_{аш} = \frac{\frac{d_{ш}}{2} - l_k \sin \alpha}{\cos \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{l_k \cos \alpha}{\frac{d_{ш}}{2} - l_k \sin \alpha}} =$ $= \frac{\frac{232,130}{2} - 17,12 \cdot 0,36488}{\cos \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{17,12 \cdot 0,93106}{\frac{232,130}{2} - 17,12 \cdot 0,36488}} =$ $= \frac{109,818}{\cos \operatorname{arc} \operatorname{tg} 0,14515} = 110,97$ <p>(Величина l_k определяется при расчёте коэффициента перекрытия, см. ниже)</p>	То же
Активная высота зуба шестерни	$H_{аш} = \frac{D}{2} - R_{аш} = \frac{258,67}{2} - 110,97 = 18,36$	

Продолжение

Определяемая величина	Формулы и подсчёты (линейные размеры в мм)	Точность подсчёта
Радиус окружности, ограничивающей активный профиль на ножках зубьев колеса [см. формулу (5)]	$R_{ак} = \frac{\frac{d_K}{2} - l_{ш} \sin \alpha}{\cos \arctg \frac{\frac{d_K}{2} - l_{ш} \sin \alpha}{l_{ш} \cos \alpha}} =$ $= \frac{\frac{857,870}{2} - 28,53 \cdot 0,36488}{\cos \arctg \frac{\frac{857,870}{2} - 28,53 \cdot 0,36488}{28,53 \cdot 0,93106}} =$ $= \frac{428,935 - 10,410}{\cos \arctg \frac{26,563}{418,525}} = 419,36$ <p>(Величина $l_{ш}$ определяется при расчёте коэффициента перекрытия, см. ниже)</p>	2 знака после запятой
Активная высота зуба колеса	$H_{ак} = \frac{D_{ек}}{2} - R_{ек} = \frac{871,00}{2} - 419,36 = 16,14$	
Наибольший радиус окружности, на которой лежит начальная точка теоретической эвольвенты профиля зуба: для зуба шестерни	$R_{еш} = \frac{\frac{d_{ош}}{2} - (h_{ш}'' - C)}{\cos \arctg \left[\frac{\frac{d_{ош}}{2} - (h_{ш}'' - C)}{h_{ш}'' - C} \right] \operatorname{tg} \alpha_o}$ $= \frac{\frac{230,0}{2} - (8,82 - 2,950)}{\cos \arctg \left[\frac{\frac{230,0}{2} - (8,82 - 2,950)}{(8,82 - 2,950)} \right] 0,36397} =$ $= \frac{109,13}{\cos \arctg 0,14778} = 110,31$	То же
для зуба колеса [см. формулу (6)]	$R_{ек} = \frac{\frac{d_{ек}}{2} - (h_{ек}'' - C)}{\cos \arctg \left[\frac{\frac{d_{ек}}{2} - (h_{ек}'' - C)}{h_{ек}'' - C} \right] \operatorname{tg} \alpha_o}$ $= \frac{\frac{850}{2} - (12,65 - 2,950)}{\cos \arctg \left[\frac{\frac{850}{2} - (12,65 - 2,950)}{(12,65 - 2,950)} \right] 0,36397} =$ $= \frac{415,30}{\cos \arctg 0,06418} = 416,15$	
Наименьшая высота зуба до начала переходной галтели: для зуба шестерни,	$H_{ш} = \frac{D_{еш}}{2} - R_{еш} = \frac{258,67}{2} - 110,31 = 19,03$	
для зуба колеса	$H_{к} = \frac{D_{ек}}{2} - R_{ек} = \frac{871,0}{2} - 416,15 = 19,35$	
Высота головки зуба до делительной окружности	$h'_{ош} = \frac{1}{2} (D_{еш} - d_{ош}) = \frac{1}{2} (258,67 - 230) = 14,34$	То же

Продолжение

Определяемая величина	Формулы и подсчёты (линейные размеры в мм)	Точность подсчёта
Величины, входящие в формулу для определения толщины зуба по окружности выступов	$\frac{h'_{\partial u}}{m} = \frac{14,34}{10} = 1,434$	3 знака после запятой
	$\frac{S_{eo}}{m} = 0,190$	
	Величина $\frac{S_{eo}}{m}$ определяется по номограмме фиг. 4г, стр. 216 в зависимости от $\frac{h'_{\partial u}}{m}$ и Z_u	
	$\frac{h'_{\partial u}}{d_{\partial u}} = \frac{14,332}{230} = 0,062$	
Толщина зуба по окружности выступов в долях модуля	$S_{eu}^0 = \frac{S_{eo}}{m} + 1,45 z_u \left(\frac{h'_{\partial u}}{d_{\partial u}} + 0,5 \right) = 0,19 + 1,45 \cdot 0,450 (0,062 + 0,5) = 0,56$	2 знака после запятой
При модуле m свыше 5 мм и твёрдости зубьев $H_B > 350$ рекомендуемая толщина зуба на окружности выступов $S_e^0 : 0,4$		
Высота головок зубьев до начальной окружности	$h'_{ш} = \frac{D_{eu} - d_{ш}}{2} = \frac{258,67 - 232,130}{2} = 13,27$	2 знака после запятой
	$h'_k = \frac{D_{ek} - d_k}{2} = \frac{871 - 857,87}{2} = 6,56$	
Величины, входящие в формулу для определения коэффициента перекрытия	$\frac{d'_{ш}}{h'_{ш}} = \frac{232,130}{13,27} = 17,49$	То же
	$\frac{d'_k}{h'_k} = \frac{857,87}{6,56} = 130,77$	
	$l_{ш} = \frac{l'_{ш}}{h'_{ш}} = 2,15$	
	$l_k = \frac{l'_k}{h'_k} = 2,60$	
	Определяются по графику фиг. 3а, стр. 222 в зависимости от $\frac{d'_{ш}}{h'_{ш}}$ и $\frac{d'_k}{h'_k}$	
	$l_{ш} = l'_{ш} \quad h'_{ш} = 2,15 \cdot 13,27 = 28,53$	
	$l_k = l'_k \quad h'_k = 2,60 \cdot 6,56 = 17,12$	
Коэффициент перекрытия	$\epsilon = \frac{l_{ш} + l_k}{t_a} = \frac{28,53 + 17,12}{29,522} = 1,54$	То же
Проверка на относительное удельное давление на ножках зубьев шестерни и колеса по отношению к удельному давлению в полюсе зацепления		
Передаточное число передачи	$i = \frac{Z_k}{Z_{ш}} = \frac{85}{23} = 3,696$	3 знака после запятой

Продолжение

Определяемая величина	Формулы и подсчёты (линейные размеры в мм)		Точность подсчёта
Радиусы кривизны профилей зубьев шестерни и колеса в полюсе зацепления	$\rho_{ш} = \frac{d_{ш}}{2} \sin \alpha = \frac{232,130}{2} \sin 21^{\circ}24' = 42,48$		2 знака после запятой
	$i \rho_{ш} = 3,695 \cdot 42,48 = 156,96$		
Величины, входящие в формулы для определения относительного удельного давления	$\rho_{ш} - 0,3 m = 42,48 - 0,3 \cdot 10 = 39,48$		
	$i \rho_{ш} - 0,3 m = 156,96 - 0,3 \cdot 10 = 153,96$		
	$l'_K = 17,12$	Величина принимается меньшей из двух величин l_K и $(\rho_{ш} - 0,3m)$	
	$l'_{ш} = 28,53$	Величина принимается меньшей из двух величин $l_{ш}$ и $(i \rho_{ш} - 0,3m)$	
Относительное удельное давление	$1 - \frac{l'_K}{\rho_{ш}} = 1 - \frac{17,12}{42,48} = 1 - 0,40 = 0,60$		2 знака после запятой
	$1 + \frac{l'_K}{i \rho_{ш}} = 1 + \frac{17,12}{128,5} = 1 + 0,13 = 1,13$		
	$1 + \frac{l'_{ш}}{\rho_{ш}} = 1 + \frac{28,53}{42,48} = 1 + 0,67 = 1,67$		
	$1 - \frac{l'_{ш}}{i \rho_{ш}} = 1 - \frac{28,53}{128,5} = 1 - 0,22 = 0,78$		
На ножке зуба шестерни в точке полного зацепления с вершиной зуба колеса	$\zeta_{ш} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{l'_K}{\rho_{ш}}\right) \left(1 + \frac{l'_K}{i \rho_{ш}}\right)}} = \frac{1}{\sqrt{0,60 \cdot 1,13}} = 1,21$		2 знака после запятой
	$\zeta_K = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{l'_{ш}}{\rho_{ш}}\right) \left(1 - \frac{l'_{ш}}{i \rho_{ш}}\right)}} = \frac{1}{\sqrt{1,67 \cdot 0,78}} = 0,88$		
Параметры фланкирования шестерни и колеса			
Принимаемая высота фланкированного участка зуба шестерни и колеса	$h^{\Phi} = 3,0$		1 знак после запятой
Радиус окружности, на которой лежит начало фланка на зубьях	$R_{\Phi ш} = \frac{D_{еш}}{2} - h^{\Phi} = \frac{258,67}{2} - 3,0 = 126,34$		2 знака после запятой
	$R_{\Phi K} = \frac{D_{еK}}{2} - h^{\Phi} = \frac{871,0}{2} - 3,0 = 432,50$		
Радиус основной окружности эвольвенты фланка $\Delta\alpha$, принимаем равным $1^{\circ}20'$ [см. формулу (7) и табл. 10]	$r'_{ош} = \frac{d_{ош}}{2} \cos (\alpha_o + \Delta\alpha_o) =$ $= \frac{230,0}{2} \cos (20,0^{\circ} + 1^{\circ}20') = 107,120$		3 знака после запятой
	$r'_{оK} = \frac{d_{оK}}{2} \cos (\alpha_o + \Delta\alpha_o) =$ $= \frac{230,0}{2} \cos (20,0^{\circ} + 1^{\circ}20') = 395,879$		

Продолжение

Определяемая величина	Формулы и подсчёты (линейные размеры в мм)	Точность подсчёта
Угол, соответствующий фланку на зубьях (см. ЦНИТМАШ, книга 13 «Теория и расчёт зубчатых передач и подшипников скольжения». Машгиз, 1948, стр. 202, формула (69) с соответствующим преобразованием)	$\varphi_{\text{ли}} = \operatorname{tg} \arccos \frac{r'_{\text{ош}}}{R_{\text{еш}}} - \operatorname{tg} \arccos \frac{r'_{\text{ош}}}{R_{\text{фш}}} =$ $= \operatorname{tg} \arccos \frac{107,120}{129,34} - \operatorname{tg} \arccos \frac{107,120}{126,34} =$ $= \operatorname{tg} \arccos 0,82820 - \operatorname{tg} \arccos 0,84787 =$ $= 0,67668 - 0,62534 = 0,05134 \text{ рад} = 2^{\circ}56'$	1'
	$\varphi_{\text{лк}} = \operatorname{tg} \arccos \frac{r'_{\text{ок}}}{R_{\text{ек}}} - \operatorname{tg} \arccos \frac{r'_{\text{ок}}}{R_{\text{фк}}} =$ $= \operatorname{tg} \arccos \frac{395,879}{435,50} - \operatorname{tg} \arccos \frac{395,879}{432,50} =$ $= \operatorname{tg} \arccos 0,90902 - \operatorname{tg} \arccos 0,91533 =$ $= 0,45845 - 0,43992 = 0,01853 \text{ рад} = 1^{\circ}4'$	
Угол, соответствующий участку теоретической эвольвенты от основной окружности до начала фланка зуба	$\varphi_{\text{ош}} = \operatorname{tg} \arccos \frac{r_{\text{ош}}}{R_{\text{фш}}} = \operatorname{tg} \arccos \frac{108,065}{126,34} =$ $= \operatorname{tg} \arccos 0,85535 = 0,60562 \text{ рад} = 34^{\circ}42'$	
	$\varphi_{\text{ок}} = \operatorname{tg} \arccos \frac{r_{\text{ок}}}{R_{\text{фк}}} = \operatorname{tg} \arccos \frac{399,37}{432,50} =$ $= \operatorname{tg} \arccos 0,92340 = 0,41567 \text{ рад} = 23^{\circ}49'$	
Глубина фланка на зубьях	$\Delta_{\text{ли}} = (r_{\text{ош}} - r'_{\text{ош}}) \varphi_{\text{ли}} = (108,065 - 107,120) 0,05134 =$ $= 0,945 \cdot 0,05134 = 0,048$	3 знака после запятой
	$\Delta_{\text{лк}} = (r_{\text{ок}} - r'_{\text{ок}}) \varphi_{\text{лк}} = (399,37 - 395,879) 0,01853 =$ $= 3,491 \cdot 0,01853 = 0,065$	
Проверка коэффициента перекрытия с учётом фланкирования зубьев		
Коэффициент перекрытия ($\operatorname{tg} \alpha_{\text{фш}} = \varphi_{\text{ош}}$; $\operatorname{tg} \alpha_{\text{фк}} = \varphi_{\text{ок}}$)	$\epsilon' = \frac{Z_{\text{ш}}}{2\pi} (\operatorname{tg} \alpha_{\text{фш}} - \operatorname{tg} \alpha) + \frac{Z_{\text{к}}}{2\pi} (\operatorname{tg} \alpha_{\text{фк}} - \operatorname{tg} \alpha) =$ $= \frac{23}{2 \cdot 3,1416} (0,60562 - 0,39190) + \frac{85}{2 \cdot 3,1416} (0,41567 - 0,39190) =$ $= \frac{11,5 \cdot 0,21372 + 42,5 \cdot 0,02377}{3,1416} = 1,104$	3 знака после запятой
Коэффициент перекрытия с учётом фланкирования зубьев должен быть $> 1,089$.		

Качественные показатели зацепления

Наименование величины	Число зубьев	Коэффициент коррекции	Ширина вершины зуба в долях модуля	Коэффициент перекрытия	Коэффициент перекрытия с учётом фланкирования	Относительная удельная величина	Коэффициент формы зуба
Обозначения	Z	ξ	S_e^0	ϵ	ϵ'	ζ	γ
Шестерня	23	+0,45	-0,56	1,54	1,104	1,21	2,5
Колесо	85	+0,067	—			0,88	2,10

МЕХАНИЧЕСКИЕ АМОРТИЗАТОРЫ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сочленённые электровозы с короткими жёсткими базами тележек хорошо вписываются в кривые малого радиуса, но при движении с большими скоростями по прямым участкам пути, а также по кривым средних и больших радиусов обладают беспокойным ходом из-за влияния тележек. Основными причинами возникновения колебаний влияния являются: наличие коничности бандажей, зазоры между рельсом и гребнем бандажа, короткая жёсткая база, поперечные и продольные разбеги колёсных пар, жёсткость рессорного подвешивания, подвижность сочленения, силы трения, возникающие между поверхностями бандажа и рельса, и другие конструктивные факторы электровозов и верхнего строения пути. Вследствие явлений резонанса амплитуды влияния при определённых скоростях могут достигнуть величины, не обеспечивающей устойчивости движения и вызывающей опасные напряжения в деталях электровоза и верхнем строении пути. С колебаниями влияния столкнулись ещё в 1910 г. при эксплуатации на русских железных дорогах паровоза типа Маллета (имеющего осевую формулу, подобную электровозу ВЛ22).

Для уменьшения этих колебаний на паровозе были применены «катаракты», или, как их потом называли, гидравлические амортизаторы, которые получили распространение за границей на тележных электровозах.

Гидравлический катаракт — амортизатор представляет цилиндр, поршень которого под действием внешней силы продавливает масло через малые отверстия. Под влиянием импульсных сил малой продолжительности масло не успевает протекать через малые отверстия, и поршень гидравлического амортизатора оказывает жёсткое сопротивление горизонтальным колебаниям; при приложении постоянных (медленно действующих) сил масло успевает пройти через малые отверстия, и поршень не оказывает сопротивления горизонтальным колебаниям.

Таким образом амортизатор, установленный между кузовом и тележками, на прямых участках поглощает энергию вредных колебаний и увеличивает жёсткую базу электровоза, а в кривых малого радиуса не противодействует вписыванию тележек.

Для отечественных электровозов гидравлические амортизаторы были изготовлены и установлены в 1936—1939 гг. на некоторых электровозах ВЛ19 и СКУ.

Однако вследствие сложности конструкции и условий обслуживания в эксплуатации гидравлические амортизаторы на наших электровозах распространения не получили.

УСТРОЙСТВО МЕХАНИЧЕСКИХ АМОРТИЗАТОРОВ

Амортизатор (фиг. 1) состоит из штанги 1 с криволинейным профилем и прикреплёнными к ней бобышками, хомутов 2, тяги с вилкой 3, роликов 4, клиньев 5, 6 и 7, пружин 8, шпилек 9.

Штанга на электровозах ВЛ19 крепится к концевой балке рамы тележки бобышками. Четыре сбалансированные пружины 8, расположенные по две с каждой стороны амортизатора, через накрест лежащие клинья 5, 6 и 7 вдавливают ролики 4 в выемки штанги. Ролики закреплены в проушинах тяги вилкой 3 и через них соединяются с кронштейнами кузова 10 и 11.

Таким образом, между концевыми частями тележек и средней частью кузова осуществляется пружинно-фрикционная связь.

Штанги 1, закреплённые на балках, при перемещении концов тележек относительно кузова заставляют перемещаться ролики. Ролики, перемещаясь по подъёму криволинейного профиля штанги, осуществляют относительно смещение клиньев 5, 6 и 7 и сжатие пружин 8. Трение, возникающее между поверхностями клиньев, способствует гашению относительных вредных колебаний тележки и кузова, появляющихся при движении электровоза по прямым участкам пути и кривым больших радиусов.

При движении по кривым малого радиуса ролики выходят на прямолинейную часть штанги, при этом амортизирующая сила практически равна нулю.

Штанга имеет криволинейный профиль, определяющийся сопряжениями двух радиусов.

Хомут 2 выполнен в виде замкнутого прямоугольника из круглого прутка диаметром 25 мм; развёрнутая длина хомута 1 741 мм. Концы прутка свариваются встык газовой сваркой. Допускается стыковая электросварка. В нижней части к хомуту приваривается планка толщиной 4 мм и шириной 25 мм, предназначенная для предохранения прутка от износа. Планка к хомуту приваривается прерывистыми швами 10/40, расположенными в шахматном порядке с двух сторон прутка.

При изготовлении хомута необходимо строго выдерживать внутренний размер по длине, так как в случае большой разности один из хомутов будет воспринимать двойную нагрузку и, следовательно, в материале будут появляться перенапряжения.

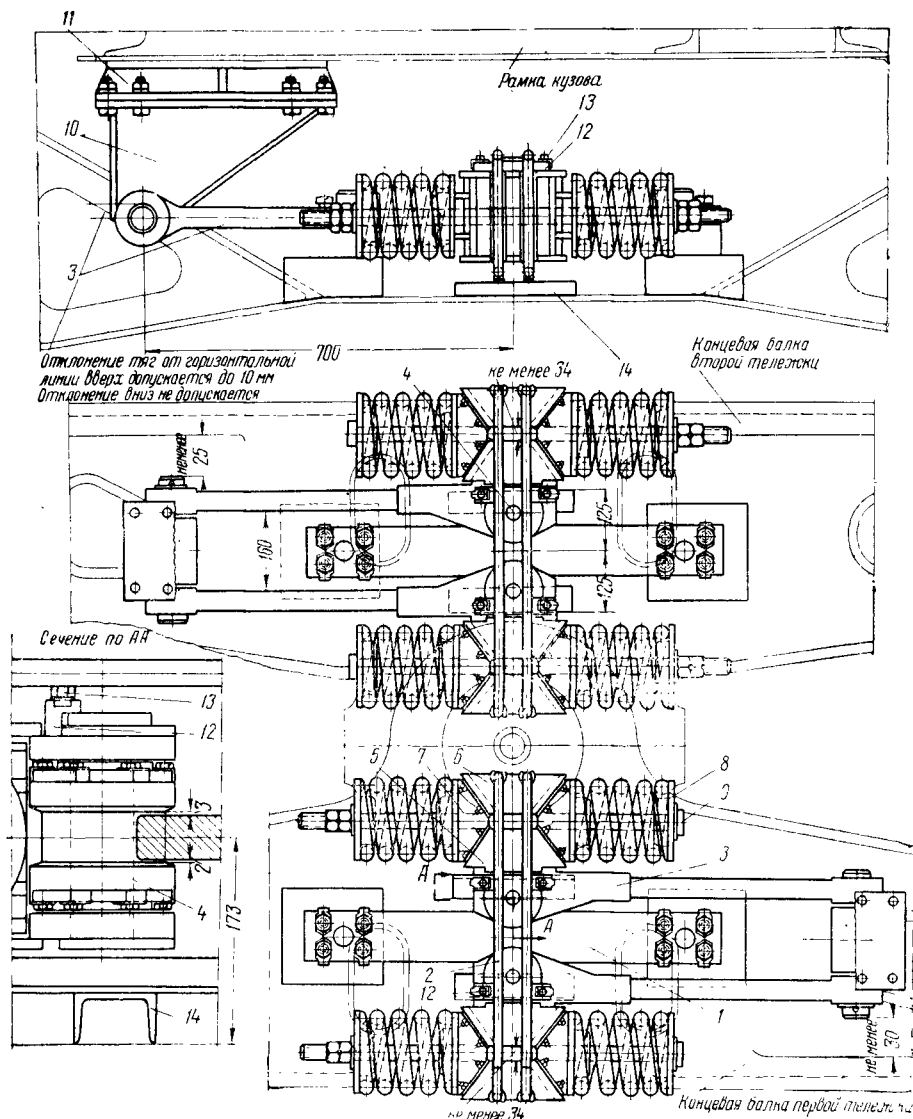
Вилка 3 выполнена в виде сварной конструкции, состоящей из двух щёк с приваренными к ним планками, кованой тяги и двух вертикальных рёбер. Рёбра предназначены для придания вилке жёсткости и фиксации в ней клина. В отверстия щёк, а также в отверстие проушины тяги впрессовываются втулки. Для обеспечения свободного перемещения концов тележек и кузова внутренние отверстия втулок, впрессовываемых в проушины тяг, в средней части на длине 20 мм имеют диаметры меньше диаметра валика на 1 мм, а по концевым частям на длине 20 мм — конусность 1:20.

Ролик состоит из корпуса крышек шарикоподшипников и валика. Корпус ролика имеет две цилиндрические поверхности (в средней и крайних частях) различного диаметра. Сопряжение этих поверхностей осуществляется при помощи конуса с крутым подъёмом.

Сборка ролика и установка его в вилку производится следующим образом: корпус ролика нагревают до $90-100^{\circ}$, после чего устанавливают подшипники, а затем крышки со вставленными в них войлочными уплотнениями и прижимают болтами. Высота ролика

в жении головка его имеет четырёхгранную форму.

На амортизаторе с каждой стороны расположено по четыре накрест лежащих клина. Два из них 5 и 6 (см. фиг. 1) направляющие; один внешней стороной плотно прилегает



Фиг. 1. Конструкция механического фрикционного амортизатора. Установка на концевых балках электроваз ВЛ19

после сборки должна находиться в пределах 116,8—117,2 мм. Перед сборкой ролика с вилкой на нижнюю щеку вилки с двух сторон отверстия подкладывают планки толщиной 3 мм. Затем между щеками вилки устанавливают ролик, при этом отверстия ролика и вилок должны совпадать. Далее лёгкими ударами молотка запрессовывают валик до упора, удаляют планки и снова лёгкими ударами молотка запрессовывают валик до жёсткого соприкосновения головки его с верхней поверхностью щеки вилки. Для фиксации валика в определённом поло-

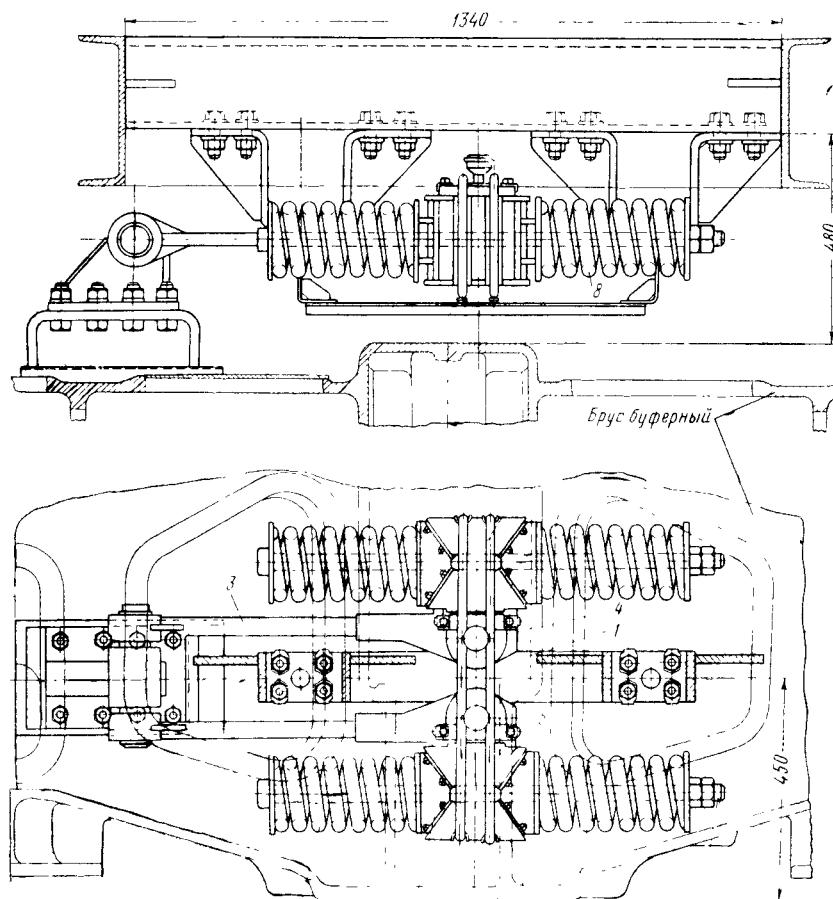
к щекам вилки, а противоположный ему той же стороной прилегает к хомутам. Эти клинья по конструкции отличаются один от другого лишь очертанием внешних сторон. Остальные элементы аналогичны. Два остальных клина одинаковой конструкции. Эти клинья внутренними сторонами входят в направляющие двух первых и прижимаются к ним шпильками и расположенными на них пружинами. При помощи предварительного натяга пружин можно легко получить требуемое давление на клинья.

При выходе ролика из выемки штанги прилегающий к щекам вилки клин давит на остальные клинья, но так как противоположный клин неподвижен, то перемещаются два остальных клина, которые в свою очередь сжимают пружины. При входе ролика в выемку штанги пружины восстанавливают клинья в первоначальное положение. Работа трения, совершаемая между поверхностями клиньев, поглощает энергию вредных колебаний тележек относительно кузова.

мещения тяг амортизатора между втулкой кронштейна и роликом предусмотрен зазор 1 мм.

На электровозах ВЛ19, Сс и ВЛ22 амортизаторы могут быть установлены как в разобранном, так и в готовом виде без подъёмки кузова и выкатки из-под него тележек.

Ввиду ограничения места на концевых балках сочленения из-за расположения воз-



Фиг. 2. Установка пружинных фрикционных амортизаторов на электровозах Сс и ВЛ22

Для получения необходимого трения на поверхностях направляющих клиньев предусмотрены стальные накладки, а на направляемых клиньях — чугунные накладки. Последние для удобства смены их прикрепляются к каркасу клиньев винтами.

Цилиндрическая пружина выполнена из прутка круглого сечения диаметром 30 мм.

Для удобства соединения тяг амортизатора с кузовом предусмотрено два кронштейна, из которых один приваривается к хребтовой балке кузова, а второй при помощи валика соединяется с тягами амортизатора. Оба кронштейна сварной конструкции.

Кронштейны между собой соединяются болтами. Для обеспечения необходимого пер-

душных патрубков амортизаторы на электровозах Сс и ВЛ22 устанавливают на буферных брусках (см. фиг. 2). Установка амортизатора на электровозах Сс и ВЛ22 отличается от установки на электровозах ВЛ19 тем, что на электровозе Сс и ВЛ22 штанга крепится к кронштейну кузова, а тяги вилок — к кронштейнам тележек. Кронштейны кузова прикрепляются к швеллеру, приваренному к швеллерам хребтовых балок рамы кузова.

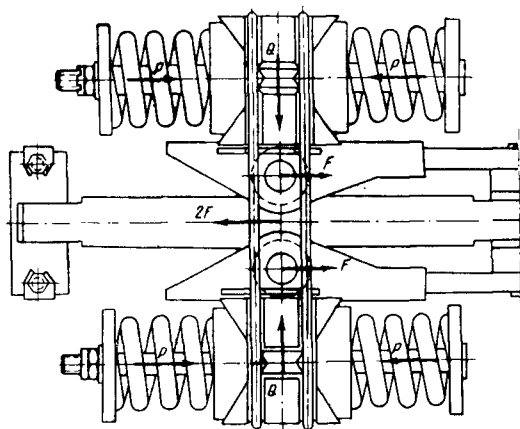
Установку амортизаторов на электровозах Сс и ВЛ22, так же как на электровозе ВЛ19, можно производить на заводе и в депо в условиях при всех видах ремонта. Монтаж амортизаторов на электровозе про-

изводится в соответствии с требованиями, изложенными в данном разделе.

ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АМОРТИЗАТОРА

Основной характеристикой амортизатора является величина, которая зависит от начального натяга пружин и жёсткости, от формы профиля кривой поверхности штанги, угла наклона клиньев и коэффициента трения между поверхностями клиньев.

Рассмотрим зависимость амортизирующей силы от перечисленных факторов.



Фиг. 3. Схема сил, действующих на амортизатор

На фиг. 3—5 показаны схемы сил, действующих в амортизаторе, и основные геометрические размеры, где

- F — амортизирующая сила;
- Q и Q' — давления прилегающего клина на ролик (Q — при выходе ролика из выемки штанги и Q' — при входе в выемку);
- P — давление пружин на клинья;
- S — длина проекции кривой поверхности штанги;
- x — текущая координата перемещения ролика по оси штанги;
- y — текущая координата перемещения ролика по оси, перпендикулярной оси штанги;
- $R_{ш}$ — радиус кривой штанги;
- R_p — радиус ролика;
- α_n — начальный угол подъема ролика;
- α_m — текущий угол подъема ролика.

В начальном положении, когда продольные геометрические оси тележек и кузова совпадают, амортизирующая сила равна

$$2F = 2Q \operatorname{tg} \alpha_n.$$

Как только возникает смещение геометрических осей тележек и кузова, величина амортизирующей силы будет определяться текущими значениями α_m и Q_m , а именно:

$$2F = Q_m \operatorname{tg} \alpha_m.$$

Согласно фиг. 4 можно установить следующую зависимость между углом α_m и геометрическими размерами ролика штанги: для начального положения ролика

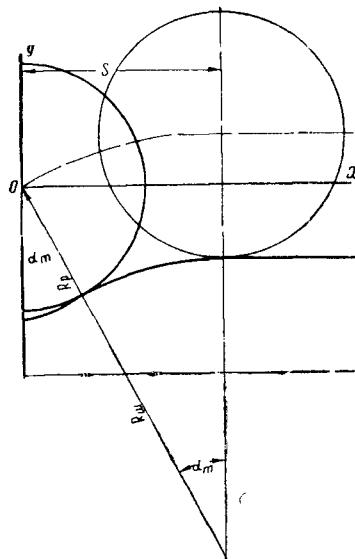
$$\sin \alpha_n = \frac{S}{R_p + R_{ш}};$$

для текущего положения ролика

$$\sin \alpha_m = \frac{S - x}{R_p + R_{ш}}.$$

По данным различных значений углов определяем соответственно $\operatorname{tg} \alpha_n$ и $\operatorname{tg} \alpha_m$, а по ним F .

Величина давления прилегающего клина на ролик зависит от начального натяга и жёсткости пружин амортизатора, а также от коэффициента трения между поверхностями клиньев и угла наклона их. Взаимное смещение поверхностей клиньев происходит в небольших пределах с незначительными скоростями, поэтому коэффициент трения можно принять величиной постоянной. Угол наклона рабочих поверхностей клиньев, определяемый соотношением сил P и Q , также остаётся постоянной величиной. Поэтому сила



Фиг. 4. Схема перемещения ролика по штанге

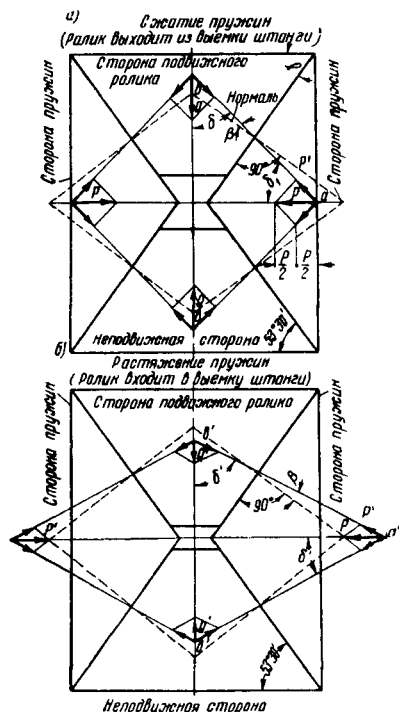
Q будет зависеть от начального натяга и жёсткости пружин.

Давление ролика Q на штангу в зависимости от давления пружины сначала определяем графическим способом, дающим более наглядное представление о работе клиньев и пружин, а затем аналитически.

На фиг. 5, а для одного значения P дано определение Q для случая, когда ролик выходит из выемки кривой штанги (пружина испытывает дополнительное сжатие), а на фиг. 5, б — для случая, когда ролик перемещается обратно в выемку кривой штанги.

Давление ролика Q на штангу в зависимости от перемещения ролика определяем следующим образом: через точку пересечения

нормали с рабочими поверхностями клиньев под углом β , определяемым из равенства $\operatorname{tg} \beta = \mu$, где μ — коэффициент трения (при $\mu = 0,3$; $\beta = 16^\circ 40'$), к нормали проводим прямые ab до пересечения с линиями действия сил Q и P .



Фиг. 5. Схема сил, действующих на клинья

Раскладывая силу P по направлениям прямых ab и перенося составляющие до пересечения с линией действия силы Q и далее геометрически складывая составляющие силы P , получаем давление Q .

При выходе ролика из выемки кривой штанги (см. фиг. 5, а) угол β откладывается по часовой стрелке, а при обратном движении ролика (см. фиг. 5, б) — против вращений часовой стрелки (в том и в другом случае против взаимного смещения клиньев).

Как видно из фиг. 5, а, в случае когда ролик выходит из выемки кривой штанги, сила Q больше силы Q' , получаемой при обратном перемещении ролика фиг. 5, б.

Разность сил Q и Q' составляет потерю сил от трения между поверхностями клиньев.

Далее определим аналитическую зависимость между силами P и Q для случая выхода ролика из выемки штанги:

$$\frac{P}{2} = P' \cos \delta_1 \quad \text{или} \quad P' = \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{\cos \delta_1}.$$

Тогда

$$Q = \frac{P}{\cos \delta_1} \cos \delta = P \cdot \frac{\cos \delta}{\cos \delta_1};$$

$$\delta = 90 - (90 - \gamma + \beta) = \gamma - \beta.$$

При

$$\delta_1 = 90 - \delta$$

$$Q = P \frac{\cos \delta_1}{\cos (90 - \delta)} = P \frac{\cos \delta}{\sin \delta};$$

$$Q = P \operatorname{ctg} (\gamma - \beta);$$

$$\delta = 53^\circ 30' - 16^\circ 40' = 36^\circ 50';$$

$$Q = 1,335 P.$$

Аналитическую зависимость между P и Q' при входе ролика в выемку кривой штанги (растяжение пружин) находим аналогично предыдущему

$$Q' = P \operatorname{ctg} \delta;$$

$$\delta = 90 - (90 - \gamma - \beta) = (\gamma + \beta).$$

Следовательно, выражение для Q' окончательно примет вид:

$$Q' = P \operatorname{ctg} (\gamma + \beta).$$

При

$$\delta = 53^\circ 30' + 16^\circ 40' = 70^\circ 10'$$

получаем

$$Q = 0,3607 P.$$

Далее определяем P в зависимости от перемещения ролика по поверхности штанги, т. е. в зависимости от сжатия или растяжения пружин.

Как уже указывалось ранее, давление P зависит от начального натяга, жёсткости и прогиба пружин. Прогиб пружин в свою очередь зависит от проекции на ось y -ов перемещения ролика.

Согласно фиг. 4 можно написать:

$$y_m = (R_p + R_{ш}) \cos \alpha_m - (R_p + R_{ш}) \cos \alpha_n;$$

$$y_m = (R_p + R_{ш}) (\cos \alpha_m - \cos \alpha_n).$$

Прогиб пружин в зависимости от проекции перемещения ролика на ось y -ов будет равен

$$f_m = f_n + y_m \operatorname{ctg} \gamma,$$

где γ — угол наклона поверхности клиньев;

$$\gamma = 53^\circ 30'.$$

Давление пружины

$$P_m = f_m \mathcal{K},$$

где \mathcal{K} — жёсткость пружины в кг/мм.

РАСЧЁТ АМОРТИЗАТОРА¹

Исходные данные:

Радиус ролика	$R_p = 50 \text{ мм}$
» кривой штанги	$R_{ш} = 120 \text{ »}$
Длина » »	$S = 80 \text{ »}$
Угол наклона клиньев	$\gamma = 53^\circ 30'$
Жёсткость пружины	$\mathcal{K} = 100 \text{ кг/мм}$
Коэффициент трения	$\mu = 0,3$
Начальный натяг пружины	$f_n = 8, 10, 12 \text{ мм}$

$$\sin \alpha_n = \frac{S}{R_p + R_{ш}} = \frac{80}{50 + 120};$$

$$\sin \alpha_n = 0,47; \quad \alpha_n = 28^\circ 6';$$

$$\operatorname{tg} \alpha_n = 0,5317; \quad \cos \alpha_n = 0,8829.$$

¹ Характеристика амортизатора выбирается в зависимости от величин радиусов кривых.

Таблица расчёта α_m

Положение ролика		1	2	3	4	5	6	
x мм		0,0	14,2	28,3	42,5	70,8	80,0	
$(S - x)$ мм		80,0	65,8	51,8	37,5	11,2	0,0	
$\sin \alpha_m = \frac{S - x}{R_p + R_{ш}}$		0,471	0,387	0,304	0,221	0,066	0,0	
α_m		28°6'	22°46'	17°42'	12°46'	3°48'	0,0	
$\operatorname{tg} \alpha_m$		0,5317	0,4176	0,3185	0,2278	0,067	0,0	
$\cos \alpha_m$		0,8829	0,9250	0,9546	0,9775	0,9985	1,0	
$y_m = (R_p + R_{ш}) (\cos \alpha_m - \cos \alpha_H)$		0,0	7,15	12,1	16,01	19,66	19,92	
$f_m = f_H + y_m \operatorname{ctg} \gamma$ мм		8,0	13,3	17,0	19,8	22,4	22,73	
$P = f_m \operatorname{жс}$ кг		800	1 330	1 700	1 980	2 240	2 273	
$f_H = 8$ мм $\mu = 0,3$	Сжатие	$Q = 1,335 P$ кг	1 065	1 780	2 270	2 650	3 000	3 030
		$2Q \operatorname{жс}$	2 130	3 560	4 540	5 300	6 000	6 060
		$2F = 2Q \operatorname{tg} \alpha_m$ кг	1 130	1 480	1 440	1 210	400	0,0
	Растяжение	$Q' = 0,3607 P$ кг	288	480	614	715	803	820
		$2Q' \operatorname{жс}$	576	960	1 228	1 430	1 616	1 640
		$2F' = 2Q' \operatorname{tg} \alpha_m$ кг	306	400	391	325	108	0,0
$f_m = f_H + y_m \operatorname{ctg} \gamma$		10	15,3	19,0	21,8	24,4	24,73	
$P = f_m \operatorname{жс}$		1 000	1 530	1 900	2 180	2 440	2 473	
$f_H = 10$ мм $\mu = 0,3$	Сжатие	$Q = 1,335 P$ кг	1 335	2 040	2 540	2 910	3 260	3 300
		$2Q \operatorname{жс}$	2 670	4 080	5 080	5 820	6 520	6 600
		$2F = 2Q \operatorname{tg} \alpha_m$ кг	1 420	1 700	1 615	1 325	437	0,0
	Растяжение	$Q' = 0,3607 P$	361	552	686	787	880	890
		$2Q' \operatorname{жс}$	722	1 104	1 372	1 574	1 760	1 780
		$2F' = 2Q' \operatorname{tg} \alpha_m$	384	462	438	353	118	0,0
$f_m = f_H + y_m \operatorname{ctg} \gamma$		12	17,3	21,0	23,83	26,3	26,8	
$P = f_m \operatorname{жс}$		1 200	1 730	2 100	2 383	2 630	2 680	
$f_H = 10$ мм $\mu = 0,3$	Сжатие	$Q = 1,335 P$	1 602	2 310	2 800	3 180	3 510	3 580
		$2Q \operatorname{жс}$	3 204	4 620	5 600	6 360	7 020	7 160
		$2F = 2Q \operatorname{tg} \alpha_m$	1 705	1 930	1 780	1 450	470	0,0
	Растяжение	$Q' = 0,3607 P$	433	624	758	860	949	965
		$2Q' \operatorname{жс}$	866	1 248	1 516	1 720	1 898	1 930
		$2F' = 2Q' \operatorname{tg} \alpha_m$	461	520	483	392	127	0,0

Результаты расчёта для текущих значений α_m приведены в таблице.

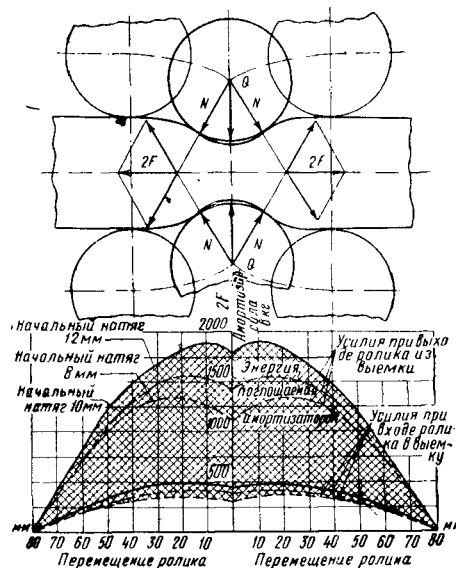
По данным табл. 1 построены характеристики амортизатора (фиг. 6).

Из полученных характеристик наглядно видна потеря энергии в клиньях за счёт трения.

Верхняя кривая соответствует перемещению ролика из выемки кривой штанги. Нижняя кривая соответствует обратному перемещению ролика, т. е. движению ролика в выемку кривой штанги.

Разность площадей, ограниченных кривыми и осями координат x и y эквивалентна энергии колебаний тележек и кузова поперёк пути в горизонтальном направлении, поглощаемой фрикционными клиньями амортизатора.

Фиг. 6. Характеристика амортизатора



РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Электровозы ВЛ19, Сс и ВЛ22, оборудованные механическими амортизаторами, работают на ряде электрифицированных участков. Они имеют значительно более высокие эксплуатационные показатели по сравнению с электровозами, не оборудованными амортизаторами.

Электровозы, оборудованные амортизаторами, имеют следующие показатели:

1. Нарастание поперечных разбегов происходит в 2,5—3 раза медленнее.

2. Устранение разбегов колёсных пар производится после пробега 60 000—80 000 км, в то время как на электровозах, не оборудованных амортизаторами, через 17 000—20 000 км.

3. Количество сменяемых деталей буксового узла в 2—3 раза меньше.

4. Поперечные разбеги колёсных пар целесообразно сохранять в пределах 10—16 мм.

В этих пределах нарастание поперечных разбегов составляет 0,5—1 мм на каждые 16 000—20 000 км. На электровозах, не оборудованных амортизаторами, по условиям влияний необходимо сохранять поперечные разбеги до 10 мм. Сохранение разбегов в низких пределах значительно увеличивает стоимость на содержание ходовых частей.

5. Уменьшается прокат и подрез гребней бандажей.

6. Прекратились поломки антифрикционных дисков и буртов моторно-осевых подшипников.

7. Уменьшились износы и увеличилась сохранность деталей ходовых частей и опор кузова (сочленения тележек, буксового узла, буртов, моторно-осевых подшипников, пятников кузова, междурамных креплений и других частей).

8. Улучшились условия труда локомотивных бригад.

ТЯГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ¹

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Тяговыми электродвигателями называются двигатели, служащие для приведения во вращение движущих осей локомотивов с электрическим приводом.

На электрифицированных железных дорогах СССР находят применение тяговые электродвигатели следующих типов:

а) на электровозах: ДПЭ-340, ДПЭ-340А, ДПЭ-400А, ДПЭ-400Б, НБ-406А, НБ-406Б, ДСЭ-680/2, GDTM-655, ДК-3А;

б) на моторных вагонах пригородных железных дорог: ДПИ-150, ДПИ-152, ДК-103А, ДК-103Г, ДК-100А, ДК-105Д;

в) на моторных вагонах Московского метрополитена: ДМП-150, ДМП-151, ДК-102В, ДК-102Г, ДК-102Д, ДК-104А, ДК-104Б, ДК-104Г, SL-104п, UsL-421.

Тяговые электродвигатели, имеющие наибольшее распространение, описаны более подробно; основные эксплуатационные параметры их приведены в табл. 1.

Остальные типы двигателей или не нашли широкого применения или являются промежуточными типами, поэтому о них даются более краткие сведения.

Несмотря на различие в мощности, напряжении на зажимах и скорости вращения, в конструктивном отношении перечисленные типы двигателей имеют между собой очень много общего.

Они являются двигателями постоянного тока с последовательным возбуждением, закрытого типа, вентилируемыми.

Все электровозные двигатели имеют независимую вентиляцию, все моторвагонные двигатели — самовентилирующиеся.

¹ Для наиболее удобного пользования материалом этой главы справочника описание конструкции отдельных элементов тяговых электродвигателей даётся общее для всех типов двигателей, а чертежи сгруппированы по отдельным типам машин.

Тяговые двигатели, кроме типов ДСЭ-680/2 и ДК-104 всех индексов, являются опорно-осевыми двигателями, опирающимися одной стороной через моторно-осевые подшипники на ось, а другой — через спиральные пружины на раму тележки.

Сдвоенный двигатель типа ДСЭ-680/2 опорно-рамного исполнения установлен на раме электровоза и имеет привод с полкой осью.

Двигатель типа ДК-104 во всех своих модификациях (А, Б, Г) также полностью подрессорен; он подвешен на тележке и соединяется с редуктором при помощи карданной муфты.

Зубчатая передача у всех электровозных двигателей двусторонняя, у моторвагонных — односторонняя.

Подробно о подвеске двигателей и системах привода см. «Подвижной состав электрических ж. д.», «Передачи».

Моторно-осевые подшипники — у всех двигателей трения скольжения.

Якорные подшипники у машин более раннего выпуска (ДПЭ-340, ДПЭ-340А и ДСЭ-680/2) являются подшипниками трения скольжения, у всех остальных двигателей — трения качения.

Все машины цельнокорпусные четырёх-полюсные.

Расположение главных полюсов у двигателей типов ДПЭ-400А и Б, ДПЭ-340, ДПЭ-340А, НБ-406А, НБ-406Б, ДПИ-150 и 152, ДК-103А и Г, ДМП-150 и 151, ДК-102В, Г и Д вертикально-горизонтальное, а у ДК-104 (всех индексов) — диагональное.

У всех машин имеются добавочные полюсы, число которых такое же, как и главных.

Во всех машинах предусматривается возможность той или иной степени ослабления поля.

Изоляция обмоток якоря и катушек класса В.

Таблица 1

Основные данные о тяговых электродвигателях постоянного тока

Наименование		Обозначение	Размерность	Типы двигателей														
				Двигатели электровозов					Двигатели моторных вагонов пригородных железных дорог									
				ДПЭ-400Б 1946—1956	ДПЭ-340А и ДПЭ-340Б	НБ-406А	ДК-3А	ДК-1А	ГДТМ-655	ДК-103А, ДК-103Б	ДПИ-150, ДПИ-152	ДК-100А	ДК-105Д	ДМП-151, ДМП-150	ДК-102Д	ДК-102В	ДК-102Г	ДК-104А, ДК-104Б, ДК-104Г
Установлены на следующих сериях и типах подвижного состава	—	—	—	ВЛ22М ВЛ19М 1941 и 1946—1956	ВЛ22, СК, Сс и С ВЛ19 1932—1941	Н8, ВЛ-23СКУ-05 1933, 1937 1955—1956	ВЛ19-41 1935	Сн 1933	СР 1946	Сд 1932	Сд-165 1933	СР 1951	А и Б 1934	Г 1946	Г 1939	Г 1939	Д 1949	
	Год выпуска	—	—	3 000	3 000	3 300*	3 000	3 000	3 300*	1 500	3 000	3 300	750	825*	825*	825*	825*	
	Напряжение в контактной сети	—	—	1 500	1 500	1 650	1 500	750	1 650	750	1 500	825	750	412,5	412,5	412,5	412,5	
	Напряжение на коллекторе	—	—	100	100	100	100	100	150	100	50	50	100	44	44	44	37,5	
	Нормальное поле	—	—	67,5 и 50	67,5 и 50	75,55	67,5 и 50	—	—	57,5	—	20	65,0	—	—	—	—	
	Ослабленное поле	—	—	67,5 и 50	67,5 и 50	43 и 35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Часовой режим (нормальное поле)																	
	Мощность на валу	$P_{\text{ч}}$	квт	400	340	575 525 8,5	445	320	380	198 180 1 215	170	188	165	153	91 83 1 285	91 83 1 285	91 83 1 285	80 72 1 230
	Скорость вращения	$n_{\text{ч}}$	об/мин	710	605	735	655	645	580	1 100 132	865	930	765	784	1 160 1 160	1 160 1 160	1 160 1 160	220
	Ток	$I_{\text{ч}}$	а	230	250	380	318	475	275	132	250	137	225	225	248	248	218	220
К. п. д. на валу	$\eta_{\text{ч}}$	%	92,0	91,5	92,1	93,3	91,3	92,5	91,1	90,5	91,6	89	90,8	89	89	89	88	
Длительный режим (нормальное поле)																		
Мощность на валу	$P_{\text{д}}$	квт	310	300	515 470 845	385	277	320	— 129 1	122,0	137	—	108,5	—	—	—	—	
Скорость вращения	$n_{\text{д}}$	об/мин	750	630	765	680	670	610	1 215 105***	970	1 060	—	830	—	—	—	—	
Ток	$I_{\text{д}}$	а	250**	220	340	275	410	232	105	185	100	—	162	205	205	205	185	
К. п. д. на валу	$\eta_{\text{д}}$	%	92,0	91,9	92,1	93,6	91,4	93,4	91	88,5	92	—	89,5	—	—	—	—	
Максимальная скорость вращения	$n_{\text{макс}}$	об/мин	1 530	1 380	1 550	1 410	1 380	—	2 100	1 900	1 800	1 900	—	2 180	2 180	2 180	2 500	
Максимально допустимый ток	$I_{\text{макс}}$	а	580	500	—	636	950	—	264	500	274	450	—	500	500	500	—	

* Для двигателей типов НБ-406А, ДК-103А и ДК-103Г приведены данные как при $U_c = 3\,300$ в (в числителе), так и при $U_c = 3\,000$ в (в знаменателе), а для двигателей типов ДК-102Д, ДК-102В и ДК-102Г соответственно при $U_c = 825$ в и $U_c = 750$ в.

** Это значение длительного тока якоря; длительный ток обмоток главных полюсов 225 а.

*** Это значение длительного тока обмоток главных полюсов 53 а.

Все тяговые двигатели изготавливаются в соответствии с ГОСТ 2582—50 и ГОСТ 6962—54.

Габаритные чертежи и расположение на оси колёсной пары двигателей типов ДПЭ-340 и ДПЭ-400А, НБ-406А, ДК-103А и Г и ДК-104Г приведены на фиг. 1, 28, 47, 82.

Следует иметь в виду, что по размещению на оси двигатели типов ДПЭ-340А, ДПЭ-400А и ДПЭ-400Б идентичны двигателю типа ДПЭ-340, ибо имеют одинаковые размеры остова.

Габаритные размеры двигателей типов ДПИ-150, ДМП-151 и ДК-102 во всех модификациях указаны на общих видах этих двигателей (фиг. 55, 66, 73).

Продольные и поперечные разрезы двигателей типов ДПЭ-400А, ДПЭ-340А, НБ-406А, ГРТМ-655, ДСЭ-680/2, ДК-3А, ДК-103Г, ДПИ-150, ДМП-151, ДК-102Г, ДК-104А, Б и Г приведены на фиг. 2, 16, 26, 41, 44, 45, 46, 55, 66, 73, 83, 84, 85.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

При использовании тяговых электродвигателей возникает необходимость в выяснении ряда вопросов, решение которых базируется на так называемых характеристиках машины.

К ним относятся:

а) электромеханические характеристики двигателей, отнесённые к ободу движущего колеса или, как их иногда называют, электротяговые характеристики;

б) тепловые характеристики машин;

в) аэродинамические характеристики двигателей;

г) нагрузочные характеристики машин.

Перечень характеристик, которыми должен быть снабжён двигатель, методика их получения и нормативы, к ним относящиеся, см. ГОСТ 2582—50.

Электромеханические характеристики, отнесённые к ободу движущего колеса, или электротяговые характеристики дают зависимости от тока двигателя (I) величин: тягового усилия (F_d), скорости (v) и к. п. д. (η).

Для двигателей наиболее распространённых типов эти характеристики (необходимые при производстве тяговых расчётов) приведены на фиг. 5, 17, 18, 22, 30, 48, 59, 67, 81, 86.

Характеристики приведены для нормального и ослабленного или усиленного поля машины. Кроме того, на этих фигурах указаны: область применения данного двигателя, диаметр колёс локомотива, на котором он работает, и передаточное число зубчатых колёс.

Тепловые характеристики двигателей даются в виде сетки кривых нагревания и охлаждения, т. е. зависимости вида $\tau = f(t)$ для различных режимов работы двигателей, и в виде зависимости параметров (T и τ_{∞}) уравнения нагревания

$$\tau = \tau_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

от режима работы (тока) машины.

Здесь τ — превышение температуры в произвольный момент времени t в °С;

τ_{∞} — установившееся превышение температуры для того или иного режима работы в °С;

T — тепловая постоянная времени.

Сетка кривых нагревания и охлаждения позволяет вести расчёты нагревания графическим путём, зависимости T и $\tau_{\infty} = f(I)$ — аналитически (подробнее об этом см. «Тяговые расчёты»).

На фиг. 3, 4, 6, 7, 20, 21, 33, 34, 57, 58, 60 приведены тепловые характеристики двигателей типов ДПЭ-400А, ДПЭ-400Б, ДПЭ-340, ДПЭ-340А, НБ-406А, ДПИ-150 и ДПИ-152 (применительно к наиболее греющим обмоткам их).

Для двигателей типов ДПЭ-340 и ДПЭ-340А, ДПИ-150 и ДПИ-152 наиболее греющимися обмотками являются обмотки якоря.

У двигателей типов ДПЭ-400А и ДПЭ-400Б при некоторых режимах большему нагреву подвержены обмотки якоря, а при других — обмотки главных полюсов.

Для двигателей типов ДПИ-150 и ДПИ-152, как машин с самовентиляцией, на фиг. 57 приведена зависимость $T = f(v)$ при $I=0$, необходимая при расчётах охлаждения машин в период движения локомотива без тока.

Аэродинамические характеристики двигателей дают зависимость количества охлаждающего воздуха (V м³/мин) от статического напора в коллекторной камере ($h_{ст}$ мм вод. ст.), т. е. $V = f(h_{ст})$.

Данные характеристики позволяют заменить непосредственное измерение количества охлаждающего воздуха, прогоняемого через машину, измерением статического напора в коллекторной камере.

Аэродинамические характеристики двигателей с независимой вентиляцией типов ДПЭ-400А, ДПЭ-400Б, ДПЭ-340, ДПЭ-340А и НБ-406А приведены на фиг. 9, 23 и 32. На этих фигурах указано и место расположения при измерениях трубок статического напора.

Следует иметь в виду, что эти характеристики двигателей типов ДПЭ-340, ДПЭ-340А и НБ-406А могут быть использованы как для определения распределения охлаждающего воздуха между двигателями электроваза, так и для выявления количества воздуха, продуваемого через каждый из них, так как эти характеристики сняты при наличии около двигателя шестерённого кожуха (см. ГОСТ 2582—50), а у двигателя типа НБ-406А и при наличии снегозащитного кожуха, которым снабжаются двигатели этого типа.

Аэродинамические характеристики двигателей типов ДПЭ-400А и ДПЭ-400Б сняты с двигателя при отсутствии кожуха зубчатой передачи, поэтому они могут использоваться безоговорочно лишь для суждения о распределении воздуха между двигателями. Действительное количество воздуха, охлаждающего двигатели, при измерениях непосредственно на электровазах определяется

Основные конструктивные данные

Наименование	Обозначение	Размерность	Т и п ы				
			ДПЭ-400А, ДПЭ-400Б	ДПЭ-340, ДПЭ-340А	НВ-406А	ДК-3А	ДК-1А
Якорь							
Диаметр	$D_{\text{я}}$	мм	635	635	660	650	635
Длина сердечника	$l_{\text{я}}$	»	305	305	400	400	305
Число пазов	Z	—	57	57	58	66	66
Размеры паза	$b_h \times h_z$	мм	14,55×57,9	14,55×57,9	51×13,76	13,4×45,7	13,3×48,6
Коллектор							
Диаметр рабочей части	$D_{\text{к}}$	»	565	546	565	590	556
Длина рабочей части	$l_{\text{к}}$	»	110	110	113	110	110
Число пластин	K	—	285	341	406	462	330
Коллекторное деление	$\beta_{\text{к}}$	мм	6,23	5,03	4,375	4,02	5,23
Толщина изоляции	—	»	—	—	1,0	—	1,0
Щётки							
Число щёткодержателей	—	—	4	4	4	4	4
Число щёток в щёткодержателе	—	—	2	2	2	2	2
Размер щётки	$b_{\text{щ}} \times l_{\text{щ}}$	мм	16×50	12,5×50	20×50	16×50	20×50
Перекрытие щёткой коллекторных пластин	γ	—	2,58	2,48	4,57	3,98	3,73
Обмотка якоря							
Тип обмотки	—	—	Волновая	Волиновая	Петлевая	Петлевая	Смешанная
Число проводников общее	N	—	570	682+(2)*	812	924	1320
» » в пазу	u	—	10	12	14	14	20
Число витков в секции	w	—	1	1	1	1	1
Число параллельных цепей обмотки	$2a$	—	2	2	4	4	—
Шаг по пазам	y_z	—	1—16	1—16	1—15	1—17	1—17 волна 1—17 петля
Шаг по коллектору	$y_{\text{к}}$	—	1—143	1—171	1—2	1—2	1—165 волна 1—2 петля
Размеры проводника	$b \times h$	мм	2(0,8×21,6)	2(0,58× ×21,6)	2(1,08×8,6)	0,8×16**	1,56×6,9 1,56×8,6
Сечение проводника	$q_{\text{я}}$	мм²	34,6	25,1	18,16	12,8/16	10,6/13,2
Класс изоляции	—	—	В	В	В	В	В
Обмотка катушек главных полюсов							
Число полюсов	$2p$	—	4	4	4	4	4
Число витков катушки	$w_{\text{гп}}$	—	67	67	48	47	31
Размеры проводника	$b \times h$	мм	2,63×35 2,67×35	2,63×35,3 2,67×35,7	4,1×32	3,8×32	2(2,67× 35,7)
Сечение проводника	$q_{\text{гп}}$	мм²	92,0/95,3	92,6/95,5	130,3	121,6	95,3
Соединение катушек	—	—	Последовательное	Последовательное	Последовательное	Последовательное	Последовательное
Класс изоляции	—	—	В	В	В	В	В
Обмотка катушек добавочных полюсов							
Число полюсов	$2p$	—	4	4	4	4	4
Размеры проводников	$b \times h$	мм	3,05×35 3,05×35,3	3,05×30,5 3,05×35,3	4,4×28	4,4×30	6,4×32,8
Число витков катушки	$w_{\text{дп}}$	—	55	55	34	38	27
Сечение проводника	$q_{\text{дп}}$	мм²	104,5	93 107,6	123,2	132	207,5
Соединение катушек	—	—	Последовательное	Последовательное	Последовательное	Последовательное	Последовательное

Таблица 2

тяговых двигателей постоянного тока

двигателей

ГДТМ-655	ДК-103А, ДК-103Г	ДПИ-150, ДПИ-152	ДК-100А	ДК-105Д	ДМП-151, ДМП-150	ДК-102Д	ДК-102В	ДК-102Г	ДК-104Б, ДК-104Г
650 384 70 12,5×45	440 380 43 12,8×41,0	440 350 39 16×41,5	455 415 47 12,1×38,3	436 380 43 12,8×41	400 412 37 14,2×39,5	346 270 34 12,8×29,2	346 270 34 11,8×36	346 270 34 11,8×36	275 310 47 7,3×28,5
50 — 490 3,79 —	380 70 301 3,97 1,0	380 165 195 6,1 1,0	413 70 281 4,62 —	380 70 215 6,37 —	350 90 185 5,9 —	305 95 238 4,02 —	305 95 238 4,02 —	305 95 238 4,02 —	215 — 141 5,46 —
4 2 25×30 6,6	4 2 12,5×32 3,15	2 3 20×50 3,28	4 2 16×32 3,47	4 2 16×32 2,89	4 2 16×40 2,7	4 2 16×40×60 3,98	4 2 16×40×60 3,98	4 2 16×40×60 3,98	4 2 16×32 2,93
Петлевая	Волновая	Волновая	Волновая	Волновая	Волновая	Петлевая	Смешанно- го типа	Смешанно- го типа	Волновая
980 14 1	602 14 1	390 10 1	562+(2)* 12 1	430 10 1	370 10 1	476 14 1	476 14 1	476 14 1	282 6 1
4 — —	2 1—11 1—151	2 1—10 1—93	2 1—13 1—141	2 1—11 1—108	2 1—11 1—93	4 1—9 1—2	8 1—9/10 1—2/119	8 1—9/10 1—2/119	2 1—12 1—71
0,9×15 13,5 В	0,9×42,5 11,3 В	2,1×14,5 30,0 В	0,9×12,5 11,3 В	1,45× ×12,5 18,5 В	1,81×14,5 26,1 В	1,16×9,3 10,6 В	1,0×5,1 4,89 В	1,0×5,1 4,89 В	1,5×10 14,3 В
4 53 6,5×16 104,0	4 87 1,0×35 34,8	4 33 2,44×32,8 79,8	4 90 1,25×35 43,7	4 87 1,0×35 34,8	4 38 2,44×30,5 69,6	4 16+20 3,28×22/ 3,53×14,5 71,7/50,6	4 16+20 1,95×28/ 3,05×22 54,4/66,6	4 16+20 3,53×19,5/ 3,53×14,5 68,3/50,6	4 33 1,81×25 45
Последова- тельное В	Последова- тельное В	Последова- тельное В	Последо- ватель- ное В	Последо- ватель- ное В	Последо- ватель- ное В	Последо- ватель- ное В	Последо- ватель- ное В	Последо- ватель- ное В	Последо- ватель- ное В
4 3,5×27 40 91,0	4 1,68×22 56 36,8	4 2,1×35,3 27,5 73,9	4 2,61×22 52 57,9	4 2,26×26,3 36 58,9	4 1,81×35 26 63,2	4 4,4×15,6 22 67,6	4 4,4×15,6 22 67,6	4 4,4×15,6 22 67,6	4 2,83×19,5 21 54,7
Последо- вательное	Последо- вательное	Последо- вательное	Последо- ватель- ное	Последо- ватель- ное	Последо- вательное	Последо- вательное	Последо- вательное	Последо- вательное	Последо- вательное

Наименование	Обозначение	Размерность	Т и п ы				
			ДПЭ-400А, ДПЭ-400Б	ДПЭ-340, ДПЭ-340А	НБ-406А	ДК-3А	ДК-1А
Класс изоляции	—	—	В	В	В	В	В
<i>Сопротивление обмоток</i>							
Якоря	$r_{\text{я}}$	ом	0,0774	0,1240	0,0625	0,0815	0,0257
Главных полюсов (полное поле)	$r_{\text{гп}}$	»	0,0855	0,0858	0,0585	0,0550	0,0161
Главных полюсов (ослабленное поле)	$r_{\text{г'п}}$	»	—	—	—	—	—
Добавочных полюсов	$r_{\text{дп}}$	»	0,0446	0,0446	0,0275	0,0297	0,00925
Всей машины	$r_{\text{дв}}$	»	0,2075	0,2544	0,1485	0,1662	0,05105
При температуре	t°	$^{\circ}\text{C}$	75	75	100	75	20
<i>Воздушные зазоры</i>							
Под главными полюсами	$\delta_{\text{гп}}$	мм	6	6	7,7	6	6
Под добавочными полюсами . .	$\delta_{\text{дп}}$	»	6+10,5***	6+2,7***	8+6***	6+1,5***	6
<i>Размеры, связанные с вписыванием машины на оси</i>							
Диаметр бандажа колеса	$D_{\text{вк}}$	»	1200	1200, 1220	1200	1200	1220
Диаметр оси (под ступицей) . .	$d_{\text{в}}$	»	—	—	205	—	—
Высота остова	H	»	1054	1054	—	1019	—
Зазоры от головки рельса до:							
а) нижней точки кожуха . .	—	»	133	133	—	138	—
б) нижней точки остова двигателя	—	»	156	156	—	151	—
Вес двигателя (без зубчатой передачи)	G	кг	4300	4280	5400	5000	4230
<i>Вентиляция</i>							
Система вентиляции	—	—	Независимая	Независимая	Независимая	Независимая	Независимая
Количество охлаждающего воздуха	V	$\text{м}^3/\text{мин}$	78	78	100/95	78	[78]
<i>Зубчатая передача</i>							
Тип передачи	—	—	Двусторонняя прямозубчатая эластичная	Двусторонняя прямозубчатая эластичная	Двусторонняя прямозубчатая эластичная	Двусторонняя прямозубчатая эластичная	Двусторонняя прямозубчатая эластичная
Передаточное число	$\frac{Z}{z} = \mu$	—	$\frac{89:20}{=4,45}$ $\frac{86:23}{=3,74}$	$\frac{89:20}{=4,45}$ $\frac{86:23}{=3,74}$	$\frac{82:21}{=3,9}$	$\frac{73:21}{=3,47}$	$\frac{86:23}{=3,74}$
Модуль	m	—	10	10	11	12,17	10
Централь двигателя	C	мм	545	545	566,5	572	545

* В скобках указано число мёртвых проводников.

** Верхняя строчка — размер проводников, лежащих в верхнем слое паза, нижняя — в нижнем.

*** Второе слагаемое даёт величину зазора со стороны остова.

**** Веса с малыми зубчатыми колёсами и моторно-осевыми подшипниками.

***** Эффективное значение величины воздушного зазора.

***** В числителе указано количество охлаждающего воздуха при $U_c = 3300$ в, а в знаменателе при $U_c = 3000$ в.

U_c

Продолжение

двигателей									
ГДТМ-655	ДК-103А, ДК-103Г	ДПИ-150, ДПИ-152	ДК-100А	ДК-105Д	ДМП-151, ДМП-150	ДК-102Д	ДК-102В	ДК-102Г	ДК-104Б, ДК-104Г
В	В	В	В	В	В	В	В	В	В
0,0738	0,303	0,0545	0,245	—	0,0597	0,041	0,042	0,042	0,068
0,0632	0,290	0,0365	0,2547	—	0,0595	0,0443	0,043	0,0451	0,064
—	—	—	—	—	—	0,0174	0,02	0,0182	—
0,0277	0,132	0,0240	0,0795	—	0,0277	0,0215	0,0215	0,0215	0,028
0,1647	0,725	0,1150	—	—	0,1469	—	—	—	0,160
15	100	75	75	—	75	100	100	100	100
6	5	5	3,2	7,5	5	2,8****	2,8****	2,8****	Центр—1,5
17	5+8***	5	4,5+3***	4,5+3,5***	4	4,5+2***	4,5+2***	4,5+2***	Края—5,7 3,5+0,5***
120	1050	1050	1050	1050	900	900	900	900	900
—	180	180	180	180	180	180	180	180	—
—	750	740	770	750	690	604	604	604	—
—	150	150	—	—	94	94	94	94	—
—	160	165	—	—	130	145	145	145	—
6130****	2550	2580	2550	2600	2400	1450	1490	1490	—
Независи- мая	Самовенти- ляция	Самовенти- ляция	Самовенти- ляция	Самовенти- ляция	Самовенти- ляция	Самовенти- ляция	Самовенти- ляция	Самовенти- ляция	Самовенти- ляция
100	—	17,5	8,5	—	12,75	—	—	—	—
Двусто- ронняя прямо- зубая эластичная	Односто- ронняя прямо- зубая	Односто- ронняя прямо- зубая	Односто- ронняя прямо- зубая жёсткая	Односто- ронняя прямо- зубая	Односто- ронняя прямо- зубая	Односто- ронняя косозубая	Односто- ронняя косозубая	Односто- ронняя косозубая	Редуктер- ная муфта
19:20= =4,45	70:19= =3,69	70:19= =3,69	61:22= =2,77	70:90= =3,69	71:18= =3,95	65:14= =4,64	—	—	80:14= =5,71
10, 275	10	10	11	10	—	10	10	10	7,5
561	445	445	463,5	445	423	405+0,2	405+0,2	405+0,2	355,5

по ним с некоторой погрешностью, приближенно.

Нагрузочные характеристики машины — это зависимости

$$\frac{E}{n} = f(I_{\text{возб}}), \text{ или } \frac{E}{v} = f(I_{\text{я}})$$

для различных токов якоря ($I_{\text{я}}$).

Здесь E — э. д. с. в в;

n — скорость вращения двигателя в об/мин;

v — скорость движения локомотива в км/час;

$I_{\text{возб}}$ — ток в обмотках главных полюсов в а;

$I_{\text{я}}$ — ток в цепи якоря в а.

Эти данные необходимы для построения тормозных характеристик машины при рекуперативном торможении (подробнее об этом см. «Тяговые расчёты»).

Нагрузочные характеристики для двигателей типов ДПЭ-400А, ДПЭ-400Б, ДПЭ-340, ДПЭ-340А и НБ-406А приведены на фиг. 8, 19, 31.

ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Ниже даётся краткое описание отдельных деталей тяговых двигателей с указанием особенностей их конструкции для основных наиболее распространённых типов машин.

Некоторые конструктивные и расчётные данные этих элементов приведены в табл. 2 и 3, а наиболее важные размеры и нормы, относящиеся к ним, — в табл. 4.

Ссылки на чертежи отдельных деталей даны в тексте.

Остов двигателя

Остов двигателя выполняет функции магнитопровода и элемента, в котором размещаются все детали машины. Материалом служит хорошо отожжённое стальное литьё марки 25Л ГОСТ 977—53, имеющее после отжига следующие механические свойства:

Предел текучести	24 $\frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$
Предел прочности	45 »
Относительное удлинение не менее	19%
Ударная вязкость ¹⁾	4 $\frac{\text{кгсм}}{\text{см}^2}$

Магнитные свойства отливок характеризуются следующими данными.

Напряжённость поля H а/см	Магнитная индукция B гс
25	14 500
50	16 000
100	17 500

Остовы тяговых двигателей всех типов — неразъёмные со съёмными торцовыми подшипниковыми щитами.

В поперечном сечении остова двигателей типов ДПЭ-400А, ДПЭ-340А, НБ-406А, ДК-100А, ДК-102, ДК-3А имеют очертание, близкое к квадрату, со слегка срезанными углами. Такая форма остова позволяет наиболее рационально использовать машину в

габаритном отношении, но двигатели имеют относительно больший вес.

Сечение остовов двигателей типов ДПИ-150, ДПИ-152, ДМП-150, ДК-103А, ДК-103Г близко к восьмигранному, а двигателей типа ДК-104А, Б и Г — круглое.

Переход к этим последним формам остова позволяет иметь двигатели относительно более лёгкие, но габаритные размеры их используются менее рационально.

Круглый остов двигателя типа ДК-104А, Б и Г не литой, а выполнен из трубы.

Остовы двигателей в торцовых стенках имеют круглые горловины, через которые во внутреннюю полость машины вводятся все необходимые детали. В горловины устанавливаются подшипниковые щиты.

В остовах имеются смотровые люки, плотно закрываемые крышками с надёжными запорами, — для осмотра и ухода за коллектором и щётчным аппаратом.

Кроме того, имеются окна для подвода и выхлопа охлаждающего воздуха, а также круглые отверстия для болтов, крепящих полюсы и щёткодержатели, и для ввода внутрь машины проводов.

Внутри остова имеются обработанные приливы под сердечники полюсов и для установки щёткодержателей; снаружи приливы для моторно-осевых подшипников с одной стороны и опорные и предохранительные носики — с другой.

Кроме того, в верхней части остова имеются проушины для удобства транспортировки двигателей, а также приливы для крепления кожухов зубчатой передачи.

Подшипниковые щиты и якорные подшипники

Подшипниковые щиты, плотно пригнанные своими посадочными поверхностями к расточкам горловин остова, вжимаются в последние и крепятся 4—6 болтами.

Размеры горловин остова и посадочных поверхностей подшипниковых щитов, допустимая конусность их, а также натяги при посадках — см. табл. 4.

Подшипниковые щиты имеют камеры, где размещаются подшипники и их смазка, крышки, закрывающие эти камеры, и уплотняющие лабиринтовые устройства.

Материал подшипниковых щитов и крышек — стальное литьё марки 25Л ГОСТ 977—53.

Роликовые якорные подшипники. У всех моторвагонных двигателей подшипник на стороне зубчатой передачи радиальный, с двухбортовыми наружным и безбортовыми внутренним кольцами; на стороне, противоположной приводу, — радиально-упорный, фиксирующий, с двухбортовым наружным кольцом и с внутренним одиобортовым, с фасонной упорной шайбой.

Такого же типа подшипники имеют электровозные двигатели типов ДПЭ-400А, НБ-406А и ДК-3А (см. фиг. 2, 26, 45).

Якорные подшипники электровозного двигателя типа ДПЭ-400А имеют свою историю.

Двигатель был выпущен с одинаковыми на обеих сторонах машины роликовыми под-

Некоторые расчётные данные типовых двигателей постоянного тока

Наименование величин	Обозначение	Размерность	Типы двигателей										
			ДПЗ-400В	ДПЗ-340А	НД-406А	ДК-3А	ДК-103А	ДПН-150	ДК-100А	ДК-105В	ДМП-150	ДК-102В	ДК-104В
Приведённый объём якоря	$D_{я} l_{я}$	дсм ³	123,0	123,0	173,24	168,8	73,5	67,9	86,0	72,2	66,0	32,4	23,4
Эффективный »	$D_{я} l_{я}$	дсм ³	781	781	1 143,4	1 090	323	299	392	314	264	112	64,5
Окружная скорость якоря при часовом режиме	$v_{яи}$	м/сек	23,6	20,0	28,2	22,3	25,3	20,0	22,2	17,8	16,4	23,3	19,6
То же коллектора	$v_{ки}$	»	21,0	17,3	24,1	20,3	21,8	17,3	20,15	15,5	14,3	20,2	17,5
Вращающий момент при часовом режиме	$M_{я}$	кгм	544	548	687	660	160	192	197	191	190	87,5	112
Частота вращения	f	—	23,6	22,0	27,2	21,8	36,7	29,0	31,0	26,0	26,1	42,9	45,5
Вес на единицу мощности	$G/P_{я}$	кг/квт	10,5	12,6	9,4/10,15**	12,1	14,3	15,2	15,3	—	15,7	16,4	—
» » момента	$G/M_{я}$	кг/кгм	7,8	7,8	7,83	8,15	16,0	13,4	14,4	—	12,6	16,8	—
Соотношения длительной и часовой мощности	$P_{до}/P_{я}$	—	0,86	0,90	0,9/0,89**	0,865	0,72	0,74	0,73	0,81	0,72	0,83	0,76
Коэффициент полюсного перекрытия	α	—	0,695	0,695	0,665	0,690	0,635	0,650	0,660	0,640	0,660	0,615	—
Плотность тока обмотки якоря	$\Delta j_{я}$	а/мм ²	4,15	5,0	5,17	5,66	5,85	4,16	6,05	5,82	4,82	5,85	7,6
Плотность тока катушек главных полюсов	$\Delta j_{пн}$	»	3,10	2,72	2,878	2,62	$\frac{3,62}{3,80}$	3,48	3,14	6,05	3,24	$\frac{3,47}{4,89}$	4,52
Плотность тока катушек боковых полюсов	$\Delta j_{бп}$	»	2,73	2,38	2,68	2,40	$\frac{3,42}{3,60}$	3,68	2,47	3,58	3,55	3,66	3,90
Линейная нагрузка якоря током	A	а/см	407	428	367,5	405	287	354	270	329	331	325	347
Среднее напряжение между соседними коллекторными пластинами	$\Delta U_{ср}$	в	21,1	17,6	16,3/14,8**	13,0	19,8	15,4	21,3	15,4	16,2	6,93	11,7

Продолжение													
Наименование величин	Обозначение	Размерность	Типы двигателей										
			ДПЗ-400А, ДПЗ-400Б	ДПЗ-340А	НВ-406А	ДК-3А	ДК-103А, ДК-103Т	ДПН-150, ДПН-152	ДК-100А	ДК-105В	ДМП-150, ДМП-151	ДК-102Т, ДК-102В	ДК-104Т, ДК-104В
Фактор коммутации	$A \Delta U_{cp}$	$\frac{вт}{см}$	8 800	7 500	6 070/5400**	5 300	5 750	5 450	5 750	5 000	5 400	2 260	4 050
Напряжение на 1 см длины окружности коллектора . . .	$\frac{U_{\partial}}{2 \rho \pi D_K}$	в/см	33,9	35,0	37/33,7**	32,6	50	25	46,2	27,7	27,6	17,5	21,5
Объём тока в пазу	—	а	1 425	1 500	1 310	1 110	$\frac{883}{925}$	1 250	1 360	1 050	1 125	870	660
Фактор нагрева	$A \Delta \theta$	—	1 680	2 140	1 900	2 290	1 680	1 470	1 630	1 370	1 430	1 900	2 530
Коэффициент заполнения паза	—	—	0,410	0,356	0,363	0,329	0,276	0,452	0,290	0,346	0,466	0,406	0,332
Индукция в воздушном зазоре	B_{∂}	гс	10 850	10 200	10 600	10 100	$\frac{7\ 620^*}{9\ 350}$	8 000	8 400	8 000	8 500	8 450	7 080
Индукция в зубцах	$B_{z1/2}$	*	23 750	23 700	22 800	23 000	$\frac{17\ 200^*}{20\ 950}$	20 450	18 300	18 200	20 400	18 400	16 650
» » остовах	B_o	*	16 350	15 100	16 100	16 400	$\frac{13\ 100}{16\ 000}$	14 000	14 400	13 700	14 700	11 800	13 250
» » сердечнике главных полюсов	B_n	*	17 800	17 400	17 200	—	$\frac{15\ 000^*}{18\ 200}$	16 000	13 000	13 500	—	—	13 300
Индукция в сердечнике якоря	B_{γ}	*	15 150	14 800	15 350	14 250	$\frac{12\ 800^*}{15\ 600}$	13 500	13 250	13 500	15 500	11 200	9 950
Потери при часовом режиме: электрические	ΔP_{∂}	вт	15 900	17 950	22 305	20 500	10 700	9 350	10 700	14 350	9 175	6 050	6 200
магнитные	$\Delta P_{\text{магн}}$	*	11 400	8 500	13 950	6 400	3 250	2 800	3 400	2 900	3 100	1 800	1 350
механические	$\Delta P_{\text{мех}}$	*	2 550	2 310	3 850	2 180	2 770	2 550	1 500	1 600	1 350	1 700	1 150
добавочные	$\Delta P_{\text{доб}}$	*	2 000	1 500	4 190	1 920	980	1 570	1 020	870	1 685	540	450
Всего потерь	$\Sigma \Delta P$	*	32 300	31 000	44 295	31 950	17 700	16 300	16 000	19 900	15 300	10 100	9 700

* В числителе — значения индукции при нормальном поле, в знаменателе — при усиленном.
 ** В числителе — значения при нормальном поле, в знаменателе — при усиленном.

Таблица 4

Некоторые основные размеры тяговых двигателей

Наименование величин	Типы двигателей								
	Размерность	ДПЭ-400А, ДПЭ-400Б	ДПЭ-340 ДПЭ-340А	НБ-406А	ДК-103А, ДК-103Г	ДПИ-150, ДПИ-152	ДМП-151, ДМП-150	ДК-102Д, ДК-102Г, ДК-102В	ДК-104 Г ДК-104В
Остов									
Диаметр горловины остова под подшипниковый щит со стороны коллектора	мм	585	585	585	420	420	350	300	455
Диаметр горловины остова под подшипниковый щит со стороны, противоположной коллектору . .	»	700	700	700	590	590	555	490	455
Диаметр горловины под моторно-осевой подшипник	»	230	230	245А,	210	210	215	210	—
Овальность и конусность горловины под моторно-осевые подшипники не более	»	0,09	0,09	—	0,07	0,07	—	0,03*	—
Расстояние между гранями пазов для посадки шапок моторно-осевых подшипников	»	265	265	325А,	250	250	250	235	—
Конусность по длине посадочных граней под шапки моторно-осевых подшипников не более	»	0,05	0,05	—	0,045	0,045	—	—	—
Расстояние между верхним и нижним носками подвески двигателей	»	321	321	361	276	276	225	225	—
Подшипниковые щиты									
Диаметр посадочной поверхности подшипникового щита со стороны коллектора	»	585	585	585	420	420	350	300	455
Диаметр посадочной поверхности подшипникового щита со стороны, противоположной коллектору . .	»	700	700	700	590	590	555	490	455
Овальность посадочных поверхностей подшипниковых щитов не более	»	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	—	—	—
Диаметр гнезда для посадки подшипника:									
а) в щите на стороне коллектора	»	340	165	360	210	210	210	210	110
б) в щите противоположной стороны	»	340	165	360	280	280	280	240	240
Натяг при посадке подшипниковых щитов в горловины остова	»	0,02— 0,23	0,0— 0,15	—	+0,06 —0,05	+0,06 —0,05	—	—	—
Натяг при запрессовке наружных роликоподшипниковых колец в подшипниковые щиты (сторона коллектора)	»	+0,018 —0,075 +0,018 —0,075	—	—	+0,016 —0,060 +0,018 —0,070	+0,016 —0,060 +0,018 —0,070	+0,016 —0,060 +0,018 —0,070	—	—
То же на противоположной стороне	»	—	—	—	—	—	—	—	—
Шапки моторно-осевых подшипников									
Расстояние между посадочными поверхностями шапок	»	265	265	325 Г.,	250	250	250	—	—
Конусность посадочных поверхностей не более	»	0,036	0,036	—	0,03	0,03	—	—	—
Натяг при посадке шапок в остов	»	0,004— 0,090	0,004— 0,090	—	0,03— 0,105	0,03— 0,105	—	—	—
Натяг при посадке вкладышей моторно-осевых подшипников	»	от—0,05 до +0,10	от—0,05 до +0,10	—	0,01— 0,35	0,01— 0,35	—	—	—
Роликоподшипники									
Тип подшипника									
а) на стороне коллектора	»	42426жк** 22426жк	—	92428жк	32 417	62 417	62 417	62 417	62310жк
б) » противоположной стороне . .	»	42426жк* ³ 32426жк	—	32428жк	32 422	32 422	32 422	32 419	32613жк
Размеры подшипников.									
а) внутренний диаметр внутреннего кольца на стороне коллектора	»	130	—	140	85	85	70	85	50
то же на противоположной стороне	»	130	—	140	110	110	110	95	65

Продолжение

Наименование величины	Типы двигателей								
	Размерность	ДПЭ-400А, ДПЭ-400В	ДПЭ-340, ДПЭ-340А	НБ-406А	ДК-103А, ДК-103Г	ДПИ-150, ДПИ-152	ДМП-151, ДМП-150	ДК-102Д, ДК-102Г, ДК-102В	ДК-104Г, ДК-104В
б) внешний диаметр внешнего кольца на стороне коллектора	мм	340	—	360	210	210	210	210	110
то же на противоположной стороне	»	340	—	360	280	280	280	240	140
в) ширина внешнего кольца (стороны коллектора)	»	78	—	82	52	52	52	52	27
то же на противоположной стороне	»	78	—	82	65	65	65	55	48
Вал якоря									
Диаметр вала под якорные подшипники:									
а) со стороны коллектора	»	130	135	140	85	85	70	85	50
б) с противоположной стороны	»	130	135	140	110	110	110	95	65
Диаметр вала в месте посадки лабиринтовых втулок:									
а) со стороны коллектора	»	135	—	144	95	95	95	90	52
б) с противоположной стороны	»	135	—	145	115	115	115	92	62
Диаметр вала в месте посадки в якорную втулку:									
а) со стороны коллектора	»	139	139	147	105	105	105	—	—
б) с противоположной стороны	»	141	141	149	115	115	115	—	—
в) в средней части	»	140	140	148	—	—	—	—	—
Овальность и конусность шеек вала не более		0,015	0,03	0,02	0,015	0,015	—	—	0,01
Натяг при посадке на вал:									
а) маслоотбойного кольца	»	—	0,067— 0,015	—	—	—	—	—	—
б) лабиринтовых втулок:									
на стороне коллектора	»	0,040— 0,027	0,040— 0,027	—	0,085— 0,025	0,085— —0,025	—	0,029— 0,066	—
на противоположной стороне	»	0,040— 0,027	0,040— 0,027	—	0,094— 0,094	0,094— 0,044	—	0,029— 0,066	—
в) внутренних колец роликоподшипников	»	0,025— 0,065	0,025— 0,065	—	0,058— 0,023	0,058— 0,023	0,012— 0,055	0,012— 0,055	—
Втулка якоря									
Внутренний диаметр втулки:									
а) со стороны коллектора	»	139	139	147	105	105	105	—	—
б) с противоположной стороны	»	141	141	149	115	115	115	—	—
в) в средней части	»	140	140	152	—	—	—	—	—
Натяг при запрессовке втулки на вал	»	0,08— 0,11	0,08— 0,11	0,13— 0,16	0,058— 0,094	0,058— 0,094	0,03— 0,09	—	—
Давление при запрессовке втулок на вал	т	78—96	78—96	86— 110,5	60— 110	60— 110	25— 100	—	—
Сердечник якоря									
Натяг при посадке сердечника	мм	0,175— 0,015	0,175— 0,015	—	0,040— 0,110	0,040— 0,110	—	—	—
Натяг при напрессовке передней нажимной шайбы (обмоткодержателя)	»	0,055— 0,125	0,055— 0,125	—	0,040— 0,110	0,040— 0,110	—	—	—
То же задней	»	0,070— 0,145	0,070— 0,145	—	0,140— 0,220	0,140— 0,220	—	—	—
Давление запрессовки сердечника якоря на втулку (или вал)	т	115—140	115—140	140—175	53	53	80—120	25—33	22—27
Натяг при посадке вентилятора на зажимную шайбу якоря (или вала):									
а) для силуминового вентилятора	мм	—	—	—	0,16— 0,26	0,16— 0,26	—	—	—
б) для стального вентилятора	»	—	—	—	0,35— 0,41	—	—	—	—
Давление при прессовой посадке вентилятора на вал	т	—	—	—	—	—	—	10—22	2—8
Коллектор									
Диаметр коллектора по петушкам	мм	628	618	654	428	430,5	390	340	272
Длина петушков коллектора	»	21	21	22	17,0	22	17	17	14
Толщина миканита между коллекторными пластинами	»	1,14	1,14	1,15	1,0	1,0	1,0	0,9	—
Глубина продорожки миканита	»	1,2	1,2	—	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0

Продолжение

Наименование величин	Типы двигателей								
	Размерность	ДПЭ-400А, ДПЭ-400Б	ДПЭ-340, ДПЭ-340А	НБ-406А	ДК-103А, ДК-103Г	ДПИ-150, ДПИ-152	ДМП-151, ДМП-150	ДК-102Д, ДК-102Г, ДК-102В	ДК-104Г, ДК-104В
Биеение коллектора	мм	0,07	0,07	0,04	—	—	0,03	0,03	0,03
Натяг при запрессовке шайбы коллектора на коробку коллектора	»	0,0— 0,12	0,0— 0,12	—	0,035— 0,041	0,035— 0,041	—	—	—
Натяг при посадке коробки коллектора на втулку якоря или нажимную шайбу якоря	»	0,05— 0,135	0,05— 0,135	—	0,04— 0,11	0,04— 0,11	—	—	—
Давление запрессовки пластин коллектора	»	62—67	35—40	—	23,5— 34,5	23,5— 34,5	—	20—22	15—17
Давление запрессовки коллекторной коробки на втулку, нажимную шайбу или вал якоря	т	26—51	26—51	30—62	17—42	17—42	—	6—25	4—15
<i>Щёткодержатели и щётки</i>									
Ширина окна щёткодержателя	мм	16	12,5	20	12,5	20,0	16,0	—	16,0
Длина	»	100	100	100	64	50	80,0	—	64,0
Зазор между щёткой и щёткодержателем:									
а) по ширине щётки	»	0,05— 0,10	0,05— 0,10	—	0,05— 0,20	0,05— 0,20	0,05— 0,20	0,05— 0,20	0,05— 0,20
б) » длине »	»	0,16— 0,80	0,16— 0,80	—	0,16— 0,8	0,16— 0,8	До 1,0	0,1—1,0	0,1—1,0
Давление пальца на щётку	кг	3,0—3,8	2,5—3,5	3,6—4,2	2,0—2,5	3,0—4,0	1,6—2,4	2,0—2,3	1,6—2,0
<i>Собранный двигатель</i>									
Зазор между якорем и главными полюсами	мм	6	5/7***	7,7	5	5	5	5	1,5
Радиальный зазор в роликовых подшипниках (на собранном двигателе) — сторона коллектора	»	0,06— 0,14	0,15— 0,54****	—	0,05— 0,13	0,05— 0,13	0,065— 0,12	0,05— 0,12	0,05— 0,10
То же противоположная сторона	»	0,06— 0,14	0,15— 0,54****	—	0,06— 0,13	0,06— 0,13	0,075— 0,12	0,06— 0,12	0,05— 0,10
Аксальный разбег якоря (на собранном двигателе)	»	1—2**** 0,15—0,5	2,0****	0,15— 0,5	0,15— 0,40	0,15— 0,40	0,2—0,4	0,2—0,4	0,2— 0,45
Расстояние от корпуса щёткодержателя до рабочей части коллектора	»	5	5	—	4	4—6	4,5—5,5	3,0—3,5	3,0—3,5
Минимальный зазор между петушками коллектора и корпусом щёткодержателя	»	6	6	—	9,0	9,0	7/10 *****	—	—

* Конусность.

Овальность.

** В числителе — номера подшипников, которые ставились до 1949 г., в знаменателе — после.

*** В числителе — под верхним, в знаменателе — под нижним полюсом нового двигателя.

**** Для подшипников скользящего трения.

***** В числителе — разбег при подшипниках 424 26жк, в знаменателе — при 224 26жк.

***** В числителе — для правого, в знаменателе — для левого щёткодержателя.

шипниками № 42426 (наружное кольцо двух-бортовое, внутреннее—однобортовое). Борта внутренних колец помещались на стороне, обращённой к сердечнику якоря. Недостаточно надёжная работа этих подшипников заставила перейти к подшипникам серии 42426Ж, отличающимся от серии 42426 тем, что у новых подшипников:

1) увеличены зазоры между сепараторами и роликами для улучшения смазки последних;

2) уменьшены зазоры между бортами колец и роликами в аксальном направлении;

3) введена проверка роликов дефектоскопом;

4) улучшена технология термической и механической обработки деталей подшипника.

Однако этими мероприятиями не была уничтожена основная причина недостаточной надёжности в работе.

Однобортовые с обеих сторон якоря подшипники (серий 42426 и 42426Ж) не обеспечивают нормального аксального разбега якоря, так как последний устанавливается в зависимости от точности монтажа не только элементов подшипников, но и подшипниковых щитов. В целях уничтожения этого

дефекта с сентября 1949 г. двигатели типа ДПЭ-400А выпускаются с одним фиксирующим подшипником № 22426жк (на стороне коллектора) и одним радиальным № 32426жк (на противоположной стороне). Фиксирующий подшипник № 22426жк имеет внутреннее кольцо с двумя бортами, а внешнее — с одним бортом и с запорной шайбой. Такое решение вопроса, улучшая работу подшипников, всё же не может быть признано полностью рациональным, так как при двухбортном внутреннем кольце при демонтаже машины сепаратор с роликами остаётся на внутреннем кольце на якоре и с ним транспортируется в цехах по всем операциям, что является, безусловно, нежелательным.

В 1952 г. предложен и конструктивно разработан переход на хорошо себя зарекомендовавшую комбинацию радиального подшипника и радиально-упорного с внешним кольцом с двумя бортами и внутренним с одним бортом и запорной шайбой. Подшипники выбраны серии № 92426жк со стороны коллектора и 32426жк с противоположной стороны.

Опыт эксплуатации тяговых двигателей типов ДК-3А и ДПЭ-400 подсказал решение при разработке узлов якорных подшипников двигателя типа НВ-406А. У этого двигателя на стороне коллектора установлен подшипник роликовый, радиально-упорный с двухбортным внешним кольцом и однобортным с запорной шайбой внутренним кольцом (92428жк). Со стороны, противоположной коллектору, принят подшипник чисто радиальный (32428жк).

Изменение претерпел и подшипниковый узел со стороны, противоположной коллектору двигателей типа ДК-104А и Б. У двигателей этих типов поставлен подшипник двухрядный шариковый, а у ДК-104Г — роликовый серии 32613жк.

Типы якорных подшипников наиболее распространённых тяговых двигателей, их размеры и допуски к ним, а равно и натяги при посадке наружных и внутренних колец приведены в табл. 4, где указаны также размеры соответственных посадочных поверхностей вала якоря и подшипниковых щитов.

Наружные кольца роликоподшипников запрессовываются в гнезда подшипниковых щитов в холодном состоянии, внутренние же сажаются на вал с предварительным нагревом их в течение 20—40 мин. в ванне с минеральным маслом, имеющим температуру 100—110°.

У всех двигателей с односторонней зубчатой передачей (моторвагонных) радиально упорный подшипник располагается на стороне коллектора. Фасонная шайба, запирающая ролики на внутреннем кольце, зажимается винтовой пробкой с бортом, входящей в расточку в торце вала и крепящейся к нему тремя болтами.

У двигателя типа ДК-3А упорный подшипник расположен на стороне, противоположной коллектору, и ролики на внутреннем кольце запираются кольцом 2, навинчивающимся на втулку 3, напрессованную на вал (см. фиг. 45).

Подшипниковые камеры закрываются крышками; там, где нет привода, — сплош-

ными, а на стороне привода — с отверстиями для вала. Крышки одновременно являются и деталью, зажимающей наружное кольцо подшипника.

Смазываются роликовые подшипники консистентной смазкой № 1-13 ГОСТ 1631—42, имеющей температуру каплепадения 120°С. Смазочные камеры в подшипниковых щитах заполняются смазкой на $\frac{2}{3}$ их объёма. Пространство между роликами и все лабиринтные канавки уплотняющих устройств заполняются полностью. Смазочные камеры в наружной крышке со стороны шестерни заполняются смазкой полностью, а глухие шапки на $\frac{1}{3}$ их объёма.

Радиальные и аксиальные зазоры в подшипниках на собранной машине приведены в табл. 4.

Якорные подшипники скольжения этого типа применены на двигателях типа ДПЭ-340, ДПЭ-340А и ДСЭ-680/2.

У этих машин система смазки с постоянным уровнем. Заполнение жидкой смазкой производится шлангом под давлением в 3,5 ат. Смазка из камеры подаётся к шейке вала шерстяной подбивкой.

В качестве смазки применяются: в летнее время селективный и сернокислотный автол № 10 и моторное масло М и Т, в зимнее время — сернокислотный автол № 10, № 4, селективный автол № 10 и турбинное масло марки Т.

Вкладыши подшипника цельные бронзовые, залитые баббитом марки Б-83. Толщина заливки 2,5 мм. Заливается как внутренняя цилиндрическая полость, так и торец фланца.

Вкладыши запрессовываются в подшипниковый щит с натягом 0,05—0,09 мм на шпонку.

Толщина фланца нового вкладыша 20 мм.

У нового двигателя зазор между валом якоря и вкладышем подшипника должен быть 0,15—0,54 мм, продольный разбег якоря — 2,0 мм. У двигателей, поступающих в ремонт на завод, подшипники трения скольжения заменяются подшипниками трения качения. Роликовые подшипники применяются те же, что и у двигателя типа ДПЭ-400.

Моторно-осевые подшипники

Моторно-осевые подшипники состоят из приливов к остову с цилиндрическими расточками, вкладышей и шапок, крепящихся к остову четырьмя болтами.

Шапки отливаются из стали марки 35-5015.

Для лучшей их фиксации в приливах остова в последнем, вдоль цилиндрической расточки для вкладыша, имеются пазы, а на плоскости стыка шапок соответствующие продольные выступы, входящие в эти пазы с натягом.

Размеры этих посадочных поверхностей, допускаемые отклонения от них, диаметры горловин и натяги при посадках даны в табл. 4.

Материал болтов — углеродистая термообработанная сталь Ст. 45 с пределом текучести ≥ 50 кг/мм² и разрывным усилием ≥ 70 кг/мм².

Вкладыши моторно-осевых подшипников бронзовые, разъемные, из двух половин. Материал — бронзовое литье марки ОУС-6-6-3 ГОСТ 613—50. Заливка баббитом Б-16 ГОСТ 1320.

Толщина слоя заливки 3—3,5 мм.

Для лучшего сцепления баббита с телом вкладыша в последнем имеются канавки с сечением в виде ласточкина хвоста.

Половина вкладыша, находящаяся в шапке, имеет прямоугольное окно для подачи смазки. В ряде двигателей баббитовая заливка распространяется и на торец борта вкладыша.

Частое выкрашивание баббита в этом месте послужило причиной того, что для двигателей типов ДПЭ-400 и ДПЭ-340 было принято решение эту часть вкладыша не заливать.

Применяются также вкладыши из свинцовой бронзы без заливки баббитом.

Вкладыши сажаются в горловины моторно-осевых подшипников с натягом и имеют фиксирующую шпонку.

Шапки имеют развитые камеры, где помещается смазка, и устройства подачи её к оси колёсной пары.

У всех железнодорожных двигателей смазка жидкая, машинное масло Т.

У двигателей метрополитена — густая, марки ГРИЗ-100 (Метро).

У двигателей типов ДПЭ-340А, ДПЭ-400, ДПИ-152, ДК-103 применены моторно-осевые подшипники с постоянным уровнем смазки. В качестве подбивки применяется чистая шерсть.

Главные полюсы

Сердечники главных полюсов набираются из листов стали ГОСТ 3680—47 толщиной 1,5 мм.

У двигателей всех типов, кроме ДК-102В, Г и Д и ДК-104А, Б и Г, листы сердечника собираются на валик, а затем прессуются давлением 10 т и скрепляются заклёпками.

У двигателей названных типов валика сердечника нет, резьбовые отверстия под болты сделаны непосредственно в листованном теле сердечника полюса.

Концевые листы, в которых размещаются головки заклёпок, выполнены утолщёнными (у некоторых машин литыми).

Число стягивающих заклёпок 4—6.

Катушки главных полюсов намотаны во всех машинах из шинной меди на широкое ребро.

Наиболее рациональны двуслойные катушки, так как имеют минимум переходов из одного слоя в другой и являются более жёсткими, а следовательно, менее подверженными ослаблению на сердечнике.

Такие катушки имеют двигатели всех названных выше типов.

Размеры обмоточной меди и числа витков катушек главных полюсов этих машин приведены в табл. 2.

На фиг. 15, 38, 51, 63, 71, 77, 90 приведены чертежи катушек главных полюсов двигателей типов ДПЭ-400А и Б, ДПЭ-340 и ДПЭ-340А, НБ-406А и Б, ДПИ-150, ДК-103А и ДК-103Г, ДМП-150, ДК-102Г и ДК-104Д, на которых указаны их конструкция, размеры и изоляция.

Крепление катушек главных полюсов производится у всех машин затяжкой их между остовом и заплечиками сердечников полюсов при помощи болтов.

Перед посадкой на сердечник внутренняя полость катушки обрамляется каркасом с пружинящим фланцем. Материал каркаса — сталь 45 или Ст. 6, толщина 4—5 мм. Материал болтов: сталь 45 ГОСТ 1050—52, имеющая предел текучести $\sigma_m > 32 \text{ кг/мм}^2$, эта же сталь с термообработкой имеет $\sigma_m > 45 \text{ кг/мм}^2$.

После сборки катушек на остовах и их соединения они прогреваются током до температуры 100—130°C, после чего крепящие их болты затягиваются.

Нагрев контролируется методом электрического сопротивления.

Головки верхних болтов заливаются компаундом, для чего они утоплены в тело остова.

У двигателя типа GDTM-655 (фиг. 42) катушки независимо от сердечника полюса притягиваются к остову скобами при помощи гаек, навинчиваемых на концы скоб, выходящих из остова машины через сверлённые отверстия.

Добавочные полюсы

Сердечники добавочных полюсов двигателей всех типов выполнены сплошными. Материал: стальная отливка 25Л ГОСТ 977—53 или обработанная поковка ПЛС—Ст. 2.

У двигателей типов ДПИ-150, ДК-103Г, ДМП-151, ДК-102Д, ДК-104Г сердечники имеют полюсные башмаки с опорными заплечиками.

У двигателей типов НБ-406А и Б, ДПЭ-400А и Б, ДПЭ-340, ДПЭ-340А, ДК-3А полюсный наконечник уже основной толщины сердечника и опорные поверхности для катушек создаются специальными бронзовыми, приклепанными и приваренными угольниками.

Катушки добавочных полюсов выполнены из меди прямоугольного сечения (размеры меди и числа витков катушек см. табл. 2).

Намотка катушек:

у двигателей типов ДПИ-150 и ДМП-151 — на широкое ребро (плашмя) в два слоя;

у двигателей типа ДК-103Г — на широкое ребро в четыре слоя;

у двигателей типов ДПЭ-400А и Б, ДПЭ-340, ДПЭ-340А, НБ-406А и Б, ДК-102В, Г и Д, ДК-104Г — на узкое ребро.

Конструкция катушек добавочных полюсов, их изоляция и размеры для двигателей типов ДПЭ-400А и Б, ДПЭ-340, ДПЭ-340А, НБ-406А и Б, ДПИ-150 и 152, ДК-103А и Г, ДМП-151, ДК-102В, Г и Д, ДК-104Д приведены на фиг. 14, 39, 53, 64, 72, 79, 91.

Крепление добавочных полюсов. Катушки на сердечники насаживаются на каркасы с пружинящими фланцами. Материал фланцев — сталь 45, термически обработанная. На заплечики полюсного наконечника устанавливается бронзовая рамка, на которую опирается пружинящий фланец. Все двигатели (кроме типа ДПИ-150) имеют между сердечником добавочного полюса и остовом латунные прокладки (толщины их см. табл. 2).

Полюс крепится к остоу у всех машин, кроме НБ-406А и Б, тремя болтами, у двигателей последнего типа — четырьмя. Материал болтов сталь 45 ГОСТ 1050—52.

Под головками болтов — пружинные шайбы. Головки болтов верхних полюсов заливаются для герметизации компаундной массой.

Якорь

Якорь двигателя состоит из вала, на который насажены прессовой или горячей посадкой втулка якоря, кольца роликовых подшипников, уплотняющих устройств и пр.

На втулку якоря (а иногда и непосредственно на вал) набирается и зажимается обмоткодержателями листованное тело сердечника якоря.

На втулку же (редко непосредственно на вал, иногда на специальное оттянутое тело переднего обмоткодержателя) напрессовывается коробка коллектора.

Обмоткодержатели, изготавливаемые из стального литья типа 25Л ГОСТ 977—53, изолируются, и на них в пазы сердечника укладывается обмотка якоря, крепящаяся на обмоткодержателях бандажими, а в пазах сердечника якоря — бандажими или клиньями.

Концы секций обмотки впаиваются в «петушки» коллектора.

Валы тяговых двигателей изготавливаются из качественной легированной стали типа 20ХНЗА ГОСТ 4543—48 с примесью не более: фосфора — 0,04%, серы — 0,04%.

После термической обработки сталь должна обладать следующими свойствами:

Временное сопротивление разрыву	$\geq 70 \text{ кг/мм}^2$
Предел текучести	≥ 50
Относительное удлинение ($l=5d$)	19%
Относительное сжатие	45%
Ударная вязкость (по Менаже)	8 кг/см^2
Твёрдость по Бринеллю	210—280

Обработка валов производится по второму классу точности и завершается шлифовкой со степенью чистоты не ниже 7—8. Задиры, поперечные риски не допускаются.

Кольца роликовых подшипников, лабиринтных уплотнений, упорных втулок сажаются на валы горячей посадкой. Втулки и лабиринтные кольца изготавливаются из стали 45 ГОСТ 1050—52 или Ст. 5 ГОСТ 380—50. Посадочные диаметры и натяги — см. табл. 4.

Втулка якоря, изготавливаемая из стального литья типа 25Л ГОСТ 977—53, несёт на себе сердечник якоря с зажимными шайбами — обмоткодержателями, коллектор и обмотку, позволяя таким образом при изломах вала перепрессовывать его во втулке без полной переборки якоря.

Посадка на вал прессовая, по 2—3 диаметрам. Посадочные диаметры вала и втулки, необходимые натяги и давления при запрессовках для наиболее распространённых типов двигателей — см. табл. 4.

Сердечник якоря набирается из отдельных листов электротехнической стали марки Э12 ГОСТ 802—54 толщиной 0,5 мм. Повышенное содержание кремния снижает потери на вихревые токи. Эта сталь имеет удельные потери 2,8 вт/кг при $B = 10\,000 \text{ гс}$ и $f = 50 \text{ пер/сек}$. Изолировка листов дости-

гается их лакировкой (бакелитовые, асфальтовые лаки печной сушки или жидкое стекло). Иногда (см., например, двигатель типа ДК-103А или Г) через 50—70 мм по длине сердечника ставятся прокладки из электрокартона толщиной 0,5—1,0 мм.

Листы стали у двигателей типов ДК-102В, Г, Д, ДК-104А, Б и Г набираются непосредственно на вал, у всех остальных двигателей — на втулку. Сборка пакетов листовой стали производится с допусками прессовой посадки. Шпонка является лишь направляющей. Собранный пакет прессуется с силой, обеспечивающей удельное давление около 50 кг/см^2 .

Для того чтобы у концов сердечника якоря листы не расслаивались, у двигателей типов ДПЭ-340 и ДПЭ-340А передний и задний обмоткодержатели имеют в части, обращённой к сердечнику, на своей периферии зубчатое строение (по числу зубцов якоря). Эти жёсткие литые зубцы надёжно сжимают и фиксируют слоистое тело якоря в зубцовой части. Со стороны, обратной сердечнику якоря, зубцы обрамляются специальными изоляционными миканитовыми колпачками.

У большинства машин таких зубчатых зажимных шайб нет и расслоение листов у торцов предотвращают тем, что последние 7—8 листов якоря делают из стали 2 ГОСТ 3680—47 толщиной $1 \div 1,5 \text{ мм}$ с постепенным уменьшающимся диаметром. Листы в головках зубцов свариваются, а иногда производится склейка их клеем БФ-2.

Пакет сердечника якоря спрессовывается и зажимается обмоткодержателями. Задний обмоткодержатель отливается вместе со втулкой, или, чаще, отдельно и сажается на втулку прессовой или горячей посадкой. Передний обмоткодержатель сажается прессовой посадкой, материал обмоткодержателей — стальное литье типа 25Л ГОСТ 977—53.

Величины натягов и давлений при запрессовках даны в табл. 4.

К о л л е к т о р. Тип коллекторов всех машин — арочный.

Материал коллекторных пластин — твёрдотяннутая коллекторная медь марки М1 ГОСТ 859—41 со следующими механическими свойствами.

Предел текучести не ниже	30 кг/мм^2
Относительное удлинение не ниже	5%
Твёрдость по Бринеллю не ниже	76

Допускаемые отклонения от номинальных размеров профиля коллекторной меди регламентируются ГОСТ 3568—47. При работе коллектор должен выдерживать без остаточных деформаций напряжение на изгиб до 1 300 кг/см^2 .

Изоляция между коллекторными пластинами — специальный твёрдый коллекторный миканит КФ-1 ГОСТ 2196—54, содержащий не более 2—3% склеивающих веществ. При давлении 300 кг/см^2 не должно быть никакой усадки, при температуре 20°С и повышении давления до 600 кг/см^2 усадка не должна быть более 7%. Для двигателей с кремнеорганической изоляцией применяется коллекторный миканит на омофосе КФА. Разница в толщине отдельных мест изоляционных пла-

сгни не должна быть более 0,05 мм. Боковые грани пластин фрезеруются.

Изоляционные манжеты (конусы) формируются из миканита толщиной 0,2 мм ФМ2А ГОСТ 6122—52 в пресс-формах под высоким давлением. Содержание клеящих веществ в изготовленной манжете не должно превышать 8—10%. Усадка при испытании под давлением 350 кг/см² и температуре 200°C не должна превышать 15%. В машинах с кремнеорганической изоляцией применяется формовочный миканит на лаке К-40. Изоляционные цилиндры, помещающиеся между коллекторными пластинами и коробкой коллектора, изготавливаются из формовочного прессованного миканита ФФ2 ГОСТ 6122—52, а в машинах с кремнеорганической изоляцией — из формовочного миканита на лаке К-40.

Коллекторные пластины спрессовываются стальными зажимными конусами, обрамлёнными миканитовыми манжетами. Давления запрессовки и натяги при посадке зажимного конуса (шайбы) на коробку коллектора даны в табл. 4.

В таком зажатом состоянии коллекторы фиксируются болтами.

Болты выполняются из углеродистой стали (сталь 45) ГОСТ 1050—52 с термической обработкой. Она должна обладать следующими механическими свойствами: предел прочности на растяжение не ниже 70 кг/мм², предел текучести при растяжении не менее 45 кг/мм², относительное удлинение не менее 18%. Головки болтов круглые со шлицем. Под головки их заложены шайбы из красной меди с отбортовкой на тело болта, предохраняющие болты от отвёртывания и уплотняющие места ввода болтов в коробку коллектора.

В двигателях типов ДПЭ-340, ДПЭ-340А и ДПЭ-400А и Б коробка коллектора напрессована на оттянутую часть переднего обмоткодержателя. В двигателях типа НБ-406А и Б задний зажимной конус коллектора совмещён в единой детали с передним обмоткодержателем якоря.

В двигателях типов ДПИ-150, ДК-103А и Г и ДМП-151 коробка коллектора сажается на втулку, а в ДК-102В, Г, Д и ДК-104А, Б, Г — непосредственно на вал.

Давления запрессовки и натяги приведены в табл. 4.

Коллекторная коробка насаживается на шпонку, но последняя является лишь направляющей, координирующей положение пластин коллектора относительно пазов сердечника якоря.

Основные размеры окончательно обработанного коллектора и глубина продорожки миканита для двигателей отдельных типов даны в табл. 4.

Обмотка якоря выполняется из прямоугольной обмоточной меди (ГОСТ 434—41). Изоляция класса В. Тип обмотки: у двигателей типов ДПИ-150, ДПИ-152, ДК-103А и Г, ДПЭ-340, ДПЭ-340А, ДПЭ-400А и Б, ДМП-151, ДК-104А, Б и Г, — волновая, у двигателей типов НБ-406А и Б, ДК-3А и ДК-102Д — петлевая с уравнительными соединениями.

У двигателей типов ДПЭ-340, ДПЭ-340А, ДПЭ-400А и Б обмотка транспозированная,

ступенчатая, выполненная из полусекций с последующей сваркой головок серебряным припоем.

У двигателей типа ДМП-151 — ступенчатая, разрезная, но без транспозиции.

У двигателей типов ДПИ-150, ДПИ-152, ДК-103А, Г и НБ-406А и Б — равносекционная, без транспозиции, причём у машины типа НБ-406А и Б шина обмотки по высоте подразделена на две.

Размеры обмоточной меди двигателей приведены в табл. 2, а схемы обмоток, конструкция и изоляция секций — на фиг. 12, 25, 36, 43, 50, 62, 70, 76 и 87.

В транспозированной обмотке каждый проводник выполняется из двух параллельных шин. Последние выштамповываются и перегибаются, как указано на фиг. 12, у секций обмотки якоря двигателей типов ДПЭ-400А, Б и на фиг. 25 — для двигателей типов ДПЭ-340 и ДПЭ-340А. В прорези шинок закладывается миканитовая лента толщиной 0,075 мм.

Уравнительное соединение обмотки якоря двигателя типа ДК-102Д приведено на фиг. 78, а двигателя типа НБ-406А и Б — на фиг. 37.

В петушки коллектора концы секций впиваются сплавом ПОС-61, температура плавления которого 182°. Шлицы коллекторных пластин предварительно облуживаются припоем ПОС-30 или ПОС-40. При кремнеорганической изоляции класса СВ для пайки проводов в шлицы коллекторных пластин применяется свинцовосурьмянистый припой ПОСС-5-3, имеющий температуру начала и конца затвердевания 230—270°C, или твёрдый припой типа ПМФ.

Разрезные секции имеют паяные головки. Концы полусекций соединяются медными скобками и припаиваются припоем, содержащим 30% меди, 25% цинка и 45% серебра. Температура пайки 750—820°.

Пайку производят также припоем из фосфористой меди, состоящей из 92,5—93% меди и 7—7,5% фосфора. У двигателей типа ДК-103Г на петушки коллектора в месте входа в них стержней обмотки (см. фиг. 49) наложен чехол из сурового полотна, укрепленный верёвочным биндажом и покрытый эмалью. Назначение его — предохранить эту полость обмотки от загрязнения.

Конструкция изоляции на обмоткодержателях под лобовыми частями обмотки якоря указана на фиг. 11, 24, 35, 49, 61, 69, 74 и 88. Для разгрузки шинок обмотки от изгибающих усилий от натяга биндажей и для предотвращения возможности их вибраций, что приводит к обрывам обмотки, провода ее должны быть жёстко закреплены на обмоткодержателе. Для возможности такого крепления биндажами изоляционная подложка под лобовыми соединениями должна быть возможно жёстче.

Наиболее удачным решением является конструкция этого узла у двигателя ДК-103Г (см. фиг. 49), где подложка выполнена не листами миканита, а отформованными под высоким давлением конусными полукольцами. Такими же жёсткими выполнены здесь и полуцилиндры межслойной изоляции.

У двигателей типов НБ-406А и Б, ДПИ-150, ДПИ-152, ДК-103А и Г, ДК-102В, Г и Д,

ДК-104А, Б и Г, обмотка якоря которых выполнена неразрезной (со сплошными головками), задний обмоткодержатель и изоляционный покров на нём сплошной (см. фиг. 35, 49, 61, 74, 88).

У двигателей типов ДПЭ-340, ДПЭ-340А, ДПЭ-400А и Б, ДМП-151, обмотка которых выполнена из полусекций с последующей сваркой головок, задний обмоткодержатель имеет съёмный стальной и миканитовый фланцы.

У двигателя типа ДК-3А, обмотка которого разрезная, а также у двигателя типа ДК-104, обмотка которого выполнена с цельными головками, фланцев нет и головки обмоток защищаются только чехлом из сурового полотна (см. фиг. 45 и 88).

Изоляция секций обмотки на выходах из пазов сердечника якоря усиливается U-образными скобочками из гибкого миканита.

Обмотка якоря в пазах крепится у двигателей типов ДПЭ-400А и Б, ДПЭ-340 и ДПЭ-340А, ДК-3А, ДПИ-150, ДМП-151, ДК-102В, Г и Д, ДК-104А, В и Г бандажми, у двигателей типов НБ-406А и Б и ДК-103А и Г — клиньями.

Лобовые части обмоток у всех машин крепятся бандажми. Когда это возможно, бандажки выполняются однослойными. Часто, однако, приходится прибегать к двуслойным бандажам. Примерами такого исполнения бандажей могут служить двигатели типов ДПЭ-400А и Б, НБ-406А и Б, ДК-3А (см. фиг. 11, 35).

Бандажки скрепляются скобочками из белой жести и пропаиваются чистым оловом, а в случае применения кремнеорганической изоляции (класс СВ) — свинцово-сурьмянистым припоем ПОСС-5-3.

В качестве бандажной проволоки (ОСТ 20021) применяется проволока из стали 65Г ГОСТ 1050—52 со следующими механическими свойствами:

Предел прочности 160—180 кг/мм²

Предел текучести 130—160 »

Материал клиньев двигателей типов ДК-103А и Г — текстолит (ГОСТ 2910), для НБ-406А и Б — гетинакс (ГОСТ 2518—50) на машинах первого электровоза и текстолит на последующих.

Размеры бандажей и их конструкция на сердечнике якоря и на лобовых частях обмотки приведены на фиг. 11, 24, 35, 49, 61, 69, 74 и 88.

Диаметр бандажной проволоки для электровозных и моторвагонных двигателей — 2,0—2,5 мм, натяжение при бандажировке 190—210 кг (создающее в бандажной проволоке напряжение 65—75 кг/мм², т. е. двойной запас по отношению к пределу текучести бандажной проволоки согласно ГОСТ 20021).

Под бандажми изоляция из электрокартона и гибкого миканита.

Бандажки на передних лобовых частях обмотки, расположенные у петушков коллектора, закрываются полотняным чехлом.

Щёткодержатели

Щёткодержатели железнодорожных тяговых двигателей состоят из кронштейна, крепящегося к остову двигателя на пальцах

через изоляционные детали, и корпуса щёткодержателя, несущего щётки.

Кронштейн щёткодержателя — стальная отливка с двумя цилиндрическими выточками, в которых размещаются пальцы с изоляцией.

Стенки выточек выкладываются лепестками слюды. Слой слюды должен быть совершенно равномерен по толщине и заложен в перекрышу. Дно закладывается слюдяными шайбами. В отверстия вводятся стальные направляющие полугильзы и после прогрева впрессовываются стальные пальцы под давлением 13—16 т.

После запрессовки торцы пальцев обрабатываются, пальцы высверливаются (по кондуктору) и в них нарезается резьба для болтов, крепящих кронштейн к остову двигателя. Болты эти изготавливаются из качественной стали марки 45 ГОСТ 1050—52 с термообработкой для получения предела прочности материала не ниже 70 кг/мм².

На выступающий конец пальца надевается миканитовая втулка, а поверх её на шеллаке — фарфоровый изолятор (фиг. 13, 40, 54, 65, 80 и 92).

Для защиты миканита и слюды, находящихся под изоляторами, от влаги торцы миканитовых втулок заливается компаундной массой.

Корпус щёткодержателя отливается обычно из бронзы составом: меди — 87,7%, цинка — 3,1%, олова — 9,2%; иногда выполняется из латуни ЛК80-3Л ГОСТ 1019—47, имеющей предел прочности не менее 25 кг/мм² при относительном удлинении ≥ 10%. Отливка должна быть плотной, без раковин.

Корпус щёткодержателя должен быть лёгким, но вместе с тем жёстким и прочным. Отверстия окон под щётку в корпусе щёткодержателя делаются (по ширине) с допуском + 0,1 мм. Гнездо щёток должно точно фиксироваться относительно привалочной поверхности корпуса к кронштейну.

Число щёток в гнезде 2 или 3 (см. табл. 2).

Давление на щётку осуществляется нажимными пальцами при помощи плоских спиральных пружин, регулировка нажатия которых производится соответствующей их закруткой. Спиральные пружины щёткодержателей изготавливаются обычно из стали У8А ГОСТ 1435—54 с термообработкой после навивки до твёрдости по Роквеллу 47—48. (Величины давлений на щётку для отдельных типов двигателей см. табл. 4.) Удельное давление щёток на коллектор для двигателей опорно-осевого исполнения должно быть порядка 0,45—0,55 кг/см², а для опорно-рамных двигателей — 0,35 кг/см².

Для регулировки давления имеются специальные храповички с защёлками (см., например, щёткодержатели двигателей типа ДПЭ-400А и Б, фиг. 13) или конец пружины управляется в продольный прорез валика, который через шлицы, имеющиеся на его торцах, может при помощи отвёртки проворачиваться в отверстиях боковых стенок корпуса щёткодержателя и фиксироваться в нужном положении шплинтом, для чего в валике и в приливах боковых стенок корпуса имеются отверстия (см., например, щёткодержатель

двигателя типа ДК-103Г — фиг. 54 и НБ-406А — фиг. 40). Чтобы пружина от нагрева током не отпускаясь, она снабжается специальным токоведущим шуитом.

Корпус крепится к кронштейну одним болтом.

Привалочные поверхности кронштейна и корпуса щеткодержателей делаются рифлёными (зубчатыми). Отверстия для болта в корпусе щеткодержателя выполняются овальными, позволяющими менять расстояние от нижней кромки корпуса щеткодержателя до рабочей поверхности коллектора.

У щеткодержателей двигателей типов НБ-406А и Б, ДПЭ-340 и ДПЭ-340А, ДПЭ-400А и Б, ДПИ-150 и ДПИ-152 обойма корпуса, где помещаются щётки, располагается на сравнительно большой консоли по отношению к месту крепления (см., например, фиг. 13).

У щеткодержателей двигателей типов ДК-103А и Г, ДМП-151, ДК-102 и ДК-104 всех индексов конструкция корпуса щеткодержателя такова (см. фиг. 80), что место расположения щёток приближено к месту крепления щеткодержателя, что существенно снижает вибрации щёточного устройства.

Следует отметить рационализацию в конструкции корпуса щеткодержателя двигателя типа НБ-406А и Б, заключающуюся в существенном утолщении боковых его стенок в местах, сопрягающихся со спинкой, несущей привалочную к кронштейну поверхность. Это продиктовано опытом эксплуатации электровозных двигателей типа ДПЭ-340, так как в этих местах нередко появлялись трещины.

Щётки

В тяговых электродвигателях постоянного тока применяются угольно-графитовые щётки марок ЭГ-2, ЭГ-2А и ЭГ-14 (ГОСТ 2332—43), основные технические данные которых приведены в табл. 5.

Таблица 5

Основные технические данные угольно-графитовых щёток

Технические данные	Размерность	Тип щётки	
		ЭГ-2	ЭГ-14
Удельное сопротивление	ом · мм ²	20—30	26—38
Твёрдость по Шору . . .	М	46—60	40—60
Номинальная плотность тока	а/см ²	10	10—11
Максимальная окружная скорость	м/сек	25	40
Удельное нажатие . . .	г/см ²	200—250	200—400
Переходное падение напряжения на пару щёток при номинальном токе и скорости 15 м/сек	в	2,7±0,6	2,5±0,5
Коэффициент трения при скорости 15 м/сек не более	—	0,20	0,25
Износ за 50 час. работы при скорости 15 м/сек и давлении 220 г/см ² не более	мм	0,1	0,15

Размеры щёток, давления на них, а равно зазоры при размещении их в обоймах щеткодержателей двигателей отдельных типов см. табл. 2 и 4.

Вентиляция тяговых двигателей

Все электровозные двигатели имеют независимую параллельную вентиляцию.

Направление воздуха: от коллектора — к противоположной стороне. Исключение составляет двигатель типа GDTM-655, у которого направление воздуха обратное.

Количество охлаждающего воздуха в отдельных машинах приведено в табл. 2.

Все моторвагонные двигатели самовентилирующиеся с параллельным потоком воздуха от коллектора к противоположной стороне.

Исключением является двигатель типа ДК-100А, вентиляция у которого последовательная.

Вентилятор в самовентилирующихся машинах располагается на стороне, противоположной коллектору.

У двигателей типов ДПИ-150 и ДПИ-152, ДК-103А и Г, ДМП-150 и ДМП-151 венец вентилятора насаживается на задний обмоткодержатель. Посадка производится в нагретом состоянии с натягом, величины которого приведены в табл. 4, и последующей фиксацией болтами.

Материал вентиляторов — силумин или сталь.

У двигателей типов ДК-102 и ДК-104 всех модификаций вентиляторы литейные, стальные, насаженные на вал прессовой посадкой с натягом 0,03—0,09 мм (см. фиг. 73 и 83).

У некоторых двигателей (например типа ДК-103Г) фиксация венца вентилятора болтами заменяется приваркой.

ОСОБЕННОСТИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ОТДЕЛЬНЫХ ТИПОВ

Почти все типы тяговых двигателей со временем в той или иной части модернизировались. При модернизации в обозначение типа двигателя вводилась та или иная буква (А, Б, В, Г, И и пр.).

Ниже приводится краткая характеристика модификаций отдельных типов двигателей, а также описание тех из них, применение которых ограничено, но в то же время они имеют те или иные интересные специфические особенности.

Двигатели типов ДПЭ-340 и ДПЭ-340А. Электрическая часть этих машин одинакова, разница только в месте расположения люка для подвода воздуха.

У двигателя ДПЭ-340 этот люк сбоку, со стороны поперечной балки тележки, у ДПЭ-340А — сверху (подвод воздуха через гибкий патрубок).

Двигатели типов ДПЭ-400А и ДПЭ-400Б разнятся также только местом расположения отверстия, через которое подается в машину охлаждающий воздух. У двигателей типа ДПЭ-400А оно в боковой грани остова (как и у ДПЭ-340), а у ДПЭ-400Б — в верхней (как у двигателя типа ДПЭ-340А).

Двигатель типа НБ-406А и Б. Двигателями типа НБ-406А и Б оборудованы восьмиосные грузовые электровозы серии Н8, опытные экземпляры которых уже изготовлены и прошли первые испытания.

В настоящем справочнике приведены данные двигателя типа НБ-406А в том виде, в каком он был выполнен для опытной партии электровозов.

Характерным для этого наиболее мощного электровозного двигателя является следующее.

1. Петлевая обмотка якоря с уравнительными соединениями на стороне коллектора.

2. Обмотка якоря равносекционная с цельными головками, выполненная из шинной меди, разделённой по высоте на две части.

3. Крепление обмотки в пазах якоря выполнено клиньями из гетинакса на двигателях первого электровоза и из текстолита на последующих.

4. На этой машине впервые применена такая конструкция коробки коллектора, при которой задний нажимной конус её совмещён в единой детали с передним обмоткодержателем якоря (см. фиг. 26 и 35).

5. Посадка втулки якоря на вал беспыночная.

6. Применена оправдавшая себя конструкция подшипниковых узлов якоря, при которой один роликовый подшипник радиальный (на стороне, противоположной коллектору), а другой радиально-упорный с двухбортовым наружным кольцом и внутренним однобортовым, с запорной шайбой (на стороне коллектора).

7. Якорные подшипниковые камеры выполнены со съёмными как наружными крышками, так и с внутренними элементами, несущими в себе уплотняющие устройства (см. фиг. 26).

8. Бронзовые угольники дополнительных полюсов, образующие опорные полочки, имеют на стенках, стыкующихся с боковыми поверхностями сердечника полюса, выступы, входящие в соответствующие пазы сердечника, что разгружает заклёпки, стягивающие угольники от срезающих усилий.

9. Так как при испытании первых двигателей катушки дополнительных полюсов оказались недостаточно использованными в тепловом отношении, у последующих машин сечение меди этих катушек уменьшено с $4,4 \times 3,2$ на $4,4 \times 2,8$ мм.

10. У двигателей этого типа конструкция моторно-осевых подшипников обеспечивает возможность вывода зубчатой передачи из зацепления (см. фиг. 26). Для этого болты, крепящие шапку моторно-осевого подшипника, сделаны удлиненными. Вкладыши со стороны, обращённой к остову, снабжаются специальными ушками с нарезанными отверстиями, в которые ввёртываются болты, притягивающие вкладыши подшипника к шапке.

Для выведения зубчатых колёс из зацепления болты, крепящие шапку к остову, отвёртываются, шапки вместе с вкладышами оттягиваются от остова при помощи специальных отжимных болтов, для которых в шапках имеются специальные резьбовые отверстия. В зазор, образовавшийся между привалочными отверстиями шапки и остова, устанавливаются дистанционные прокладки размером, обеспечивающим полное разобщение зубчатых колёс, после чего основные болты, крепящие шапки, вновь затягиваются.

11. Двигатели этого типа при выпуске с завода снабжаются снегозащитными кожухами, устанавливаемыми на торцовых частях

двигателей со стороны выхода из машины охлаждающего воздуха. Вид такого снегозащитного кожуха приведён на фиг. 29.

12. В данном двигателе существенно улучшены его электрохимические характеристики. Машина позволяет реализовать в области больших скоростей значительно большие, чем обычно, тяговые усилия.

Это достигнуто тем, что отдельные элементы магнитной системы машины насыщены несколько менее обычного (например индукция в зубцах якоря при часовом режиме $B_{z1} = 22\ 800$ гс).

3. Существенное улучшение характеристик обусловлено и несколько большим, чем у двигателей предыдущих типов, воздушным зазором машины.

Но не только этим объясняется указанное улучшение.

Очень большое значение имеет и то, что у двигателя ослабление поля доведено до 36%, в то время как у двигателей типов ДПЭ-340, ДПЭ-400 и ДК-3А эта величина достигала лишь 50%.

13. Двигатель типа НБ-406Б отличается от НБ-406А только некоторым изменением подшипниковых узлов, вызванным тем, что зубчатая передача у этих машин косозубая. Во всём остальном они совершенно идентичны.

Двигатель типа GDTM-655 применён на электровозах серии С^н.

Основные параметры и конструктивные данные этой машины приведены в табл. 1 и 2, а продольный разрез её — на фиг. 41.

Особенностями этого двигателя являются:

а) использование петлевой обмотки с уравнителями на стороне, противоположной коллектору;

б) обратный ход вентилирующего воздуха (не от коллектора к противоположной стороне машины, а в обратном направлении);

в) независимое крепление катушек главных полюсов (см. фиг. 42). Катушки крепятся при помощи специальных скоб непосредственно к остову двигателя, независимо от сердечника полюса;

г) несимметричность секций якорной обмотки (см. фиг. 43), что позволяет иметь щётки, расположенные не по горизонтали и вертикали, а несколько смещёнными, благодаря чему к ним более лёгок доступ через смотровые люки двигателя.

Двигатель типа ДК-3А имеет по сравнению с остальными машинами следующие особенности:

1) при длине сердечника якоря $l_y = 400$ мм в нём полностью использован габарит в осевом направлении машины;

2) обмотка якоря петлевая с уравнительными соединениями, расположенными на стороне, противоположной коллектору;

3) головки секций закрыты не стальной шайбой, а чехлами;

4) подшипники роликовые, причём один чисто радиальный, а второй — радиально-упорный, с двухбортовым наружным кольцом. Оригинальна конструкция упорной гайки внутреннего кольца, навёртывающейся на специальную втулку, напрессованную на вал (см. фиг. 45).

Машинами этого типа оборудован один электровоз серии СКУ.

Основные параметры и конструктивные данные этого двигателя приведены в табл. 1 и 2, а общий вид — на фиг. 45.

Двигатель типа ДСЭ-680/2 пассажирского электровоза серии ПБ-21-01, выпущенный в 1934 г.

Общий вид двигателя приведён на фиг. 44. Двигатель этот двоярный. Каждая из машин его повторяет в электрической части двигатель типа ДПЭ-340.

Кроме того, особенностью двигателя этого типа является установка его на раме электровоза и передача с полкой осью.

Остов машины ДСЭ-680/2 состоит из двух отливок, соединённых болтами на продольных шпонках. По бокам остова, в нижней его части, имеются по две лапы, которыми он опирается на перекладки, крепящиеся на выступающих поперечных кронштейнах литых балок рамы электровоза.

Главные полюса, расположенные около внутренних, соединённых болтами, стенок, крепятся к остову болтами, головки которых расположены со стороны якоря. Головки болтов утоплены в тело сердечников полюсов.

Подшипниковые щиты имеют несколько иную, сравнительно с двигателями ДПЭ-340 и ДПЭ-340А, конструкцию в связи с иной системой привода.

В остальном двигатель типа ДСЭ-680/2 идентичен с ДПЭ-340 и ДПЭ-340А.

Двигатель типа ДК-1А имеет одинаковые габариты и большинство общих деталей с двигателями типа ДПЭ-340 и ДПЭ-340А.

Основная его особенность — рабочее напряжение на коллекторе $U_{\partial} = 750$ в при напряжении в сети $U_c = 1500$ в. Часовая мощность $P_{\partial} = 320$ квт, $I_{\partial} = 475$ а и $n_{\partial} = 645$ об/мин. Вес 4230 кг.

Конструктивная особенность его заключается в том, что обмотка якоря смешанного типа (лягушачья). Распространения этот двигатель не получил в связи с созданием электровоза на два напряжения.

Двигатель типа ДК-5А является модификацией двигателя ДПЭ-340А.

Принципиальное отличие его состоит в том, что обмотка якоря выполнена из неразрезных секций и без трансформации. Задняя шайба якоря без съёмного фланца, опрессованная формовочным миканитом. Отказ от трансформации снизил мощность на 20 квт и машина имеет данные:

$P_{\partial} = 320$ квт, $I_{\partial} = 232$ а, $n_{\partial} = 620$ об/мин, $P_{\infty} = 280$ квт, $I_{\infty} = 206$ а, $n_{\infty} = 655$ об/мин. Обмотка якоря выполнена в два параллельных проводника $2(1,45 \times 8)$ мм.

Механическая часть в основном такая же, как и у двигателя типа ДПЭ-340А.

Двигатели этого типа, как опытные, были установлены на электровозе ВЛ19-129.

Двигатели типов ДК-103А, ДК-103В и ДК-103Г. Двигатель типа ДК-103В отличается от ДК-103А только тем, что у него диаметр коллектора увеличен с 380 до 400 мм.

Двигатель типа ДК-103Г модернизирован по сравнению с ДК-103А наиболее существенно.

Эти модернизационные мероприятия свелись к следующему.

1. Коробка коллектора изменена так, что зажимной конус коллектора расположен с открытой части коллектора, а не со стороны сердечника якоря, как это имеет место у двигателя типа ДК-103А.

2. Существенно уплотнена обмотка якоря в пазовой части и на переднем обмоткодержателе. Это достигнуто следующим образом:

а) под передние лобовые части обмотки закладывается не листовая миканит, а формованные конусные полукольца (см. фиг. 49);

б) поверхность этой изоляции выравнивается с дном пазов якоря;

в) между слоями передней лобовой части обмотки закладывается также прессованная изоляция в виде прессованных полуцилиндров;

г) дно шлица в коллекторных пластинах ниже нижней кромки меди обмотки на 1 мм;

д) изоляция передних лобовых частей обмотки усилена $1\frac{1}{2}$ слоями (миканит толщиной 0,13 мм);

е) кроме того, верхний слой секций получает дополнительную обмотку одного слоя тафтяной ленты;

ж) зазоры между секциями, в месте подхода к петушкам коллектора, заполняются кремнеорганической замазкой;

з) к средней прокладке между секциями в пазу добавлен миканит толщиной 1 мм;

и) уплотняющая прокладка под клином заменена с электрокартонной на текстолитовую толщиной 0,5 мм и миканитовую толщиной 0,5 мм;

к) введена опрессовка секций.

3. Введена вакуумно-нагнетательная пропитка якоря.

4. Щёткодержатель изменён следующим образом:

а) материал корпуса — бронза заменена на латунь;

б) корпус усилен;

в) пружинам придана фиксирующая обойма.

5. Болтовое крепление вентилятора к заднему обмоткодержателю заменено приваркой.

Двигатели типов ДПИ-150 и ДПИ-152. Электрическая часть этих машин одна и та же.

Разница в конфигурации остова и конструкции шапок моторно-осевых подшипников.

Остов двигателя типа ДПИ-152 в отличие от двигателя типа ДПИ-150 имеет на стороне привода прямоугольное сечение и большие размеры верхнего коллекторного люка (245×345 мм вместо 180×330 мм).

Кроме того, усилена нижняя часть остова у горловины под моторно-осевые подшипники, где у двигателя типа ДПИ-150 наблюдалось появление трещин.

Моторно-осевые подшипники двигателей ДПИ-150 с фитильной смазкой, а у двигателей ДПИ-152 — с постоянным уровнем смазки.

Двигатель последнего типа выпущено весьма ограниченное количество.

Двигатели типа ДК-102 А, Б, В, Г и Д. Первоначально эта машина была спроектирована с волновой обмоткой (ДК-102А и Б, не вошедшие в употребление).

После заводских стендовых испытаний перешли к конструкции со смешанной обмоткой (лягушачьей) — типы ДК-102В и ДК-102Г.

Разница между этими типами двигателей в размерах сечения меди катушек главных полюсов (см. табл. 2).

В связи с частыми обрывами шинок якорной обмотки двигатели названных типов постепенно переделываются с заменой обмотки смешанного типа на петлевую обмотку (без уравнивательных соединений).

Двигатели ДК-102В и Г могут считаться промежуточными типами. Количество этих двигателей в эксплуатации сравнительно невелико.

Серийной машиной является двигатель ДК-102Д. Основное его отличие от машин предыдущих типов — петлевая обмотка якоря с уравнивательными соединениями.

Кроме того, у него несколько увеличены размеры пазов якоря, развита посадочная поверхность вентилятора, изменена конструкция замков крышек. Характеристики этого двигателя приведены на фиг. 81.

Двигатели типов ДК-104А, Б и Г. Электрическая часть двигателей типа ДК-104

всех модификаций совершенно одинакова; разница только в механической части.

Двигатель ДК-104А отличается тем, что:
а) подшипник со стороны, противоположной коллектору, двухрядный шариковый;
б) подвеска двигателя осуществляется креплением его к балочкам, опёртым на тележку, при помощи лап с горизонтальными опорными поверхностями (см. фиг. 84).

Двигатель ДК-104Б отличается от предыдущего типа тем, что подвешивается консольно на поперечную балку тележки (см. поперечный разрез этой машины на фиг. 85).

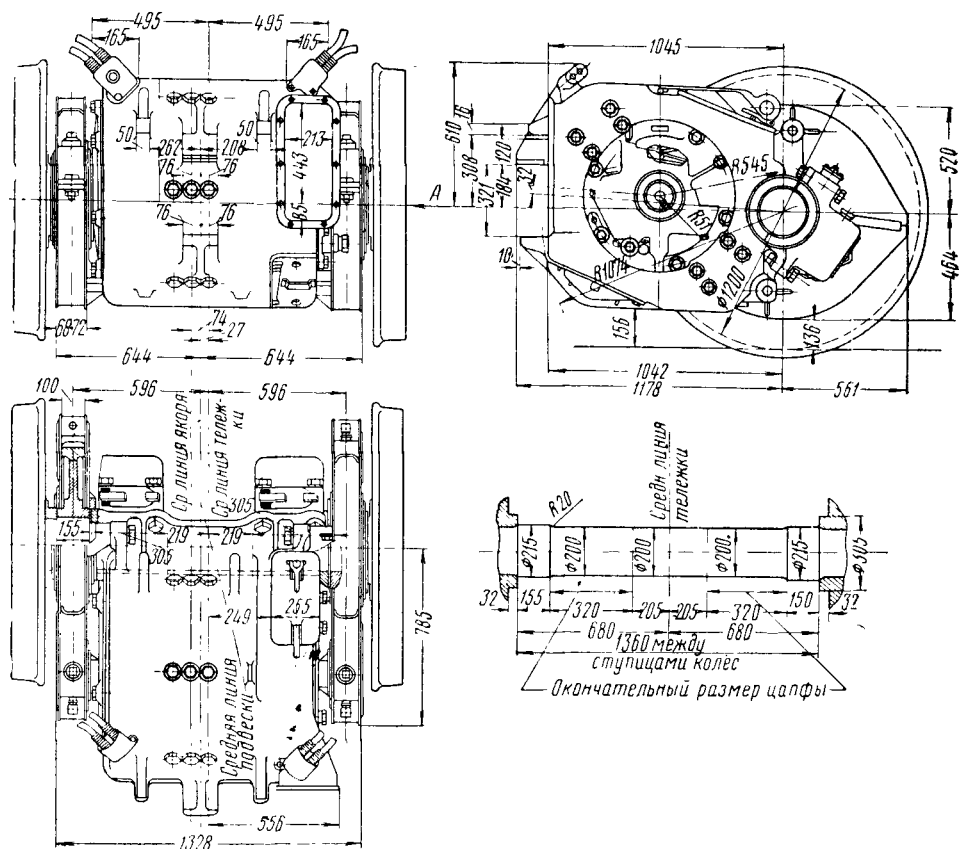
Двигатель ДК-104Г отличается от предыдущих следующим:

а) подшипник на стороне коллектора заменён с двухрядного шарикового на однорядный роликовый типа 32613Ж;

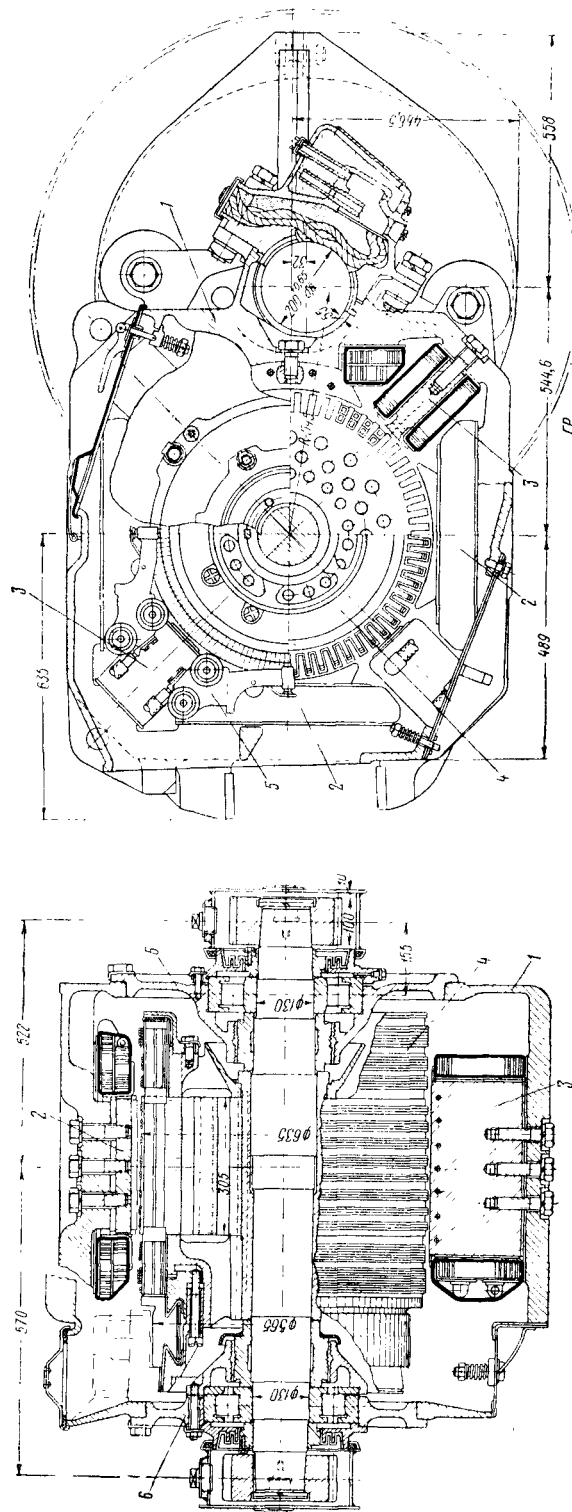
б) подвешивание, как и двигателя ДК-104Б, консольное, на поперечной балке тележки, но с изменённым расположением опорных кронштейнов (см. фиг. 83), что упрощает обработку последних;

в) увеличены размеры коллекторных люков.

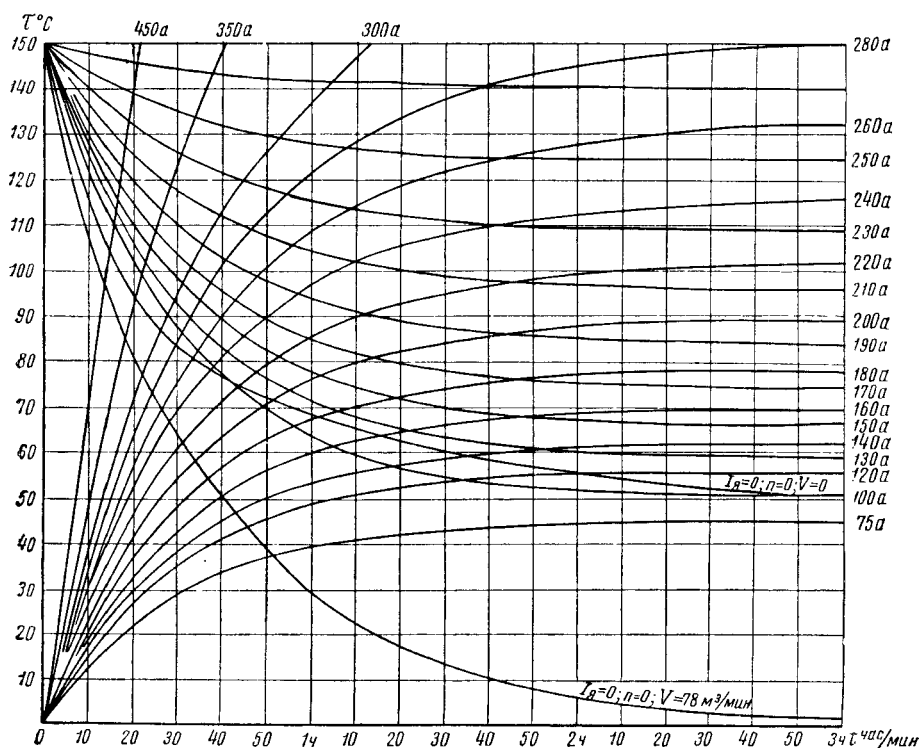
ЧЕРТЕЖИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТИПОВ ДПЭ-400А, ДПЭ-400Б, ДПЭ-340 и ДПЭ-340А



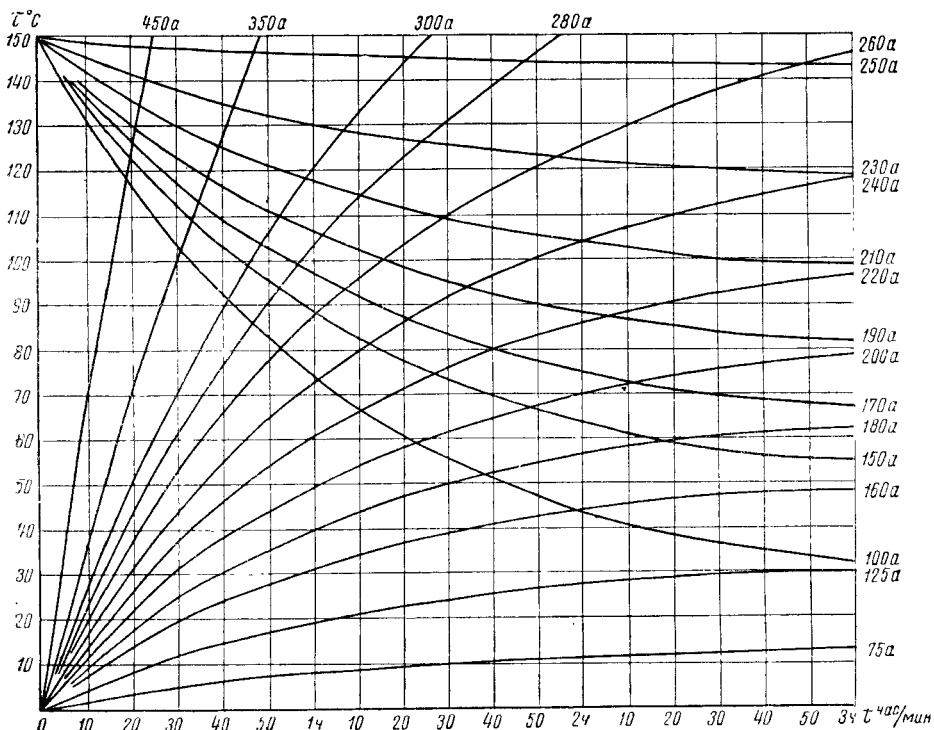
Фиг. 1. Габаритные размеры двигателей типов ДПЭ-340 и ДПЭ-400А и расположение их на оси колёсных пар



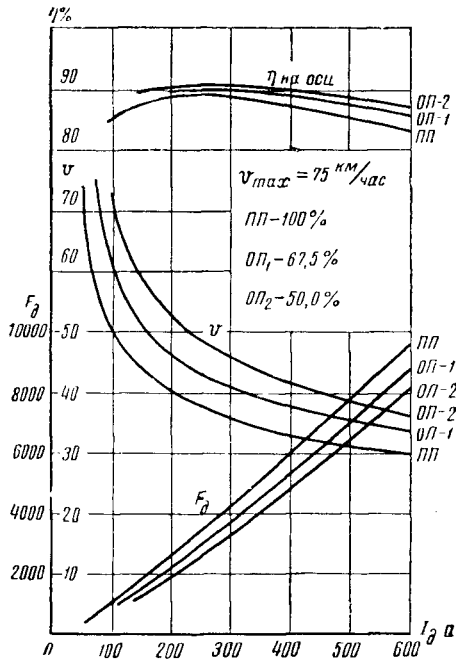
Фиг. 2. Продольный и поперечный разрезы тягового двигателя типа ДПЭ-400А: 1 — осто́в; 2 — главные полюсы; 3 — добавочные полюсы; 4 — якорь; 5 — щёткодержатели; 6 — подшипниковые щиты



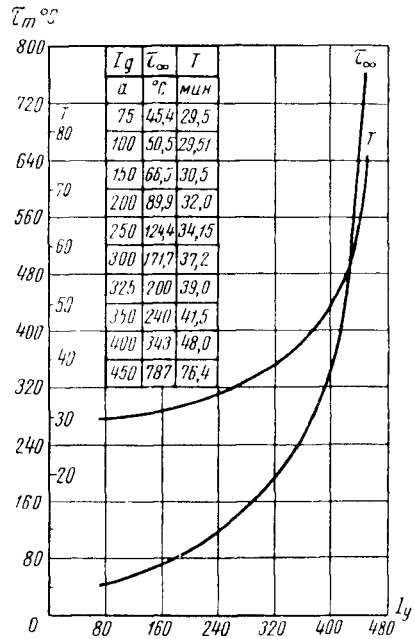
Фиг. 3. Кривые нагревания и охлаждения двигателей типов ДПЭ-400А и ДПЭ-400Б (для обмотки якоря по методу сопротивления) при полном поле $U_{\partial} = 1\,500$ в и $V = 78$ м³/мин охлаждающего воздуха



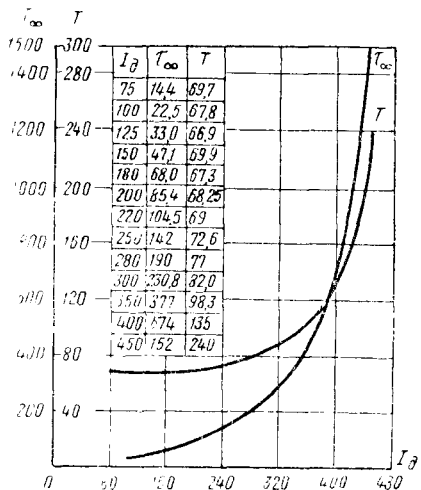
Фиг. 4. Кривые нагревания и охлаждения двигателей типов ДПЭ-400А и ДПЭ-400Б (для катушек главных полюсов по методу сопротивления) при полном поле $U_{\partial} = 1\,500$ в, $V = 78$ м³/мин охлаждающего воздуха



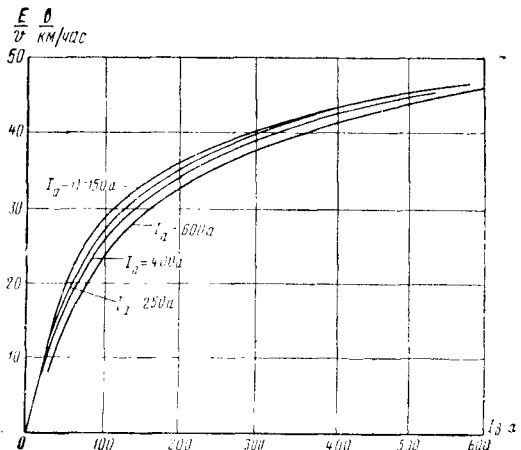
Фиг. 5. Электромеханические характеристики тягового двигателя типа ДПЭ-400А на обод колеса электровоза серии ВЛ22М при $D_{ок} = 1\,200 \text{ мм}$, $U_d = 1\,500 \text{ в}$ и $\rho = 4,45$



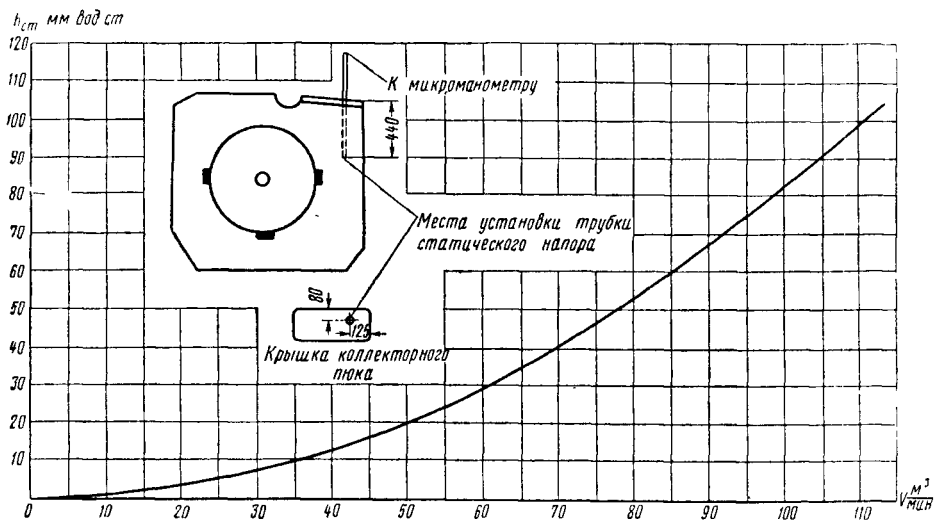
Фиг. 6. Тепловые параметры двигателей типов ДПЭ-400А и ДПЭ-400Б (для обмотки якоря) при полном поле $U_d = 1\,500 \text{ в}$, $V = 78 \text{ м}^3/\text{мин}$ охлаждающего воздуха



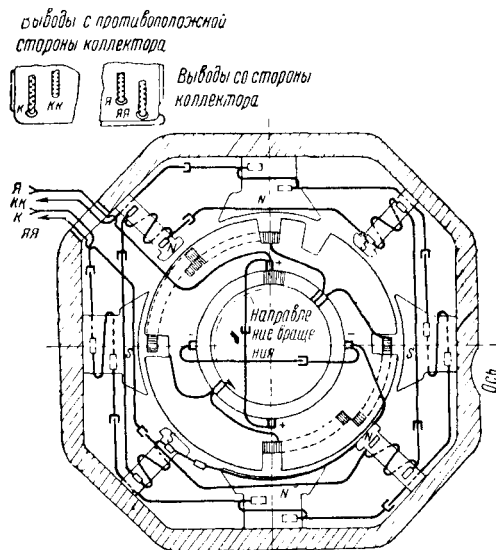
Фиг. 7. Тепловые параметры двигателей типов ДПЭ-400А и ДПЭ-400Б (для катушек главных полюсов) при полном поле $U_d = 1\,500 \text{ в}$, $V = 78 \text{ м}^3/\text{мин}$ охлаждающего воздуха



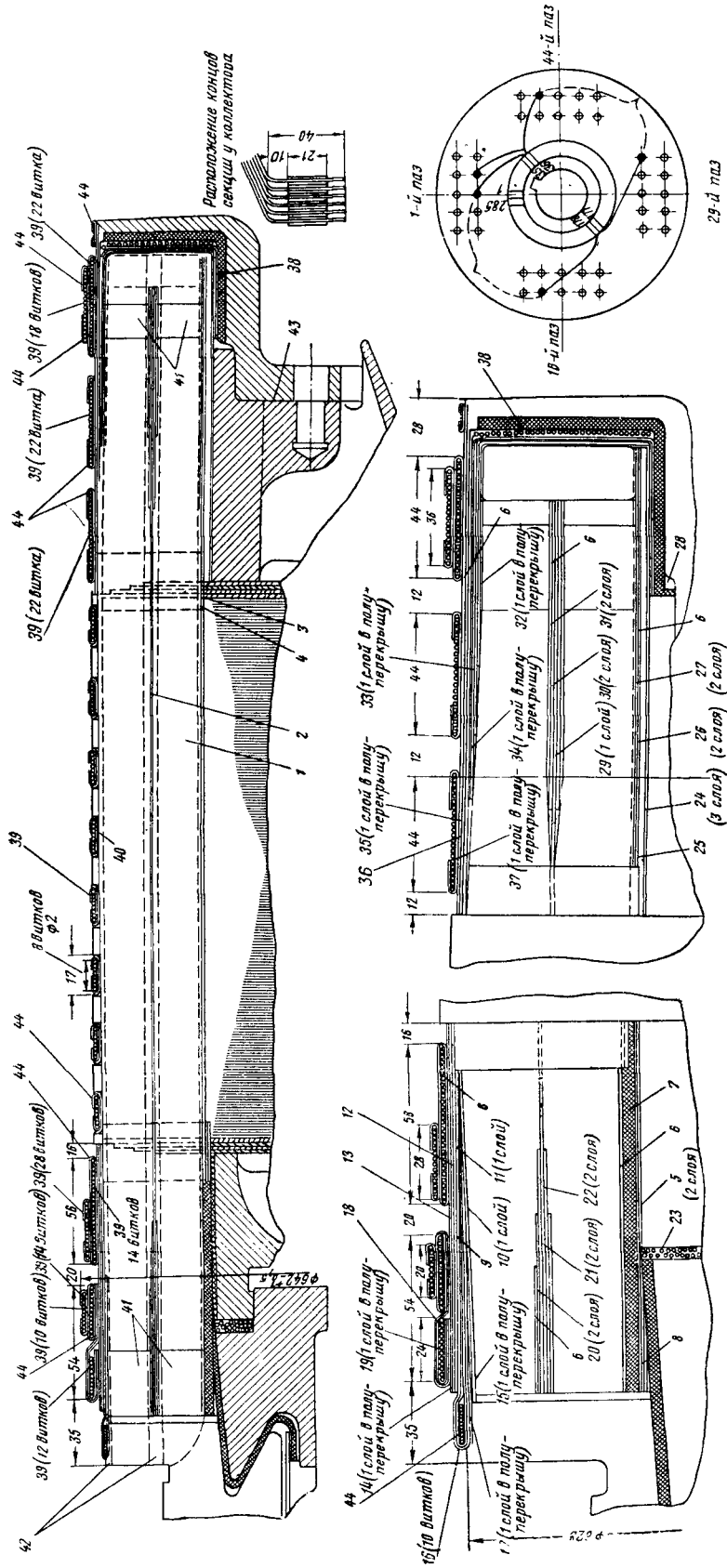
Фиг. 8. Нагрузочные характеристики тяговых электродвигателей типов ДПЭ-400А и ДПЭ-400Б



Фиг. 9. Аэродинамическая характеристика двигателей типов ДПЭ-400А и ДПЭ-400Б

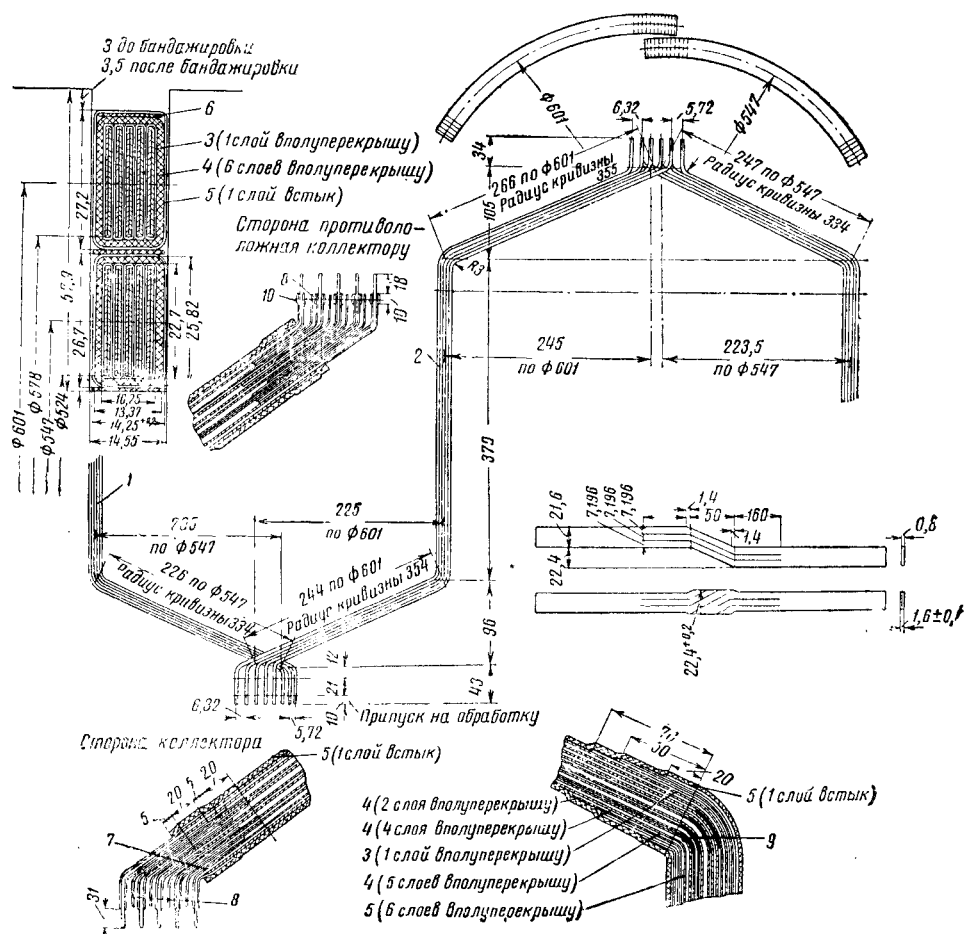


Фиг. 10. Схема соединения обмоток тяговых электродвигателей типов ДПЭ-400А, ДПЭ-400Б, ДПЭ-340 и ДПЭ-340А



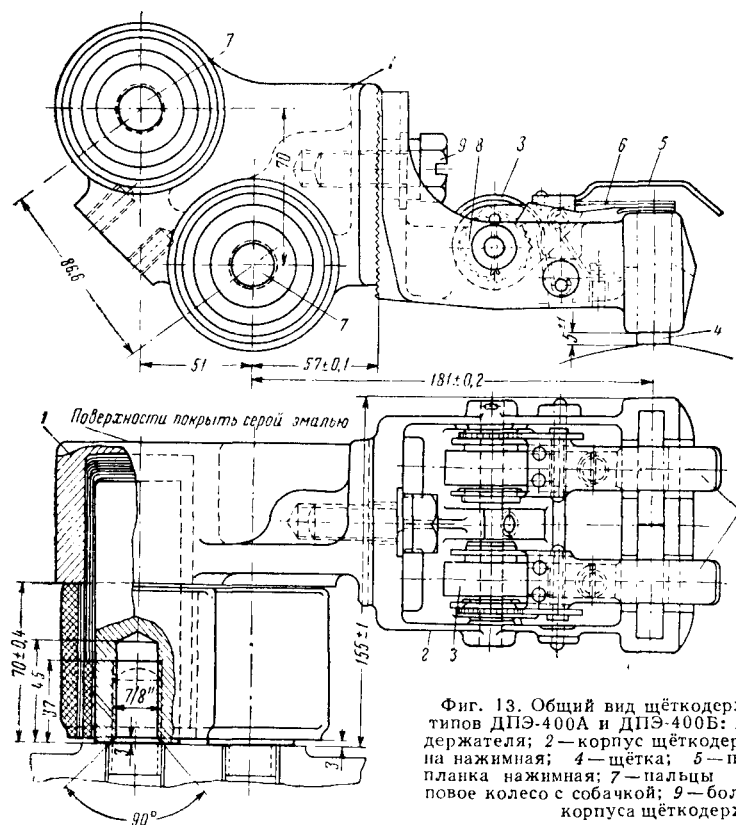
Спецификация к фиг. 11

№ п/п	Наименование	Материал	Размеры в мм	№ п/п	Наименование	Материал	Размеры в мм
1	Секция якоря	—	—	23	Заполнение	Бетёвка	Ø2×40 м
2	Прокладка	Миканит ПМ2	0,5×16,5×335	24	Изоляция нажимной шайбы	Миканит ГФ2	0,5×175×1620
3	U-образная скобка	» ГФ2	0,5×30×135	25	Изоляционный цилиндр	—	—
4	То же	Электрокартон пропитанный	0,5×30×135	26	Выравнивающая изоляция	Миканит ГФ2	0,5×140×850
5	Изоляция нажимной шайбы	Миканит ГФ2	0,5×95×500	27	» »	» ГФ2	0,5×90×850
6	Крепёжная лента	Лента тафтяная, пропитанная лаком 447	0,2×20×125	28	Заполнение	Паста № 8602	—
7	Изоляционный цилиндр	—	—	29	Изоляция между секциями	Миканит ГФ2	0,5×120×600
8	Выравнивающая изоляция	Миканит ГФ2	0,5×20×900	30	То же	То же	0,5×100×600
9	Чехол	Полотно суровое	0,1×150×2100	31	»	»	0,5×90×600
10	Изоляция лобовой части	Миканит ГФ2	0,5×100×50	32	Изоляция лобовой части	»	0,5×145×65
11	То же	То же	0,5×95×520	33	» »	»	0,5×150×65
12	»	»	0,5×155×245	34	» »	»	0,5×225×65
13	»	»	0,5×150×245	35	» »	»	0,5×190×245
14	Изоляция под бандаж лобовой части	Электрокартон пропитанный	0,5×150×245	36	Чехол	Полотно суровое пропитанное	0,4×390×2100
15	Прокладка изоляционная	Слюда-флогопит	0,1×25×125	37	Изоляция под бандаж	Электрокартон пропитанный	0,5×190×245
16	Бандаж на коллектор	Проволока бандажная	Ø1×40 м	38	Изоляционный фланец	—	—
17	Изоляция вокруг бандажа	Миканит ГМ2	0,25×50×65	39	Бандаж	Проволока бандажная	Ø2×450 м
18	Чехол на бандаж	Полотно суровое	0,4×70×2100	40	Изоляция под бандаж	Электрокартон пропитанный	0,5×25×670
19	Изоляция бандажа	Миканит ГМ2	0,25×65×60	41	Изоляция концов секций	Миканит ГФ2	0,3×25×50
20	Изоляция между секциями	» ГФ2	0,5×85×600	42	Клин в петушке	Медь шинная, лужёная	1,58×3,82×25
21	То же	То же	0,5×95×600	43	Уплотнение	Белила цинковые	—
22	»	»	0,5×115×600	44	Скобы под бандаж	Жесть белая	0,25×15

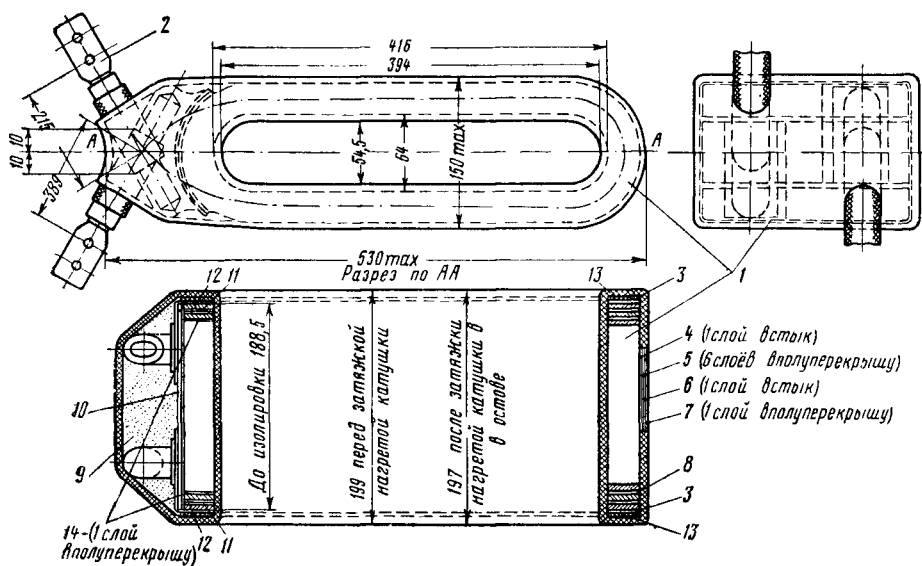


Фиг. 12. Кагушка обмотки якоря тягового двигателя типа ДПЭ-400А и Б

Позиции	Наименование	Материал	Размеры
1	Полушина нижняя	Медь полосовая мягкая	Штамповать из полосы 0,8×57
2	» верхняя	» » »	То же
3	Изоляция двух полушин секции	Миканитовая лента 4502	0,075×20×4,5 м
4	» пакета секции	То же 4504	0,13×20×43 м
5	Наружная изоляция секции	Асбестовая лента 1404	0,1×25×5,2 м
6	Прокладка в секции	Миканит ПМ-2	0,5×13×320
7	Изоляция концов секции	Шёлко-слюда-ная лента 4505	0,15×20×9,3 м
8	Прокладка между концами	Слюда-флогопит 4104	0,1×22×50
9	» в углах секций	То же 4104	0,03×22×30
10	Пояс на конец верхней секции	Асбестовая лента 1303	0,4×10×56



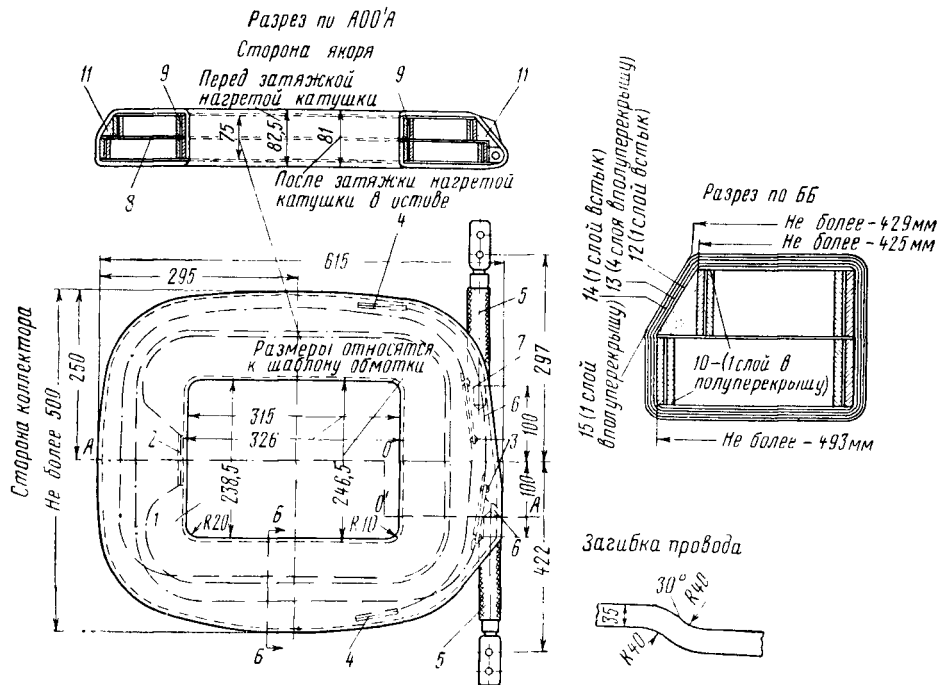
Фиг. 13. Общий вид щёткодержателя двигателей типов ДПЭ-400А и ДПЭ-400Б: 1 — кронштейн щёткодержателя; 2 — корпус щёткодержателя; 3 — пружина нажимная; 4 — щётка; 5 — палец нажимной; 6 — планка нажимная; 7 — пальцы кронштейна; 8 — храповое колесо с собачкой; 9 — болт и шайба крепления корпуса щёткодержателя



Фиг. 14. Катушки добавочных полюсов тяговых двигателей типов ДПЭ-340, ДПЭ-400А, ДПЭ-340А и ДПЭ-400Б
(Спецификацию см. на следующей странице)

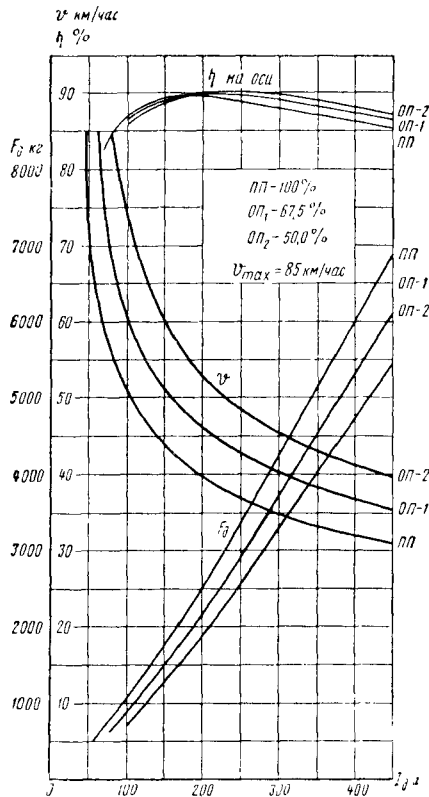
Спецификация к фиг. 14

Позиции	Наименование	Материал	Размеры	Позиции	Наименование	Материал	Размеры
1	Катушка [№ 1]	Медь шинная	3,05×35	8	Изоляция между витками	Асбест 1305	0,3×140×490
2	Кабель соединительный и патрон	—	—	9	Заполнитель	Замазка № 2	—
3	Прокладка выравнивающая	Миканит ГМЗ	0,5×140×490	10	Прокладка под выводную скобу	—	—
4	Изоляция	Асбестовая лента 1303	0,4×25×15 м	11	Прокладка под выводную скобу	Миканит ГМ2	0,25×40×490
5	»	Миканитовая лента 4510	Толщиной 0,13	12	Прокладка выравнивающая	То же	0,25×110×75
6	»	Киперная лента 3208	0,4×35×15 м	13	Прокладка выравнивающая	»	0,3×140×490
7	»	То же	0,4×35×30 м	14	Изоляция предпоследнего витка	Миканитовая лента 4510	Толщиной 0,13

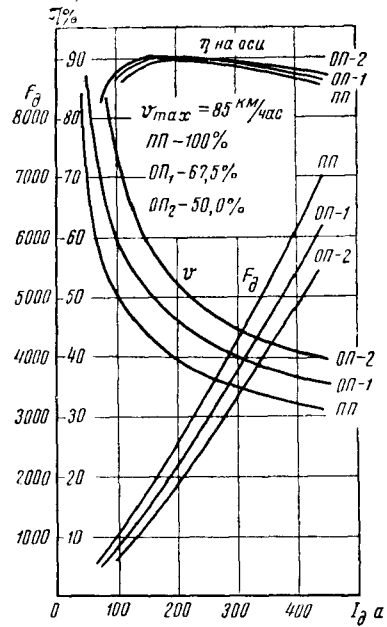


Фиг. 15. Катушка главных полюсов тяговых двигателей типов ДПЭ-340, ДПЭ-400А, ДПЭ-340А и ДПЭ-400Б

Позиции	Наименование	Материал	Размеры	Позиции	Наименование	Материал	Размеры
1	Катушка № 4	Медь шинная	2,63×35	9	Прокладка между витками	Асбест пропитанный 1401	0,3×36,5×100 м
2	Изоляция в месте перехода	Миканит ГФ2	0,3×75×130	10	Изоляция предпоследнего витка	Миканитовая лента 4510	0,13×30×9,5 м
3	Заклёпка 3×10	Медь мягкая	Ø3×16	11	Заполнитель	Замазка № 2	—
4	Скоба для крепления конца	—	—	12	Изоляция	Асбестовая лента 1303	0,4×25×25 м
5	Кабель соединительный	—	—	13	»	Миканитовая лента 4510	Толщиной 0,13
6	Патрон	—	—	14	»	Киперная лента 3208	0,4×35×18 м
7	Изоляция предпоследнего витка под патрон	Миканит ГМ2	0,25×36,5×100	15	»	То же	0,4×35×36 м
8	Прокладка между слоями	—	—				

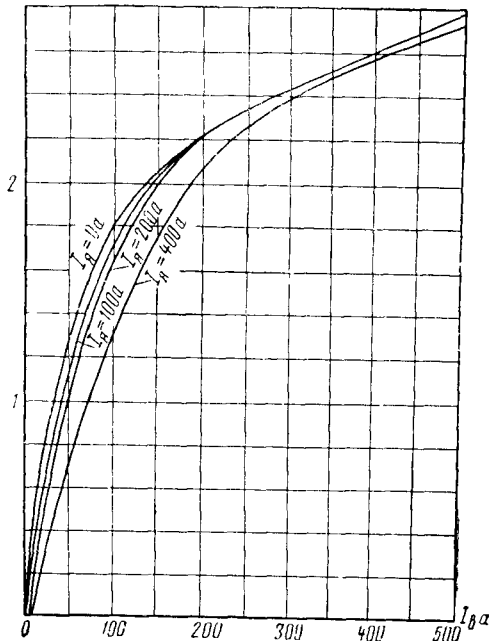


Фиг. 17. Электромеханические характеристики тягового двигателя типа ДПЭ-340А на ободу колеса электровазона серии ВЛ119 при $U_{\delta} = 1500$ в, $D_{вк} = 1220$ мм, $\mu = 3,74$

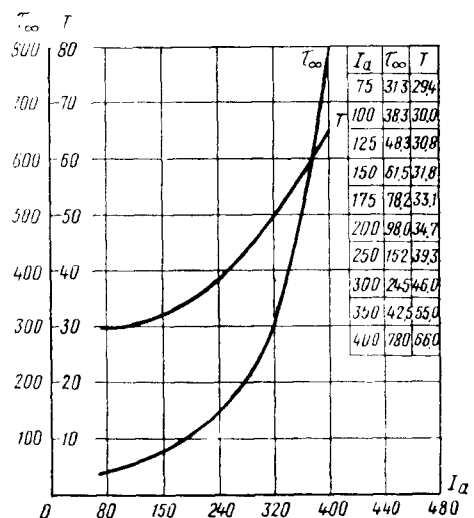


Фиг. 18. Электромеханические характеристики тягового двигателя типа ДПЭ-340А на ободу колеса электровазона серии ВЛ122 при $U_{\delta} = 1500$ в, $D_{вк} = 1200$ мм, $\mu = 3,74$

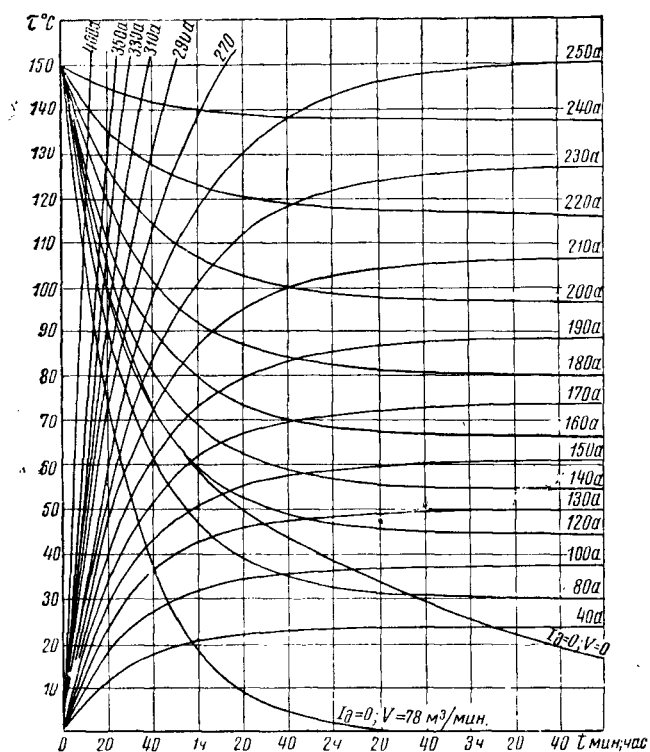
E/n В/об/б



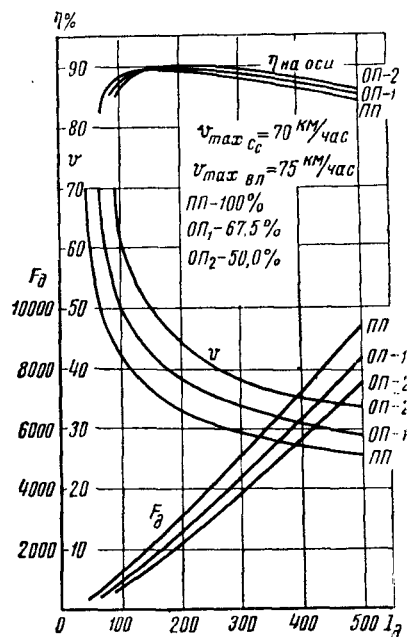
Фиг. 19. Нагрузочные характеристики тяговых двигателей типов ДПЭ-340 и ДПЭ-340А



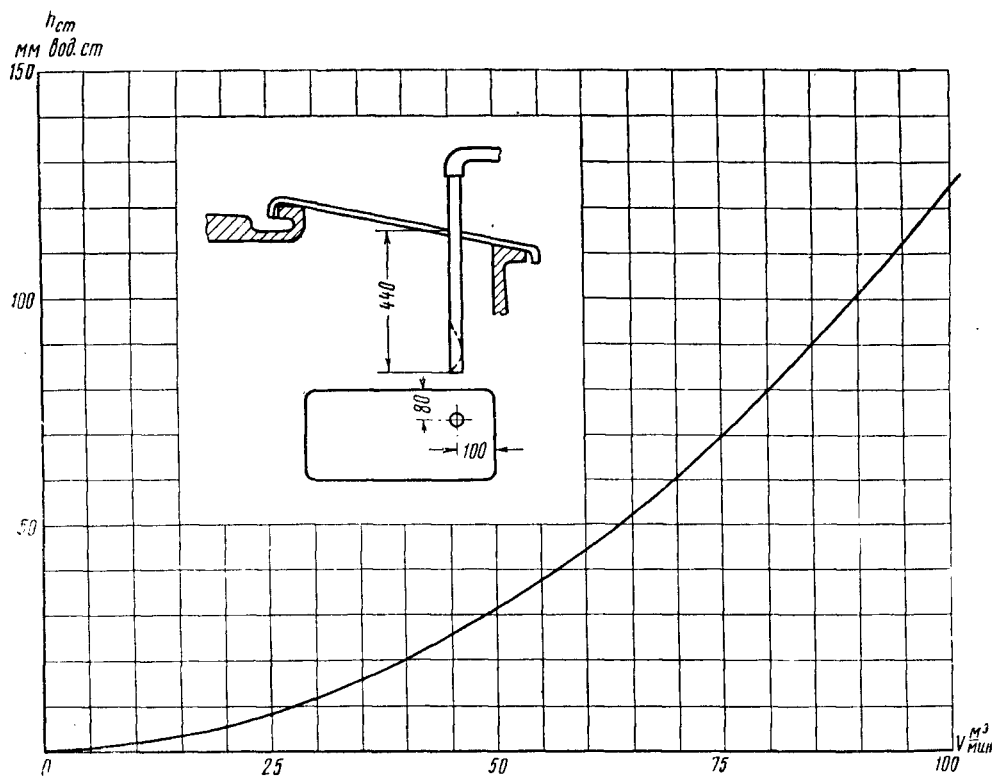
Фиг. 20. Тепловые параметры тяговых двигателей типов ДПЭ-340 и ДПЭ-340А (для обмотки якоря) при полном поле $U_{\delta} = 1500$ в, $V = 78$ м³/мин охлаждающего воздуха



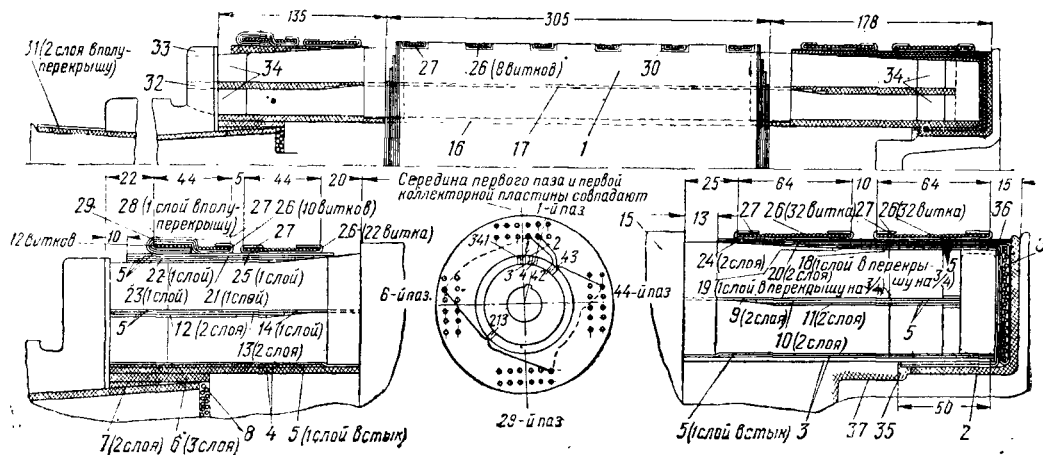
Фиг. 21. Кривые нагревания и охлаждения тяговых двигателей типов ДПЭ-340 и ДПЭ-340А (для обмотки якоря) при полном поле $U = 1500$ в, $V = 78$ м³/мин. охлаждающего воздуха



Фиг. 22. Электромеханические характеристики тягового двигателя типа ДПЭ-340 на ободе колёс электровозов серий Сс-11, ВЛ22 при $U_d = 1500$ в, $D_{ок} = 1200$ мм, $\gamma = 4,45$

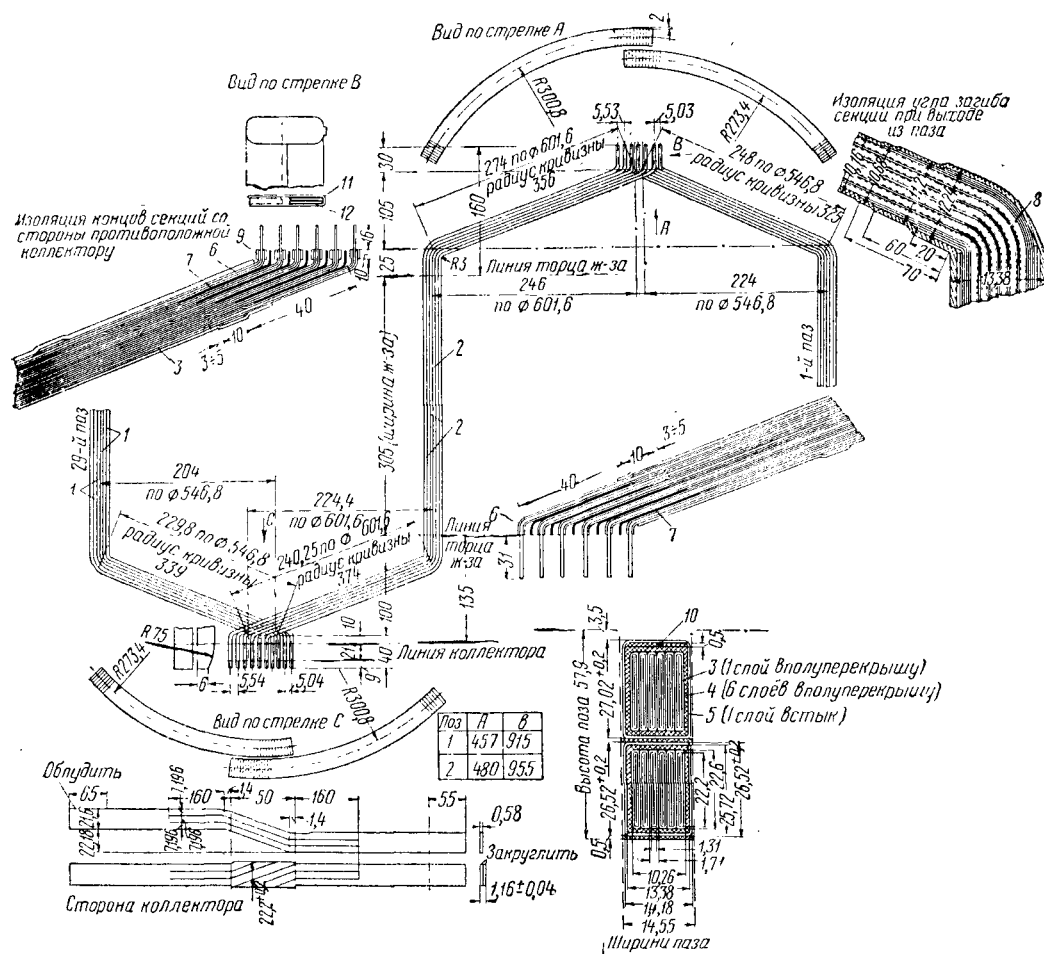


Фиг. 23. Аэродинамическая характеристика тяговых двигателей типов ДПЭ-340 и ДПЭ-340А



Фиг. 24. Обмотка якоря тяговых электродвигателей типов ДПЭ-340 и ДПЭ-340А

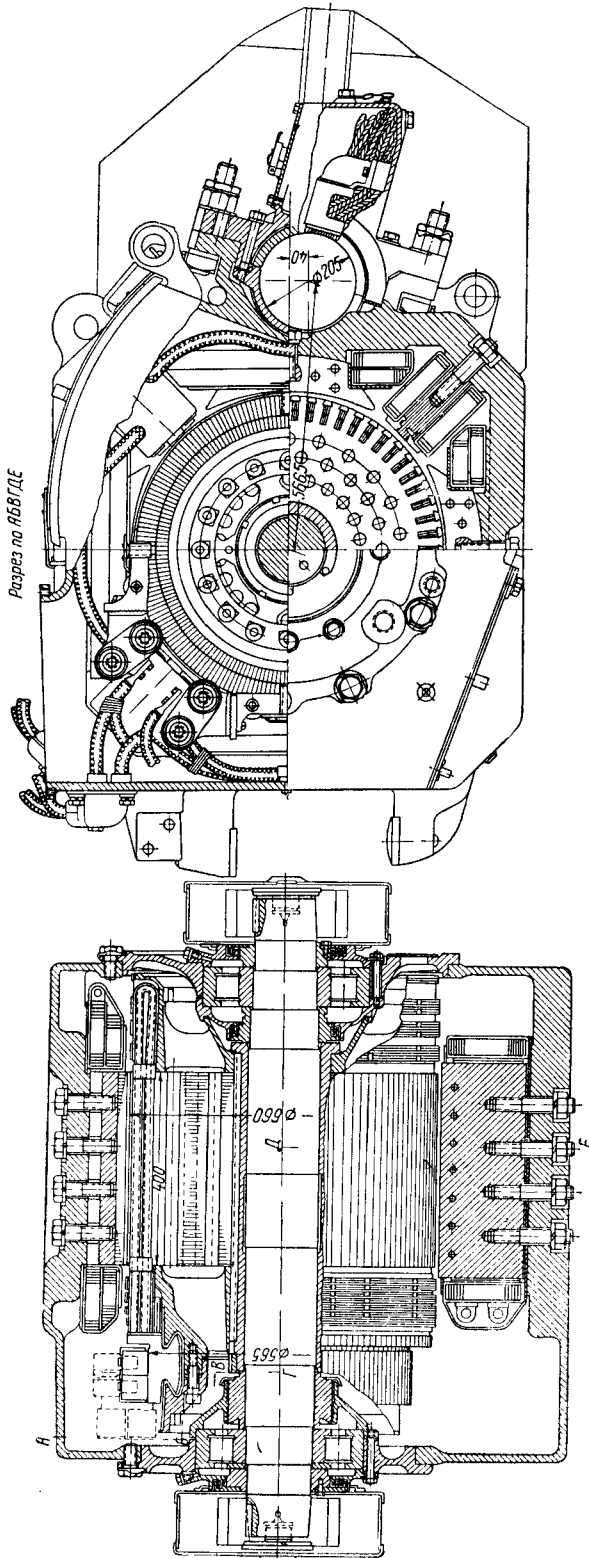
Позиция	Наименование	Материал	Размеры	Позиция	Наименование	Материал	Размеры
1	Секция якоря	—	—	19	Изоляция лобовой части	Миканит гибкий	0,5 × 65 × 230
2	Изоляционный фланец	Миканит	—	20	То же	» »	0,5 × 155 × 245
3	Изоляционный цилиндр, сторона, противоположная коллектору	»	—	21	»	» »	0,5 × 155 × 245
4	Изоляционный цилиндр, сторона коллектора	»	—	22	»	» »	0,5 × 120 × 245
5	Крепёжная лента	Лента тафтяная	0,2 × 20 × 430	23	»	» »	0,5 × 90 × 245
6	Выравнивающая изоляция	Миканит гибкий	0,5 × 50 × 900	24	»	» »	0,5 × 70 × 245
7	То же	» »	0,5 × 20 × 900	25	Изоляция под бандаж	Электрокартон	0,5 × 120 × 245
8	Заполнение	Бечёвка	Ø 2 × 40 м	26	Бандаж	Проволока бандажная	Ø 2 × 320 м
9	Изоляция между рядами секций	Миканит гибкий	0,5 × 120 × 500	27	Скоба под бандаж	Жесть белая	0,5 × 15
10	То же	» »	0,5 × 100 × 600	28	Изоляция бандажа	Миканит гибкий	0,25 × 65 × 50
11	»	» »	0,5 × 90 × 600	29	Чехол под бандаж	Полотно суровое	0,4 × 70 × 2 000
12	»	» »	0,5 × 85 × 600	30	Изоляция под бандаж	Электрокартон	0,5 × 25 × 670
13	»	» »	0,5 × 95 × 600	31	Бандаж на миканитовой манжете	Лента тафтяная	0,2 × 20 × 16 м
14	»	» »	0,5 × 115 × 600	32	Клин в «петушке»	Медь мягкая полосовая	1,4 × 2 × 32
15	У-образная скобка	Электрокартон и миканит гибкий	0,5 × 32 × 140	33	То же	То же	1,4 × 4,5 × 32
16	Прокладка	Миканит прокладочный	0,5 × 14,5 × 340	34	Прокладка	Миканит гибкий	0,3 × 25 × 50
17	»	То же	0,8 × 14,5 × 340	35	Заполнение	Замазка	—
18	Изоляция лобовой части	Миканит гибкий	0,5 × 65 × 150	36	Чехол задней лобовой части	Полотно	0,4 × 300 × 2 200
				37	Белила цинковые	—	—



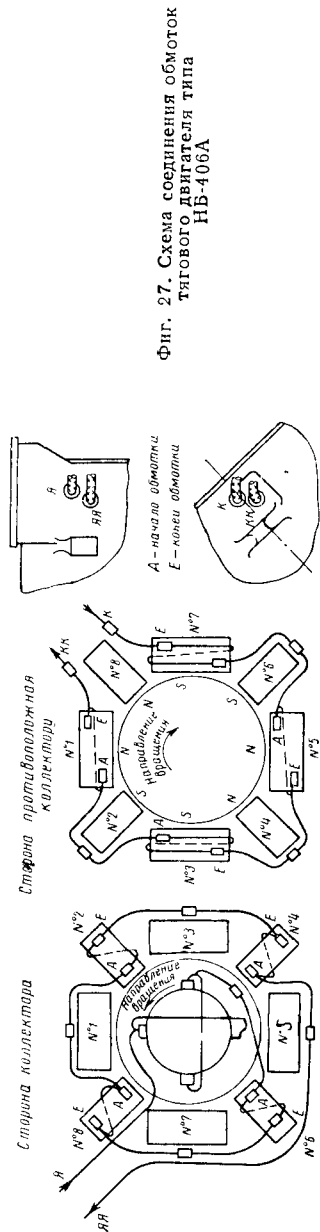
Фиг. 25. Катушка обмотки якоря тяговых двигателей типов ДПЭ-340 и ДПЭ-340А

Позиция	Наименование	Материал	Размеры	Позиция	Наименование	Материал	Размеры
1	Полушины нижние	Медь	0,58×21,6×920	8	Прокладка в углах загиба секций	Слюда флогопит. 4101	0,01×22×2
2	Полушины верхние	»	0,58×21,6×960	9	Изоляция на концы нижней секции	Асбестовая лента 1303	0,4×10×56
3	Изоляция шин	Миканитовая лента 4509	0,1×20×43 м	10	Прокладка под бандаж	Миканит ПМ-2	0,5×13×320
4	» секции	То же	0,13×20×41 м	11	Соединительные скобы	—	—
5	» »	Асбестовая лента 1404	0,4×20×5,3 м	12	Пластина серебряного припоя для нижней секции	—	—
6	Изоляция концов секции	Шёлко-слюда-ная лента 4505	0,15×20×6,2 м				
7	Прокладка между концами	Слюда-флогопит 4101	0,4×22×5				

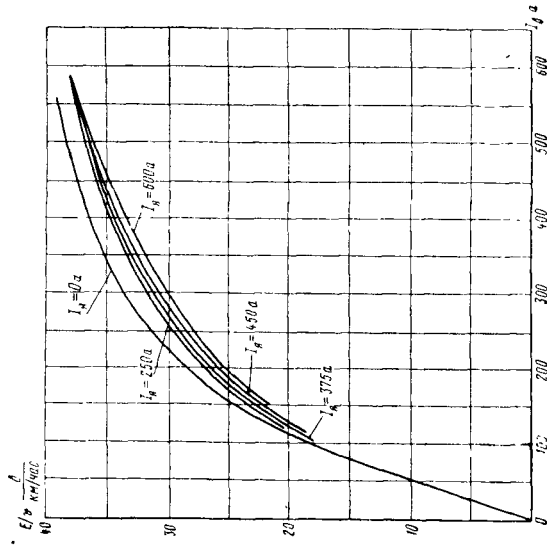
ЧЕРТЕЖИ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ТИПА НБ-406А



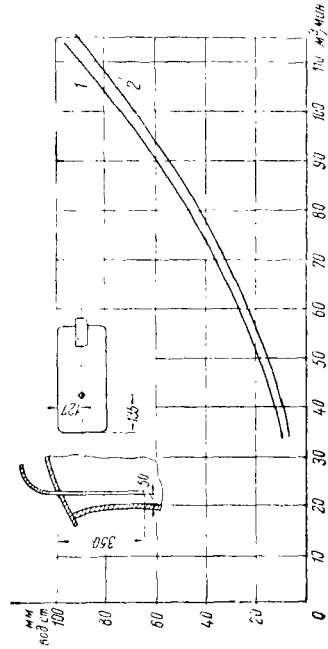
Фиг. 26. Продольный и поперечный разрезы двигателя типа НБ-406А



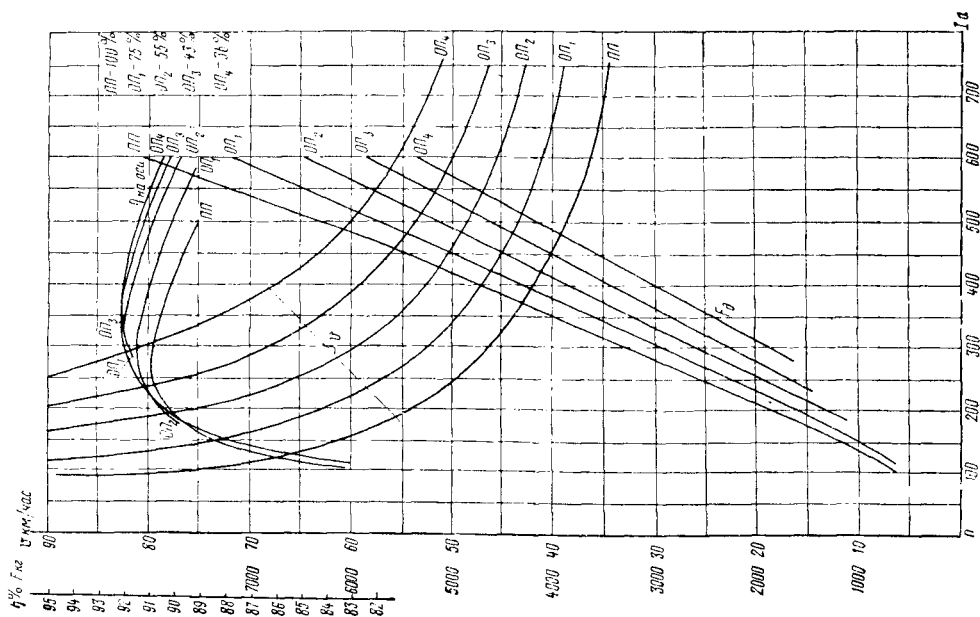
Фиг. 27. Схема соединения обмоток тягового двигателя типа НБ-406А



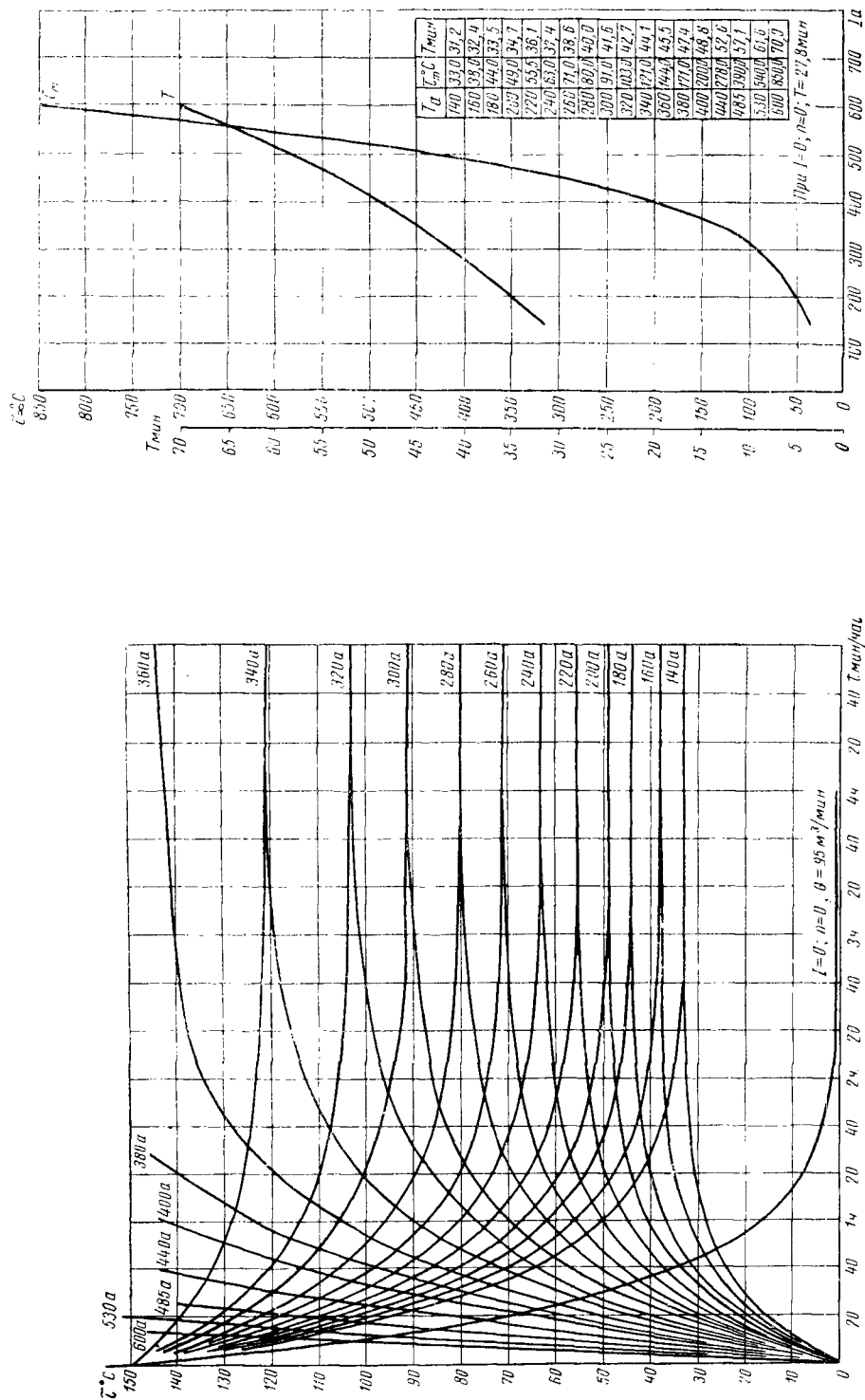
Фиг. 31. Нагрузочные характеристики двигателя типа НВ-406А



Фиг. 32. Аэродинамическая характеристика тягового двигателя НВ-406А: 1—при наличии кожуха зубчатой передачи и сцепляющего кожуха; 2—без сцепляющего кожуха



Фиг. 33. Электро-механические характеристики двигателя типа НВ-406А на обод колеса электровоза НВ-001 при $D_{\text{эк}} = 1500 \text{ мм}$, $\omega = 3,805$

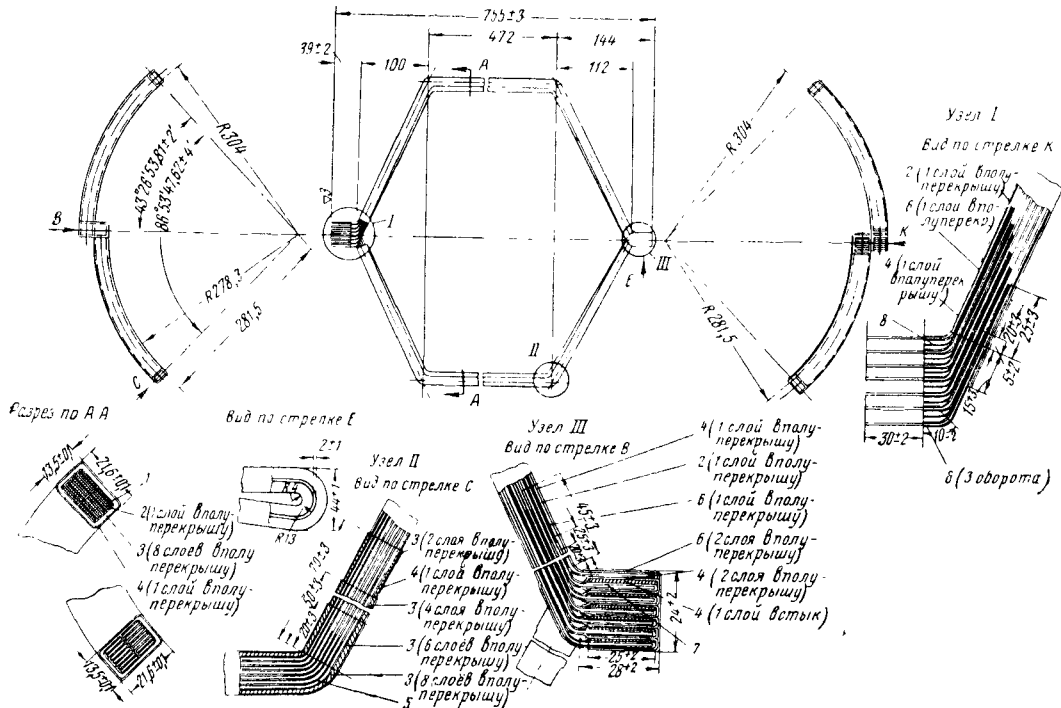


Фиг. 33. Кривые нагрева и охлаждения тягового двигателя типа НВ-406А (для обмотки якоря) ($U = 1500$ в; $V = 95$ м³/мин охлаждающего воздуха)

Фиг. 34. Тепловые параметры двигателя типа НВ-106А (для обмотки якоря) ($U = 1500$ в; $V = 95$ м³/мин)

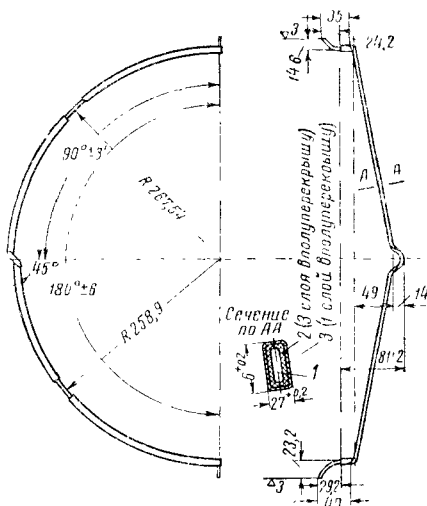
Спецификация к фиг. 35

Пози- ция	Наименование	Материал	Размеры	Изоб. рис.	Наименование	Материал	Размеры
1	Клин	Провод обмоточный ГОСТ 434—41	Длина 25 мм 1,08×4,4	21	Изоляция	Лента киперная ГОСТ 4514—48	0,45×20×150 мм
2	»	То же	Длина 25 мм 1,08×8,6	22	Прокладка	Миканит гибкий ГФ2-0,5 ГОСТ 6120—52	0,5×95×455
3	Прокладка	Миканит гибкий ГФ2-0,5 ГОСТ 6120—52	85×485	23	»	То же	0,5×135×485
4	»	То же	65×485	24	»	»	0,5×100×445
5	»	»	55×520	25	Изоляция секции об- мотки якоря	—	—
6	Чехол	Полотно суровое ОСТ 30230—40, арт. 351	0,4×75×2150	26	Изоляция	—	—
7	Проволока бандажная	ОСТ 26021—38	Ø 2	27	»	—	—
8	Прокладка	Миканит гибкий ГФ2-0,25 ГОСТ 6120—52	0,25×50×50	28	Прокладка	Миканит гибкий ГФ2-0,5 ГОСТ 6120—52	0,5×125×485
9	Скоба	Жесть, белая, № 27 марки А1 кл. ГОСТ 5343—50	Ширина 15 мм	29	Изоляция	—	—
10	Прокладка	Миканит гибкий ГФ2 0,5 ГОСТ 6120—52	65×520	30	Прокладка	Миканит гибкий ГФ2-0,5 ГОСТ 6120—52	0,5×45×445
11	»	То же	0,5×75×520	31	Изоляция	—	—
12	»	Электрокартон ЭВ-0,5 ГОСТ 2824—45	0,5×120×260	32	»	Стеклодуга ГОСТ 5937—51	0,1×25×200 мм
13	»	Миканит гибкий ГФ2-0,5 ГОСТ 6120—52	0,5×120×260	33	Прокладка	—	—
14	»	Электрокартон ЭВ-0,5 ГОСТ 2824—45	0,5×195×225	34	»	Миканит гибкий ГФ2-0,5 ГОСТ 6120—52	0,5×70×420
15	»	Миканит гибкий ГФ2-0,5 ГОСТ 6120—52	0,5×185×225	35	Уравнитель	—	—
16	»	То же	0,5×75×485	36	Клин	—	—
17	Чехол	Полотно суровое 0,4 ОСТ 30230—40, арт. 351	0,4×180×2100	37	Прокладка	Электрокартон ЭВ-0,5 ГОСТ 2824—45	0,5×14×430
18	Шнур кручёный	Льняной шнур ГОСТ 3167—49	Ø 2,0, длина 160 мм	38	»	Миканит прокладочный ПФ2-0,5 ГОСТ 6121—52	0,5×14×430
19	Прокладка	Миканит гибкий ГФ2-0,5 ГОСТ 6120—52	0,5×65×225	39	»	Электрокартон ЭВ-0,5 ГОСТ 2824—45	0,5×30×150
20	»	То же	0,5×30×500	40	»	Миканит гибкий ГФ2-0,5 ГОСТ 6120—52	0,5×30×150
				41	»	То же	0,5×20×445
				42	»	»	0,5×30×400
				43	»	»	0,9×90×45
				44	»	»	0,5×65×450



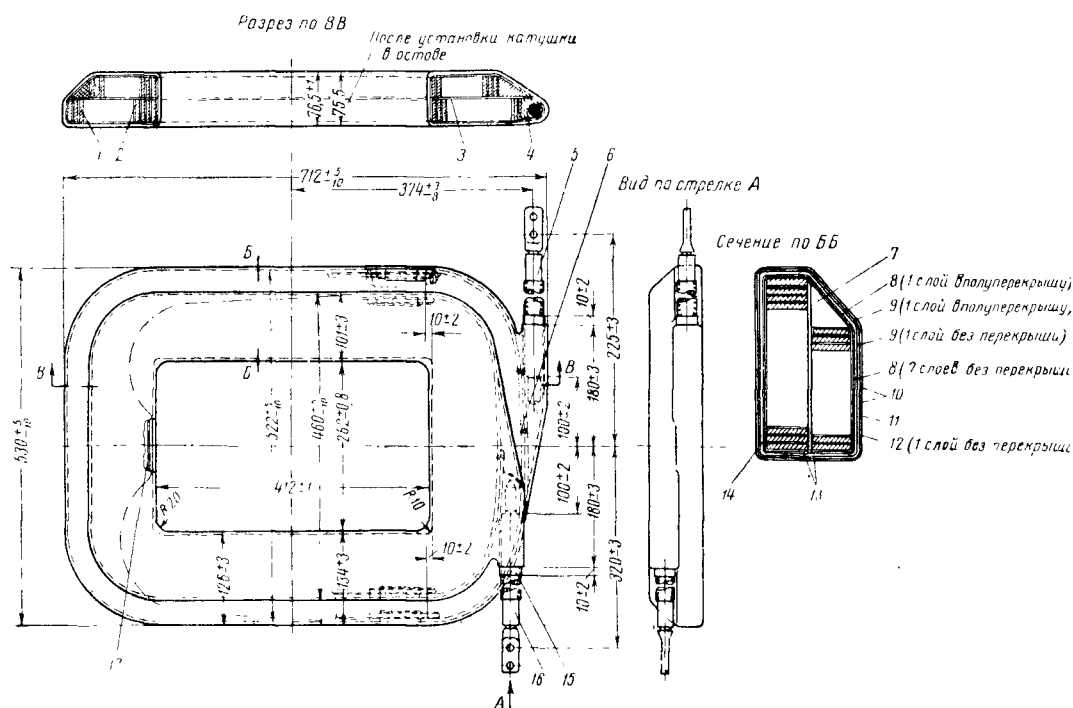
Фиг. 36. Катушка обмотки якоря двигателя типа НВ-406А

Позиция	Наименование	Материал	Размеры	Позиция	Наименование	Материал	Размеры
1	Шина обмотки	Медь обмоточная прямоугольная голая МГМ ГОСТ 434-41	1,08×8,6×2,075 м	5	Прокладка	Слюда флогопит. № 6 1/2 II гр. I сорт. ГОСТ 3028-45	0,03×18×30
2	Изоляция	Микалента ТУ НЭВЗ 2701	0,075×20×55 м	6	Изоляция	Микалента шелко-стеклянная ОТН-503.200-ТУ	0,1×10×23 м
3	»	Микалента ЛФ-Ч ГОСТ 4268-48	0,1×20×50 м	7	Прокладка	—	—
4	»	Стеклолента ГОСТ 5937-51	0,1×25×12,5 м	8	Прокладка	—	—



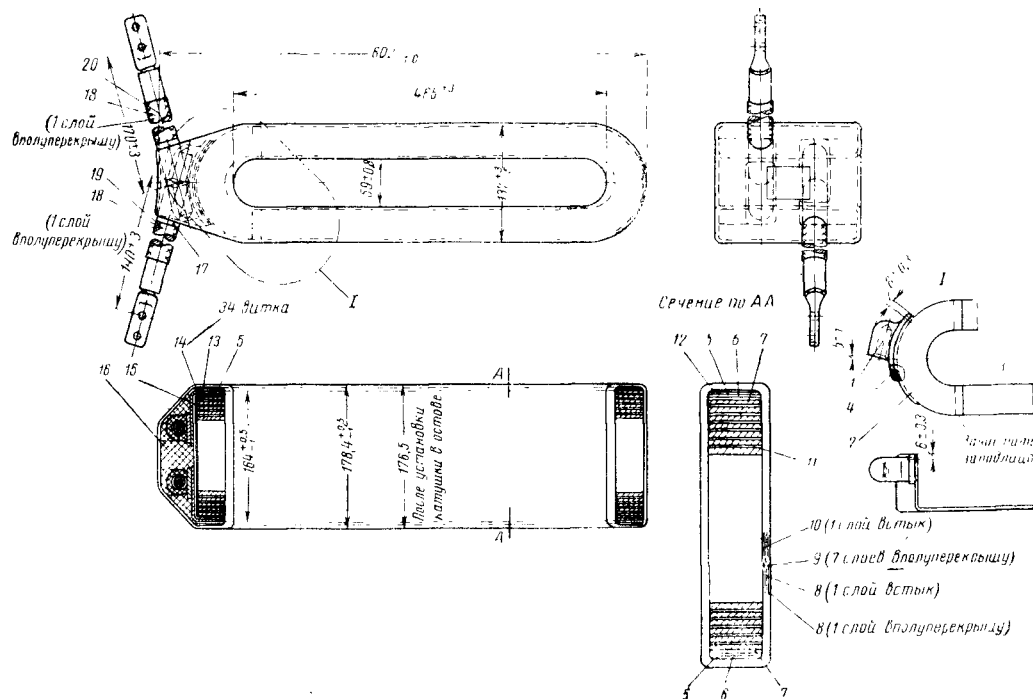
Позиция	Наименование	Материал	Размеры
1	Провод	Медь проводниковая прямая углового сечения МГМ ГОСТ 434-53	1,08×4,4×960
2	Изоляция	Микалента ТУ НЭВЗ 27.01	0,075×15×5 м
3	»	Стеклолента ГОСТ 5937-51	0,1×25×1,3 м

Фиг. 37. Уравнительное соединение обмотки якоря двигателя типа НВ-406А



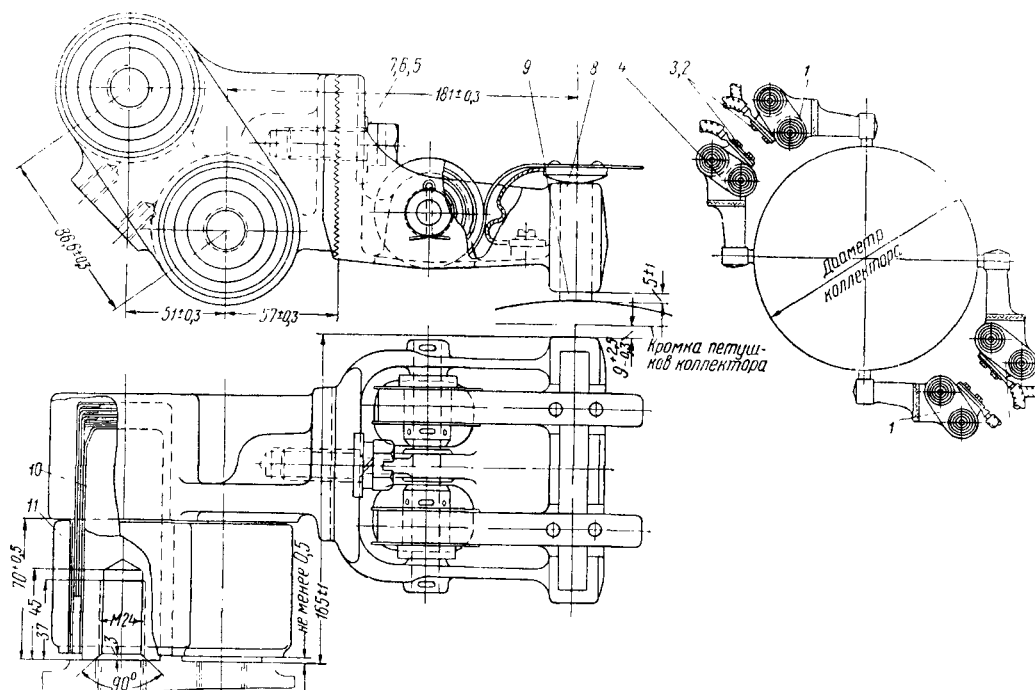
Фиг. 38. Катушка главного полюса тягового двигателя типа ПБ-406А

Позиция	Наименование	Размеры	Материал	Позиция	Наименование	Размеры	Материал
1	Провод обмотки	4,1×32 длиной 85 м	Медь обмоточная прямоугольная голая МГМ ГОСТ 434—53	9	Изоляция	0,15×30×90 м	Лента киперная ГОСТ 1514—48
2	Прокладка	0,3×83×85 м	Бумага асбестовая ТУ 1218—51 МХП	10	Прокладка	0,3×93×260 м	Бумага асбестовая ТУ 1218—51 МХП
3	»	—	—	11	»	—	—
4	Патрон	—	—	12	Изоляция	0,4×25×35 м	Лента асбестовая ТУ МХП 147—41
5	Кабель	—	—	13	Прокладка	0,3×67×1365	Бумага асбестовая ТУ 1218—51 МХП
6	Прокладка	0,25×33,5×100 м	Миканит гибкий ГФЗ ГОСТ 6120—52	14	»	—	—
7	Замазка изоляционная	—	ТУ НЭВЗ 2400	15	Жакетик	—	—
8	Изоляция	0,13×30×38,5 м	Миканит ЛФ-Ч1 ГОСТ 4268—48	16	Кабель	—	—
				17	Заклёпка	Ø3, длина 11	Проволока медная голая ГОСТ 431—53



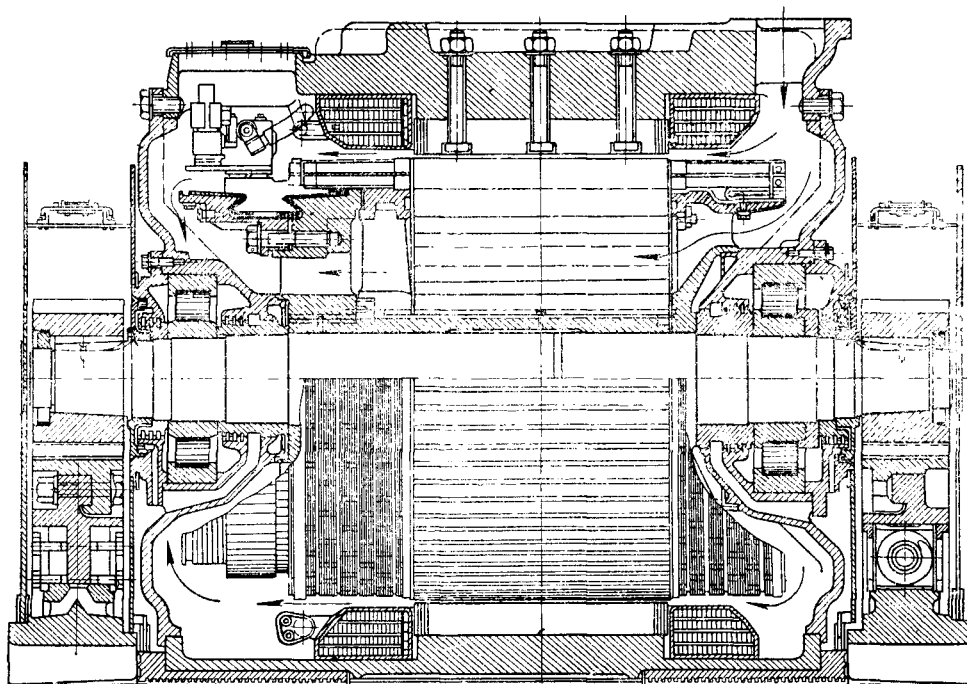
Фиг. 34. Катушки добавочного подвеса тягового двигателя типа ИБ-406А

Позиция	Наименование	Размеры	Материал	Позиция	Наименование	Размеры	Материал
1	Патрон	—	—	11	Прокладка	—	—
2	Скоба	—	—	12	»	0,5×31×450	Бумага асбестовая ТУ 1218-51 МХН
3	Пластина	—	—	13	Изоляция	—	—
4	Заклёпка	Ø 3, длина 14	Проволока медная голая ГОСТ 131-53	14	Шина медная	1,4×28×39 м	Шина медная МТМ ГОСТ 434-53
5	Прокладка	0,3×131×546	Миканит ГФ-2 ГОСТ 6120-52	15	Изоляция	1×155×170	Миканит ГФ-2 ГОСТ 6120-52
6	»	0,5×131×546	То же	16	Заполнитель	—	Замазка «А» ТУ ПЭВЗ 2400
7	»	0,5×131×546	Бумага асбестовая ТУ 1218-51 МХН	17	Факетик	—	—
8	Изоляция	0,15×30×61 м	Лента киперная ГОСТ 4711-48	18	Изоляция	0,5×25×8 м	Лента смоляная ПНВ ТУ 9-250-41 НКХН
9	»	0,13×30×280 м	Микалента ГФ-41 ГОСТ 4268-48	19	Кабель	—	—
10	»	0,4×25×24 м	Лента асбестовая ТУ 147-11 НКХН	20	»	—	—

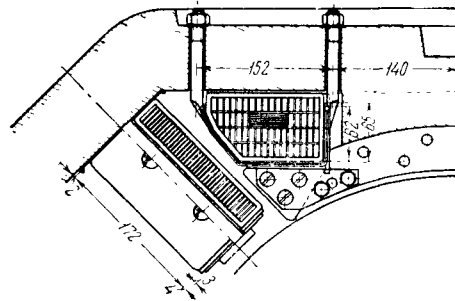


Фиг. 40. Щёткодержатели двигателя типа НБ-406А и их установка:
 1 — кронштейн щёткодержателя; 2 — болт оцинкованный; 3 — шайба предохранительная; 4 — кронштейн щёткодержателя; 5 — болт специальный; 6 — шайба пружинная; 7 — шайба специальная; 8 — корпус щёткодержателя; 9 — щётка угольная; 10 — палец щёткодержателя; 11 — изолятор

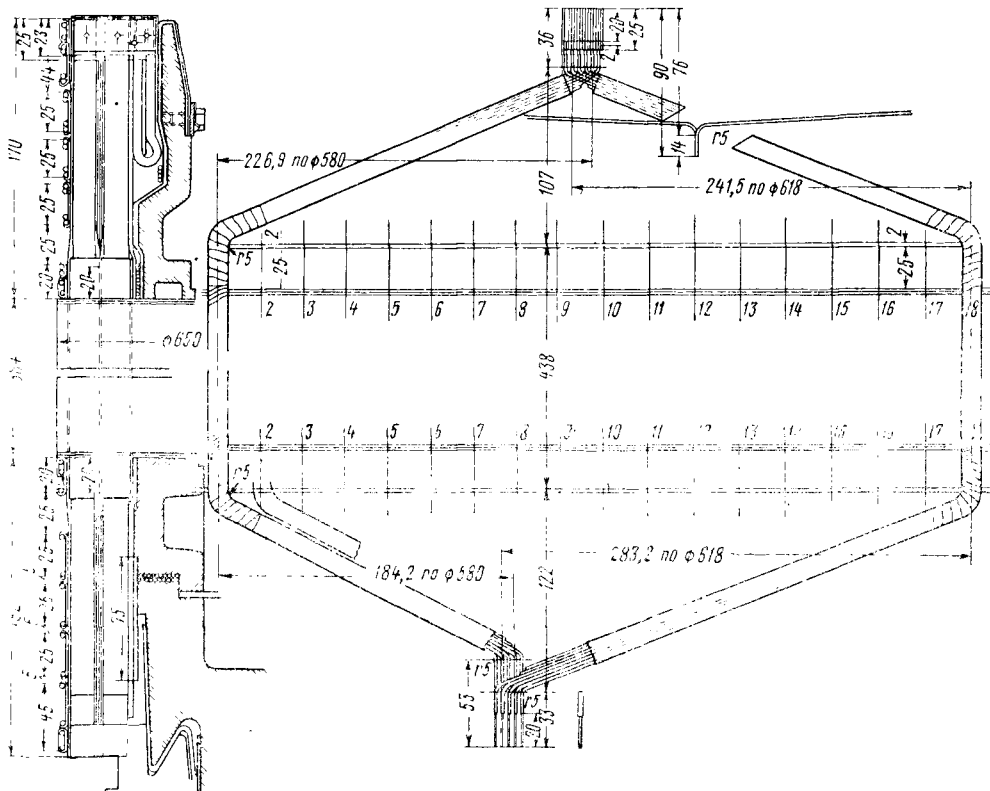
ЧЕРТЕЖИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТИПОВ GDTM-655; ДСЭ-680/2, ДК-ЗА



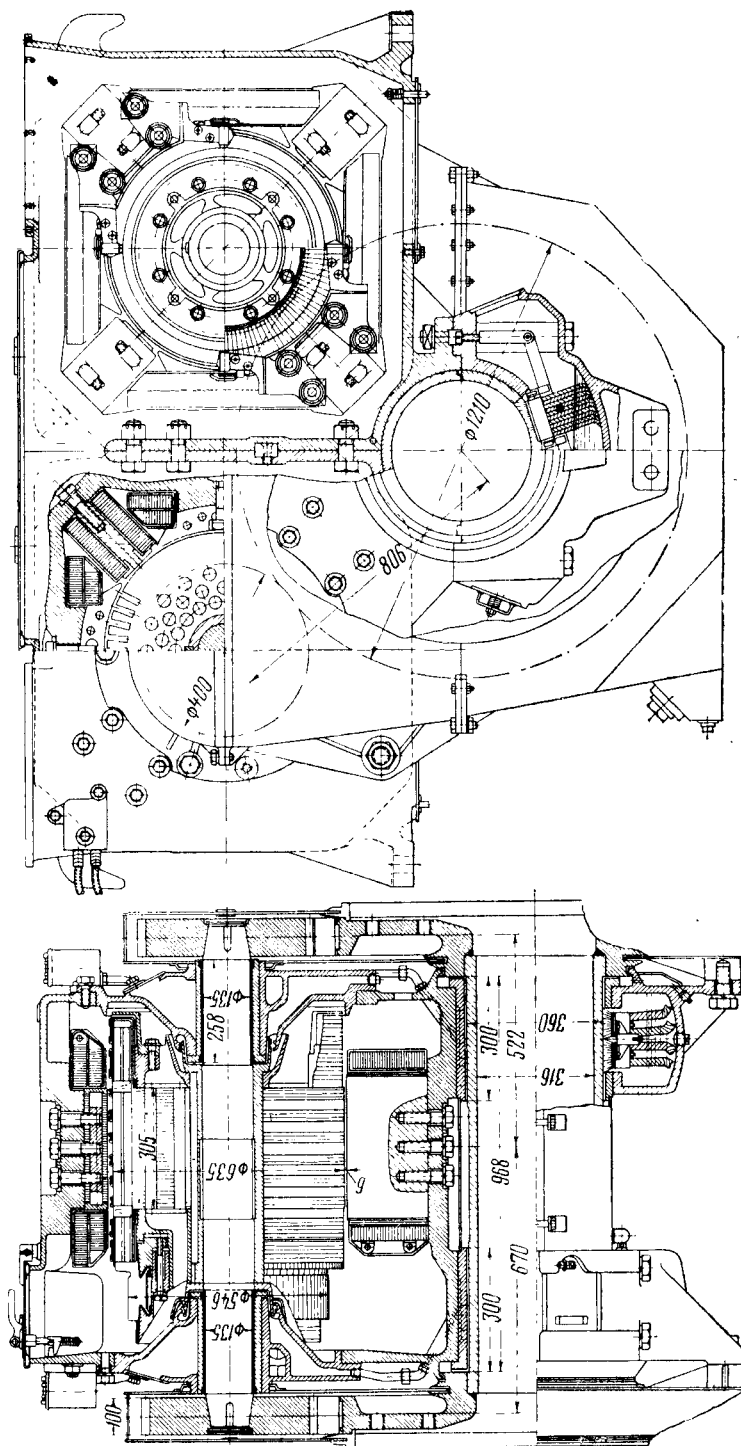
Фиг. 41. Продольный разрез тягового двигателя типа GDTM-655



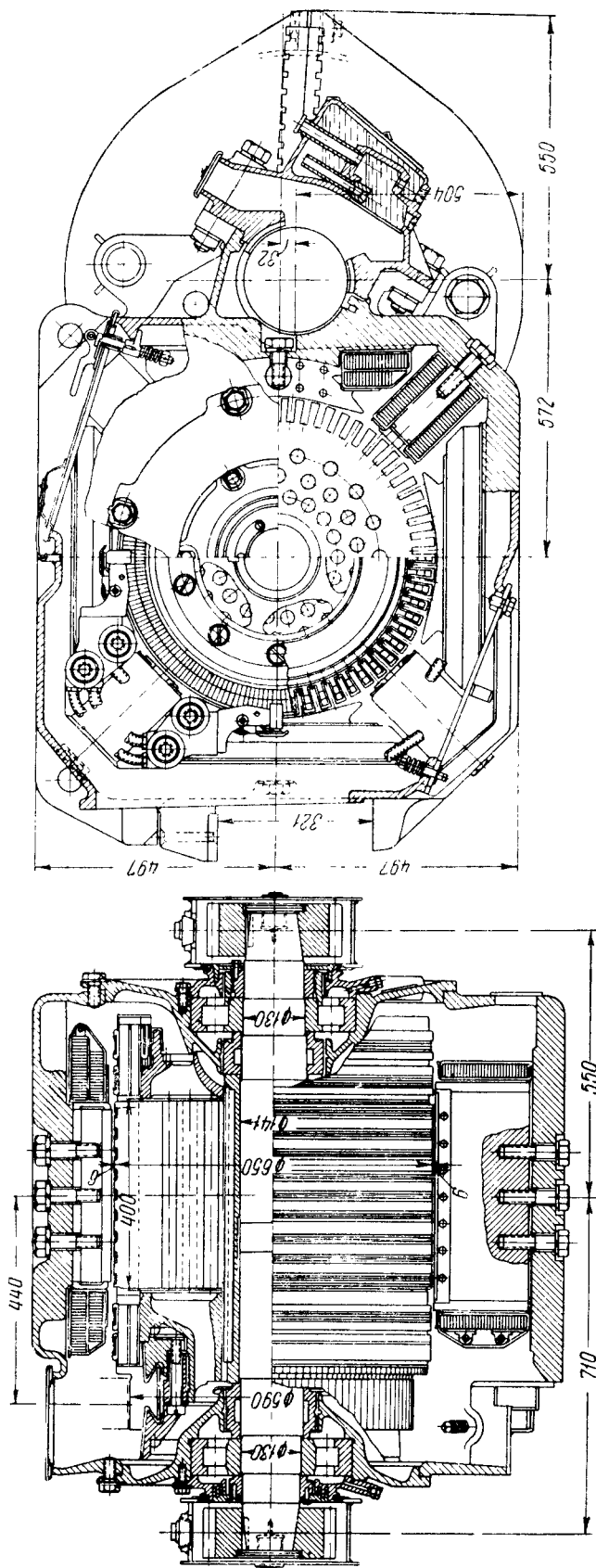
Фиг. 42. Катушки полюсов тягового двигателя
типа GDTM-655



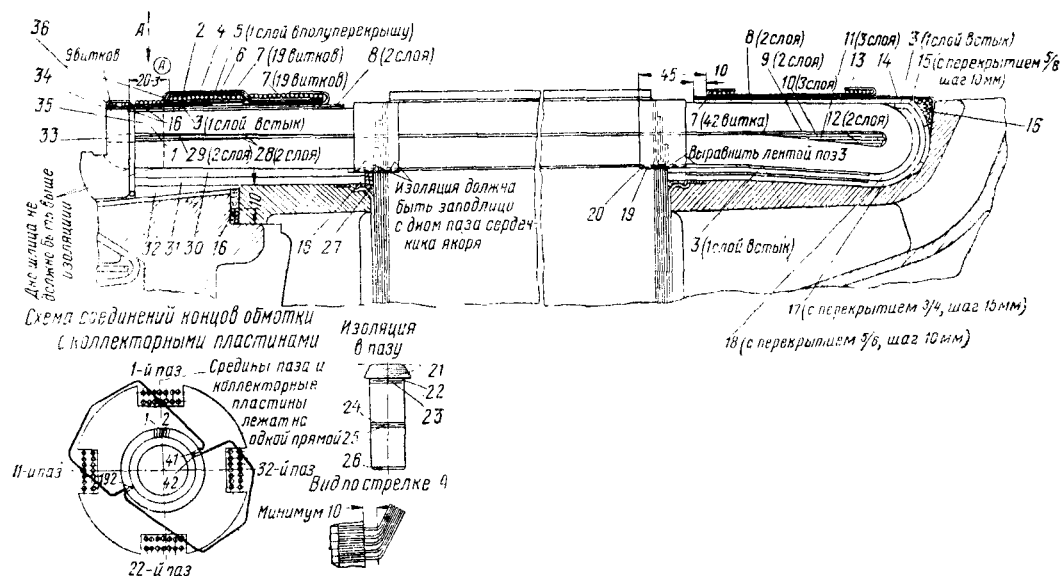
Фиг. 43. Катушка обмотки явора тягового двигателя типа GDTM-655



Фиг. 44. Продольный и поперечный разрезы двигателя типа ДСЭ-650/2

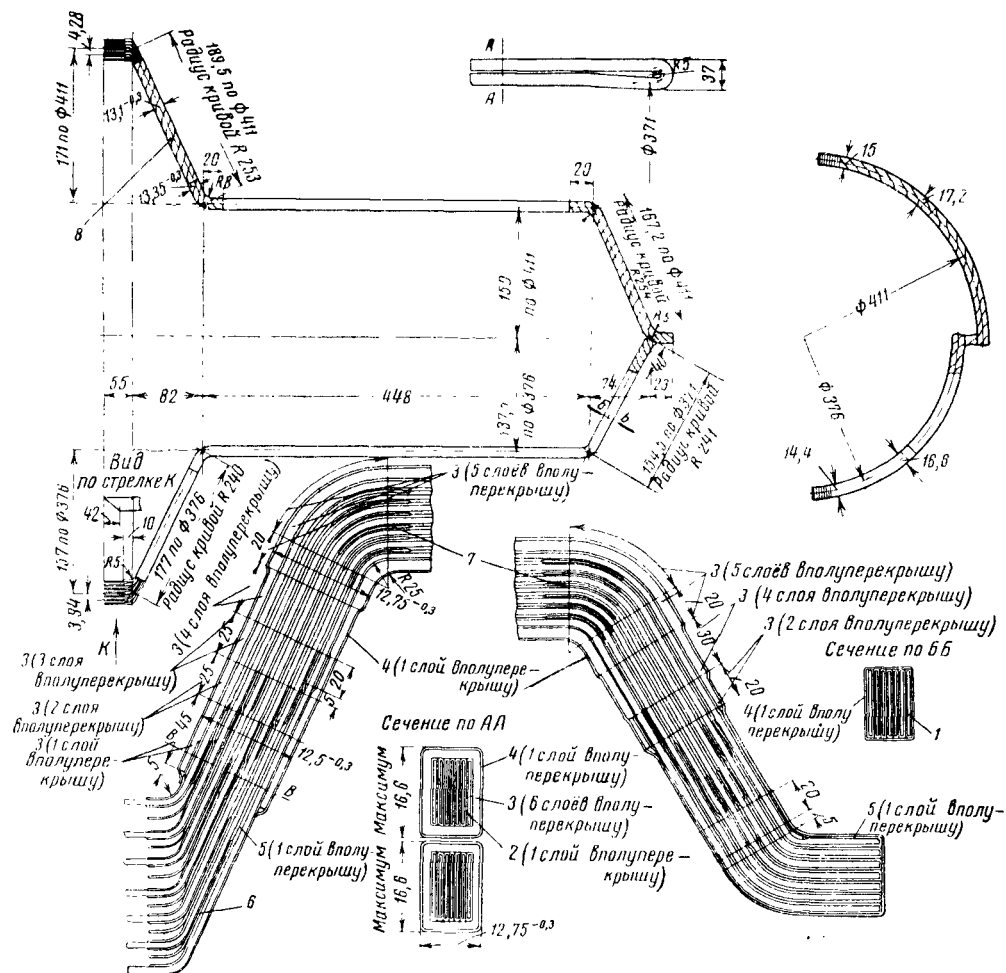


Фиг. 45. Продольный и поперечный разрезы двигателя типа ДК-3.



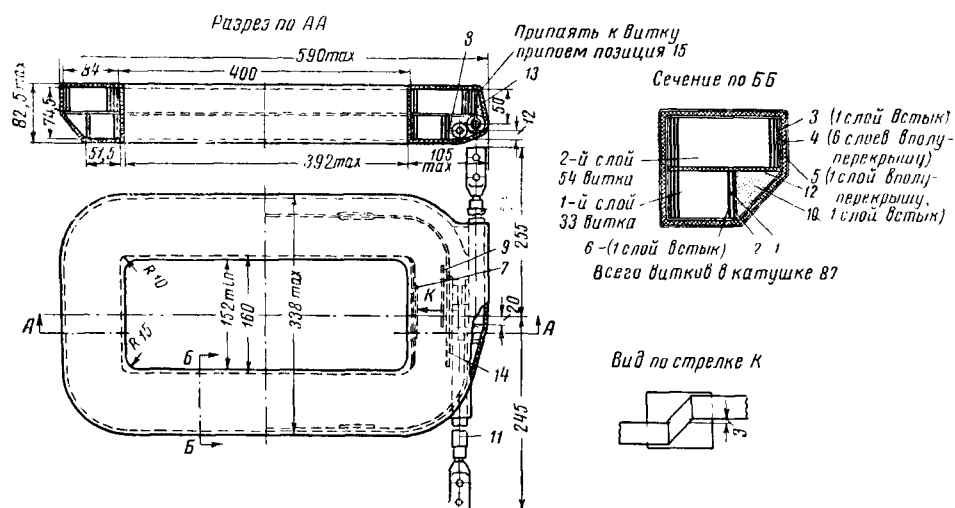
Фиг. 49. Обмотка якоря (комплект) тягового двигателя типа ДК 103Г

Позиция	Наименование	Материал	Размеры	Позиция	Наименование	Материал	Размеры
1	Секция	—	—	17	Изоляция на- жимной пайбы	Миканит 4407	0,5×60×170
2	Цилиндр изоля- ционный	—	—	18	То же	То же	0,5×60×150
3	Лента крепёж- ная	Лента киберная 3308	0,5×30×150 м	19	U-образная изо- ляция	Электрокар- тон 3335	0,5×25×102
4	Чехол	Полотно суро- вое 3202	0,4×140×1500	20	То же	Миканит 4407	0,5×25×100
5	Изоляция	Миканит 4406	0,2×100×60	21	Клин	Текстолит	—
6	Скоба под бан- даж	Жесть белая	0,25×20×140	22	Прокладка	Электрокар- тон 3339	0,5×12×500
7	Бандаж	Проволока бан- дажная	∅ 2×120 м	23	»	Миканит 4200	0,5×12×385
8	Изоляция под бандаж	Электрокартон 3339	0,5×110×1400	24	»	То же	0,5×12×400
9	Изоляция в го- ловке	Миканит 4407	0,5×80×1300	25	»	»	1×12×335
10	То же	То же	0,5×45×1300	26	»	»	0,5×12×430
11	»	»	0,5×40×1300	27	Заполнитель	Паста 8216	—
12	»	»	0,5×35×1300	28	Изоляция меж- ду секциями	Миканит 4407	0,5×60×1250
13	Скоба под бан- даж	Жесть белая	0,25×20×120	29	То же	То же	0,5×100×1250
14	Чехол	Полотно суро- вое 3202	0,4×260×1500	30	Цилиндр изоля- ционный	—	—
15	Изоляция	Миканит 4407	0,5×60×155	31	Клин коллек- торный	—	—
16	Бандаж	Шнур кручёный 3333	∅ 2,2×45 м	32	Прокладка на концах секции	Миканит 4407	0,3×12,5×40
				33	Чехол	Полотно суро- вое 3202	0,4×130×1400



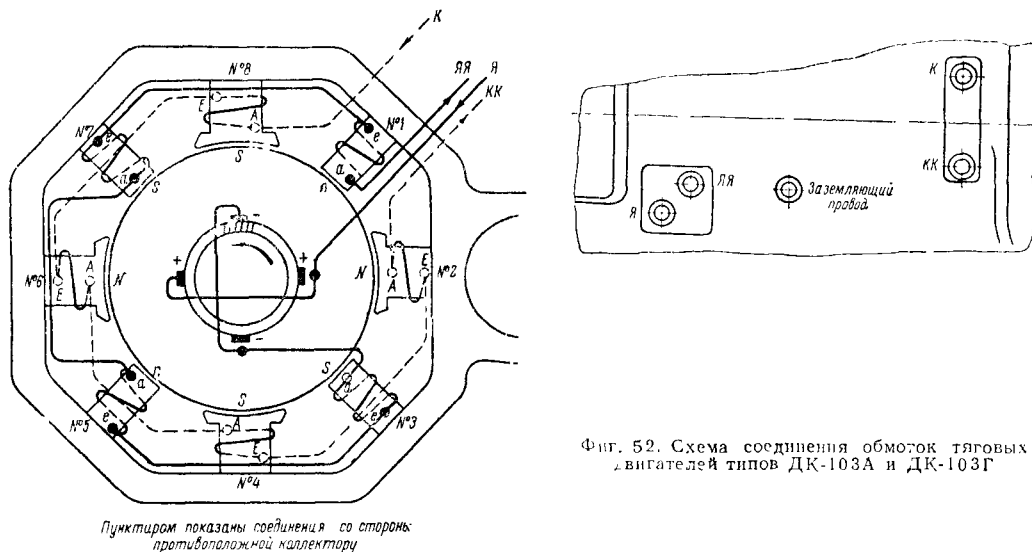
Фиг. 50. Катунка обмотки являя тягОВОГО двигателя типа ДК-103Г

	Наименование	Материал	Размеры	Размеры	Наименование	Материал	Размеры
1	Секции	—	—	5	Изоляция голо-	Лента шёлко-	0,15×20×6,5 м
	Изоляция про-	Лента бумажно-	0,1×20×32 м	6	ловый и кондов	сплодная 4505	
	вода	сплодная 4502		7	Прокладка в	Слюда 4104	0,1×12,5×50
5	Изоляция пак-	То же	0,13×20×40 м	8	конца	» 4105	0,04×12,5×30
6	ет				Прокладка в	» 4105	
7	Изоляция сек-	Лента стеклян-	0,15×25×90 м		угля		
	ции	ная пропитанная			Дополнительная	Тафтяная лента	0,28×20×1,4 м
		1412			изоляция	3307	



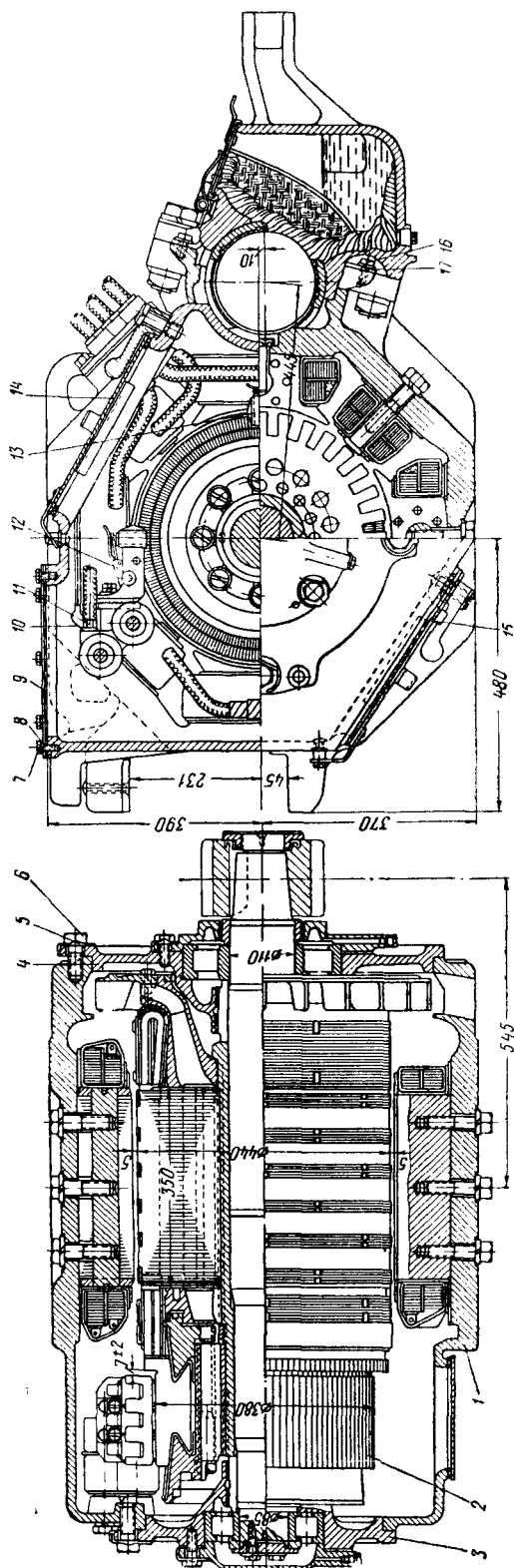
Фиг. 51. Катушка главного полюса тяговых двигателей типов ДК-103Г и ДК-103А

Позиция	Наименование	Материал	Размеры	Позиция	Наименование	Материал	Размеры
1	Обмотка	—	—	7	Изоляция под переход	Миканит прокладочный 4206	0,5×65×65
2	Изоляция между витками	Асбестовая бумага 1401	0,3×36×110 м	8	Скоба выводная	—	—
3	Изоляция катушки	Лента асбестовая 1303	0,4×25×16 м	9	Изоляция под вывод	Миканит гибкий 4406	0,5×36×100
4	То же	Лента бумажно-слодяная 4504	0,13×30×122 м	10	Заполнитель	Замазка 8601	—
5	»	Лента киперная 3208	0,4×30×31 м	11	Кабель	—	—
6	Изоляция второго и прочих последующих витков	Лента бумажно-слодяная 4504	0,13×30×6 м	12	Фанерка	—	—
				13	Скоба выводная	—	—
				14	Изоляция под вывод	Миканит гибкий 4406	0,5×70×120
				15	Припой	ПСР-45	0,1×25×30

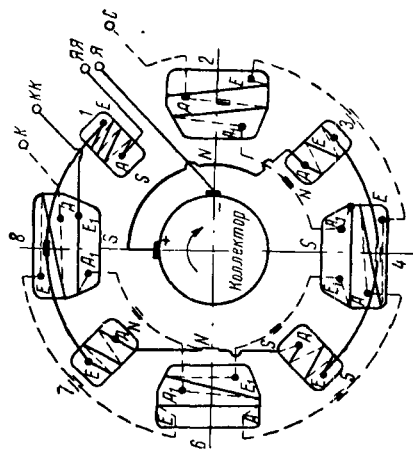


Фиг. 52. Схема соединения обмоток тяговых двигателей типов ДК-103А и ДК-103Г

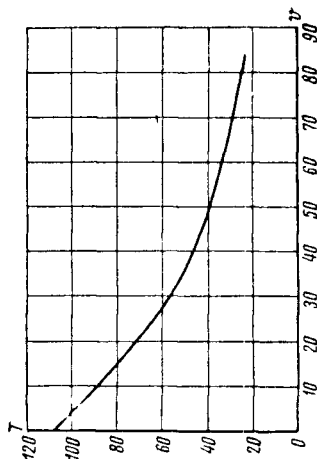
ЧЕРТЕЖИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТИПОВ ДПИ-150 и ДПИ-152



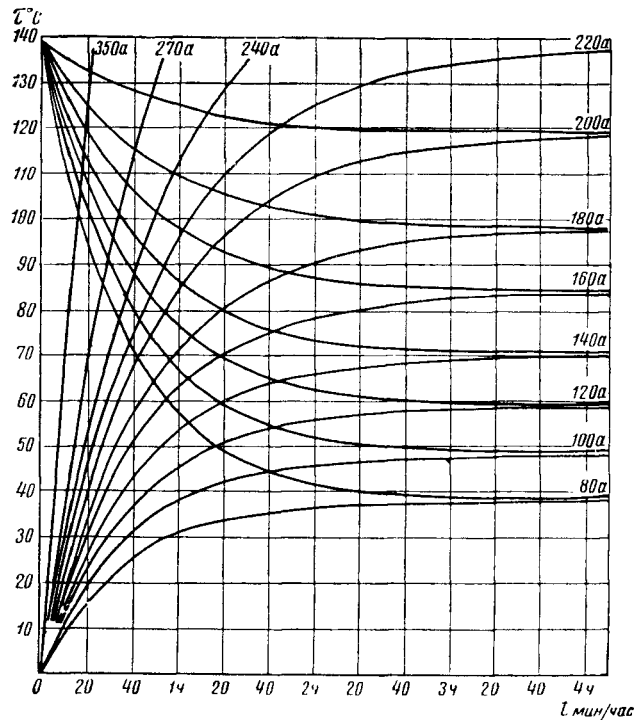
Фиг. 55. Продольный и поперечный разрезы двигателя типа ДПИ-150: 1—остов; 2—якорь; 3—4—подшипниковые щиты; 5—шайба лепестковая; 6, 7, 11, 16—болты; 8, 17—шайбы пружинные; 9—сетка отверстия для входа воздуха; 10—шайба предохранительная; 12—13—щеткодержатели; 14—крышка верхнего коллекторного люка; 15—крышка нижнего коллекторного люка



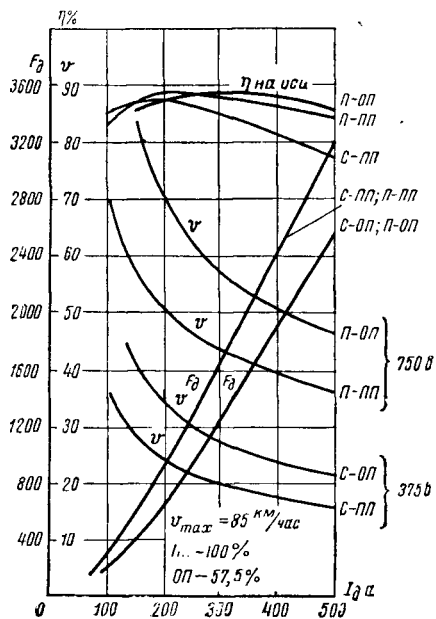
Фиг. 56. Схема соединения обмоток тяговых двигателей типов ДПИ-150 и ДПИ-152



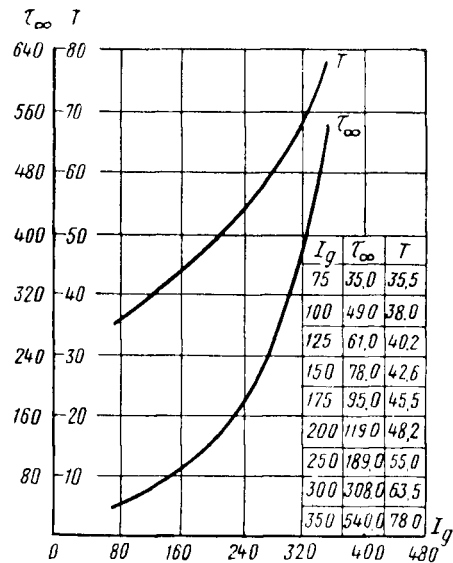
Фиг. 57. Тепловая постоянная времени обмотки якоря двигателей типов ДПИ-150 и ДПИ-152 при $I = 0$ (моторный вагон Сд)



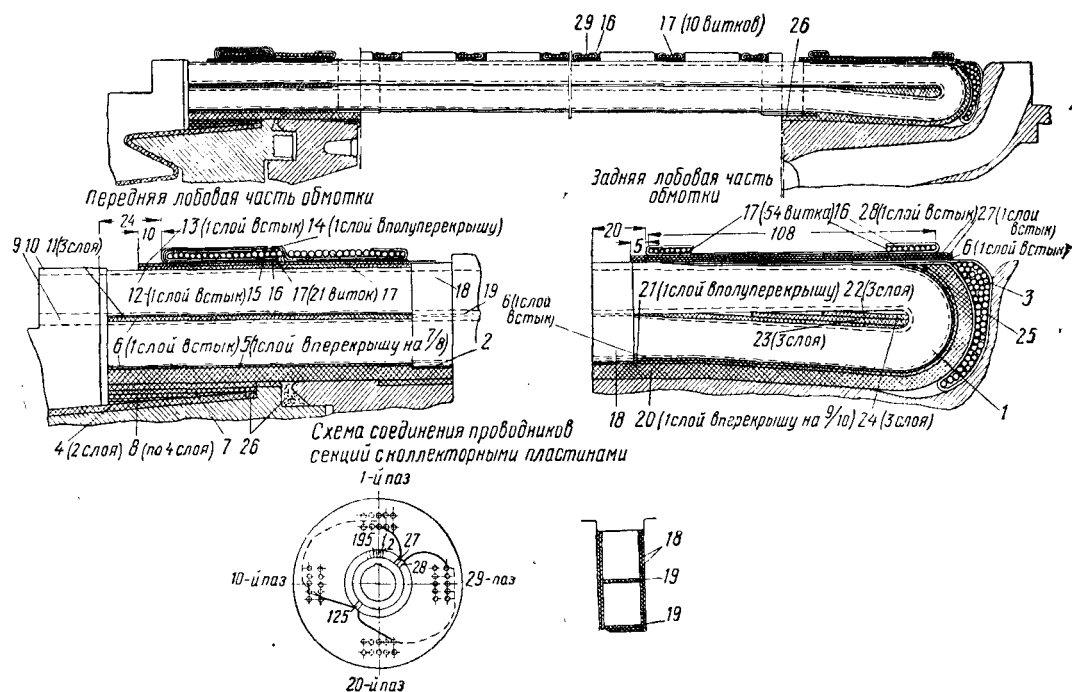
Фиг. 58. Сетка кривых нагрева и охлаждения тяговых двигателей типов ДПИ-150 и ДПИ-152 (для обмотки якоря) при полном поле $U_d = 750$ в



Фиг. 59. Электромеханические характеристики тяговых двигателей типов ДПИ-150 и ДПИ-152 на ободе колеса моторного вагона Сд при $U_d = 750/375$ в, $D_{БК} = 1050$ мм, $\mu = 3,69$

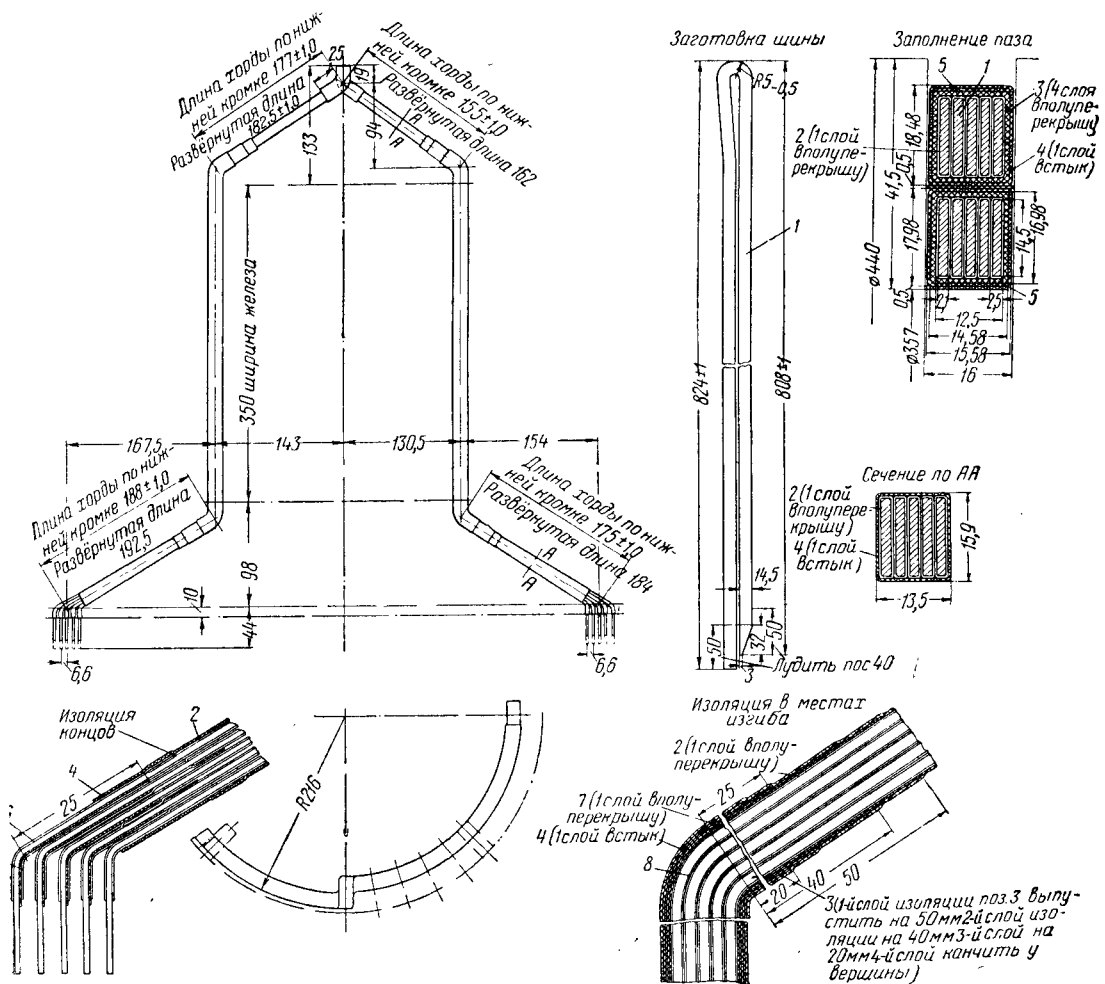


Фиг. 60. Тепловые параметры тяговых двигателей типов ДПИ-150 и ДПИ-152 (для обмотки якоря) при полном поле и $U_d = 750$ в



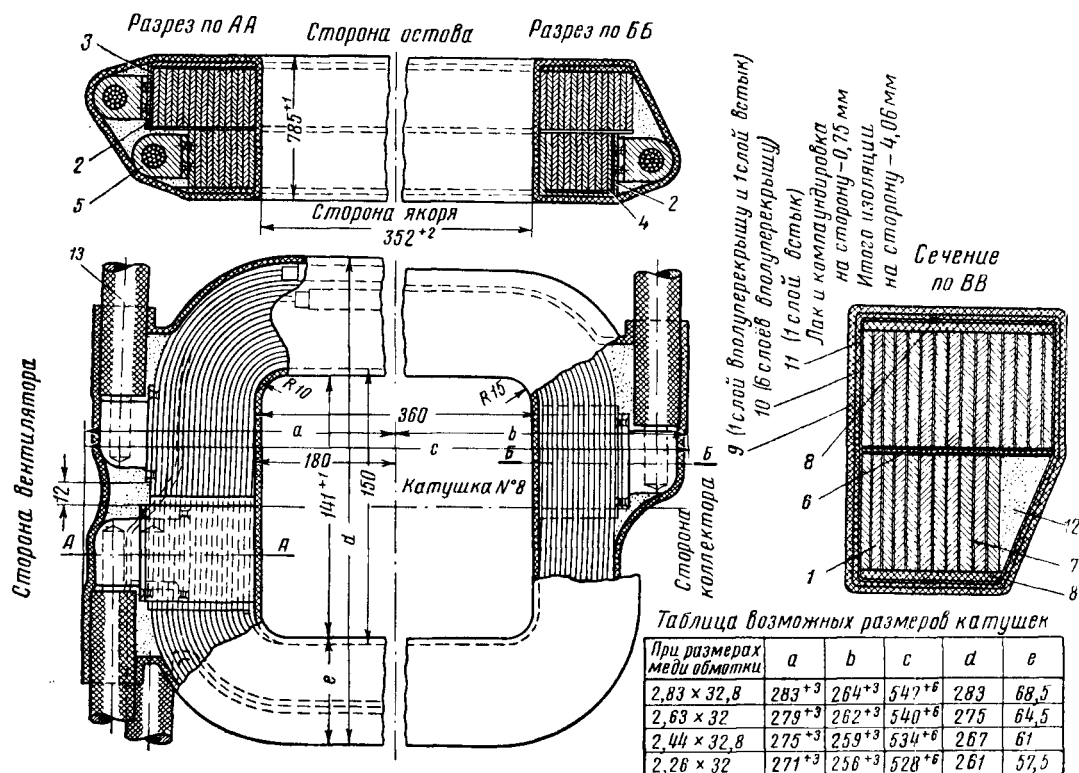
Фиг. 61. Обмотка якоря тяговых двигателей типов ДПИ-150 и ДПИ-152

Позиция	Наименование	Материал	Размеры	Позиция	Наименование	Материал	Размеры
1	Секция обмотки	—	—	18	У-образная изоляция	Миканит ГФ-2 ГОСТ 6120—52	0,5×30×90
2	Выравнивающая изоляция	Миканит ГФ-2 ГОСТ 6120—52	0,5×28×545	19	Прокладка	Электрокартон ЭВ пропитанный ГОСТ 2824—45	0,5×30×90
3	Заполнитель	Шнур кручёный Миканит ГФ-2	Ø2×75 м 0,5×15×535	20	Изоляция задней нажимной шайбы	Миканит ГФ-2А ГОСТ 6121—52	0,15×14×380
4	Выравнивающая изоляция	Миканит ГФ-2	0,5×130×227	21	Изоляция задней нажимной шайбы	Миканит ГФ-2А ГОСТ 6120—52	0,5×100×200
5	Изоляция передней лобовой части от корпуса	То же	0,5×130×227	22	Изоляция между нижними и верхними лобовыми частями секций	То же	0,5×100×185
6	Крепёжная лента	Лента киперная ГОСТ 4514—48	0,4×20×100 м	23	Изоляция между нижними и верхними лобовыми частями секций	Миканит ПФ-2 ГОСТ 612—152	0,5×100×203
7	Выравнивающая изоляция	Миканит ГФ-2 ГОСТ 6120—52	0,5×30×535	24	Изоляция между нижними и верхними лобовыми частями секций	То же	0,5×62×203
8	То же	То же	0,5×54×545	25	Чехол на задней лобовой части	Полотно суровое, арт. 351 ГОСТ 30230—40	0,5×34×203
9	Расклинка	Медь шинная ГОСТ 434—53	2,1×3,53×22	26	Заполнитель	По потребности	1×120×226
10	•	То же	2,1×2×22	27	Изоляция под задней лобовой бандаж	Миканит ПФ-2А ГОСТ 6121—52	1×120×226
11	Изоляция между верхними и нижними лобовыми частями секций	Миканит ПФ-2А ГОСТ 6121—52	0,5×130×308	28	То же	Электрокартон ЭВ пропитанный ГОСТ 2824—45	1×120×226
12	Изоляция под передней лобовой бандаж	Миканит ПФ-2А ГОСТ 6121—52	1×105×225	29	Изоляция под бандаж по железу	Электрокартон ГОСТ 2824—45	0,5×26×1350
13	То же	Электрокартон ЭВ пропитанный ГОСТ 2824—45	1×105×225				
14	Изоляция переднего лобового бандажа	Миканит ПФ-2А ГОСТ 6121—52	0,25×50×130				
15	Чехол на переднюю лобовую часть	Полотно суровое арт. 351 ГОСТ 30230—40	0,4×130×140				
16	Скобочка под бандаж	Жесть белая № 27 ГОСТ 5343—50	0,25×15				
17	Бандаж	Проволока бандажная лужёная ГОСТ 20021—38	Ø2×216 м				



Фиг. 62. Катушка обмотки якоря и изоляция паза двигателей типов ДПИ-150 и ДПИ-152

Позиция	Наименование	Материал	Размеры	Позиция	Наименование	Материал	Размеры
1	Медь шинная	Медь проводниковая ГОСТ 434—41	2,1×14,5×1654	5	Прокладка	Миканит ПФ2 ГОСТ 6121—52	0,5×14×390
2	Изоляция шины	Бумажная микалента ГОСТ 4268—48	0,1×20×5,5 м	6	Изоляция головки и концов секции	Шелко-микалента ТУ—328 з-да «Динамо»	0,15×20×4 м
3	Изоляция пакета пазовой части	Микалента ЛФ-Ч1 ГОСТ 4268—48	0,13×20×30 м	7	Прокладка	Миканит ГФ2 ГОСТ 6120—52	0,25×15×45
4	Изоляция всей секции	Асбестовая лента ТУ НКХП 147-Н	0,4×20×520	8	»	Слюда Мусковит ГОСТ 3028—45	0,05×15×35

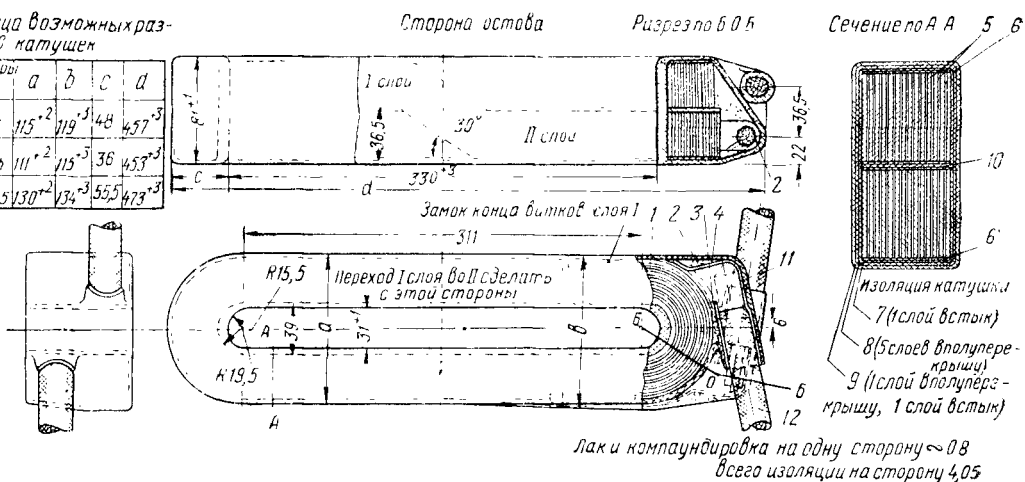


Фиг. 63. Катушка главного полюса двигателей типов ДПН-150 и ДПН-152

Позиции	Наименование	Материал	Размеры	Позиции	Наименование	Материал	Размеры
1	Медь катушки	Медь шинная ГОСТ 434—41	2,44×32,8	7	Изоляция между витками	Асбестовая бумага ГОСТ 2630—44	0,3×33×39,8 м
2	Пластина выводная	—	—	8	Прокладка выравнивающая	—	—
3	Подкладка под выводную пластину	Миканит ГФ2 ГОСТ 6120—52	0,5×50×96	9	Изоляция катушки	Лента киперная ГОСТ 4514—43	0,45×30×40 м
4	То же	То же 6120—50	0,5×60×80	10	То же	Микалента ЛФ-Ч1 ГОСТ 4268—48	0,13×30×120 м
5	Патрон	—	—	11	»	Лента асбестовая Техн. усл. НХКП-147-Н	0,4×30×12,9 м
6	Изоляция между слоями	—	—	12	Заполнитель	Замаска	—
				13	Провод выводной	—	—

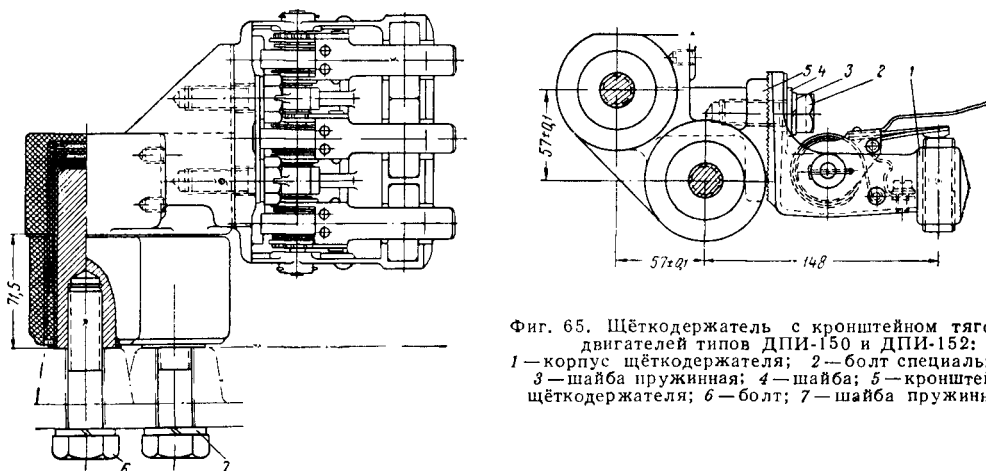
Таблица возможных размеров катушек

Размеры меди	a	b	c	d
2,1×35	115 ⁺²	119 ⁺³	148	457 ⁺³
1,95×35	111 ⁺²	115 ⁺³	38	453 ⁺³
2,65×35	130 ⁺²	134 ⁺³	55,5	473 ⁺³



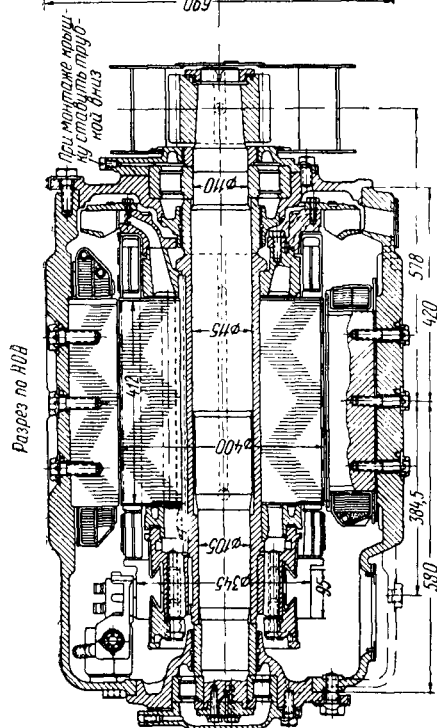
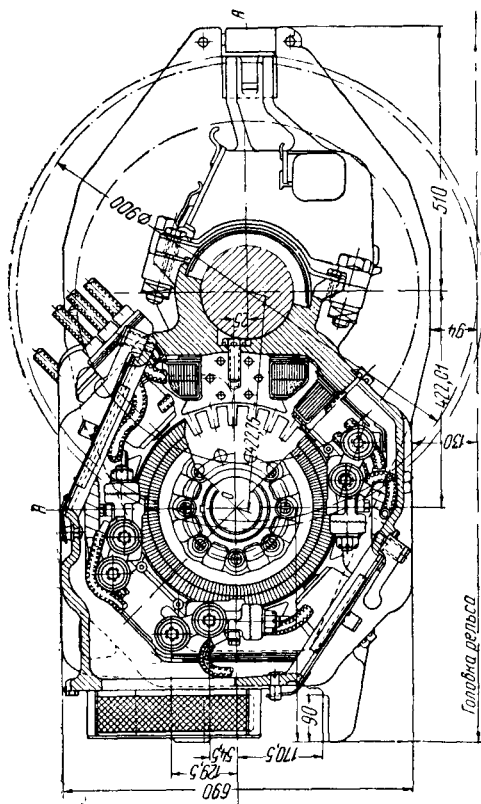
Фиг. 64. Катушка добавочных полюсов тяговых двигателей типов ДПИ-150 и ДПИ-152

Позиция	Наименование	Материал	Размеры	Позиция	Наименование	Материал	Размеры
1	Медь катушки	Медь шинная ГОСТ 6324—52	См. табл.	7	Изоляция	Асбестовая лента ТУ НХКП № 147-Н	0,4×30×8 м
2	Патрон	—	—	8	»	Микалента ЛФ Ч1 ГОСТ 4268—48	0,15×30×12 м
3	Заклёпка медная	Медь ГОСТ 859—41	—	9	Изоляция покровная	Лента киперная ГОСТ 4514—48	0,45×30×28 м
4	Заполнитель	Замазка	—	10	Изоляция между слоями	—	—
5	Изоляция между витками	Асбестовая бумага ГОСТ 2630—44	0,30×36×23 м	11	Жакетик	—	—
6	Прокладка	—	—	12	Провод	—	—

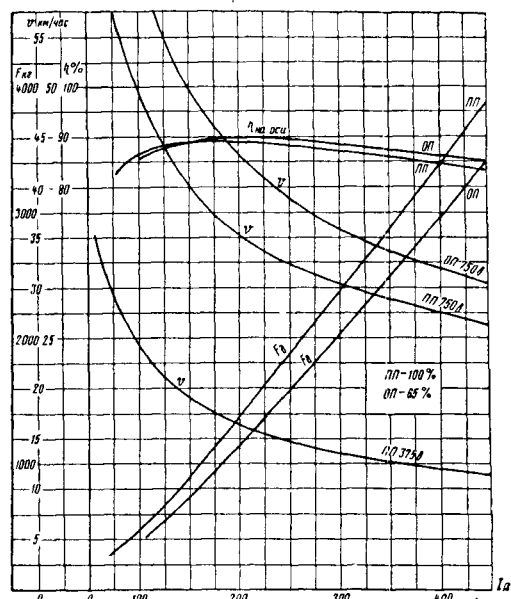
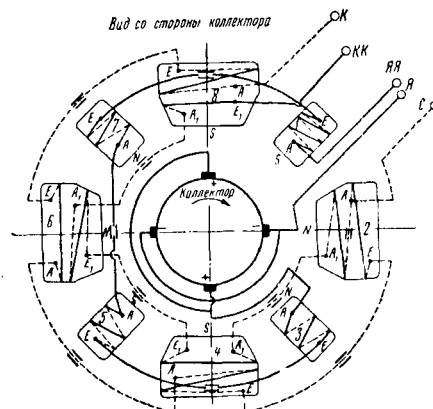


Фиг. 65. Щёткодержатель с кронштейном тяговых двигателей типов ДПИ-150 и ДПИ-152: 1 — корпус щёткодержателя; 2 — болт специальный; 3 — шайба пружинная; 4 — шайба; 5 — кронштейн щёткодержателя; 6 — болт; 7 — шайба пружинная

ЧЕРТЕЖИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТИПОВ ДМП-150 и ДМП-151

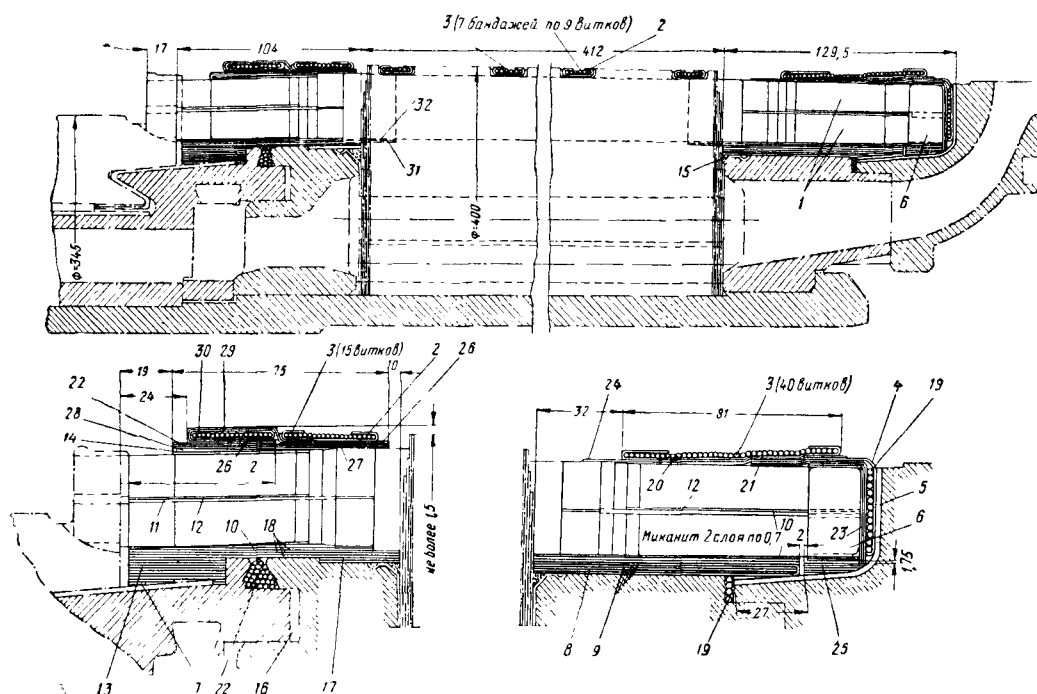


Фиг. 66. Общий вид тягового двигателя типа ДМП-151

Фиг. 67. Электромеханические характеристики тяговых двигателей типов ДМП-150 и ДМП-151 на ободу колеса моторных вагонов метро типов А и Б при $U_d = 750/375$ в, $D_{вк} = 900$ мм, $\mu = 3,95$ 

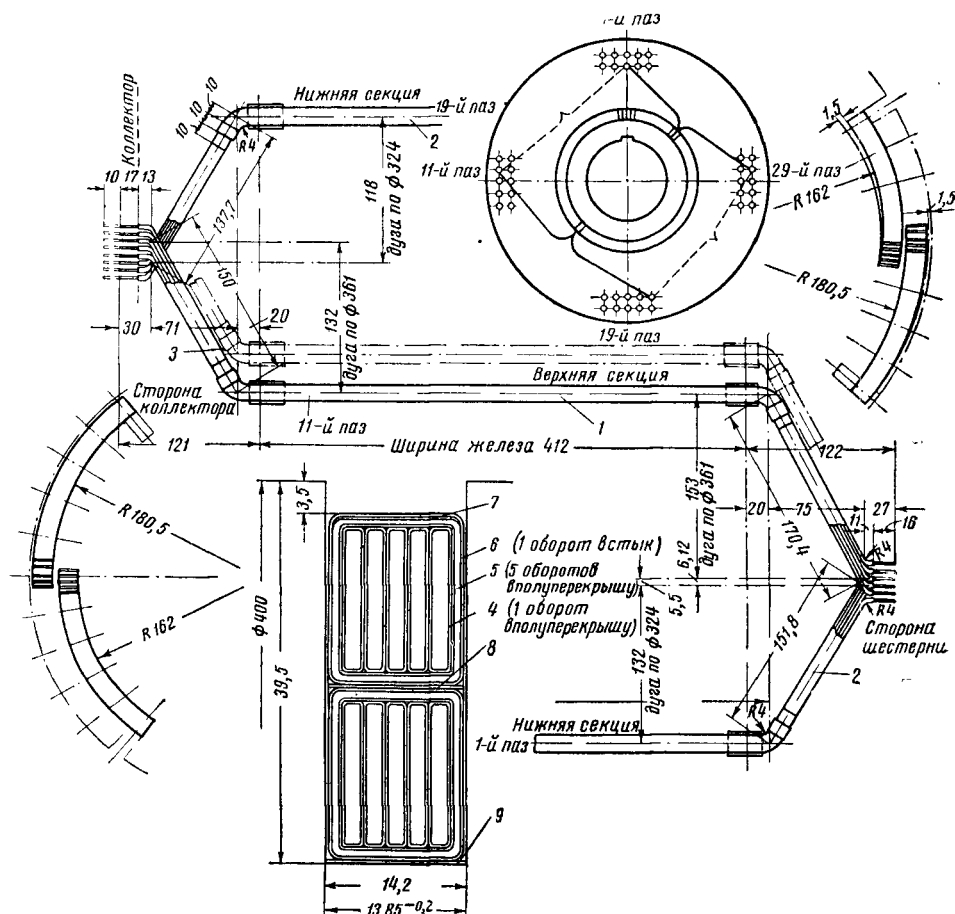
Схемы соединения выводов		100 % поле		65 % поле	
Направление вращения двигателя если смотреть со стороны коллектора	По часовой стрелке				
	Против часовой стрелки				

Фиг. 68. Схема соединения обмоток тяговых двигателей типов ДМП-150 и ДМП-151 (сплошными линиями показаны соединения, находящиеся на стороне коллектора, пунктирными — на стороне вентилятора)



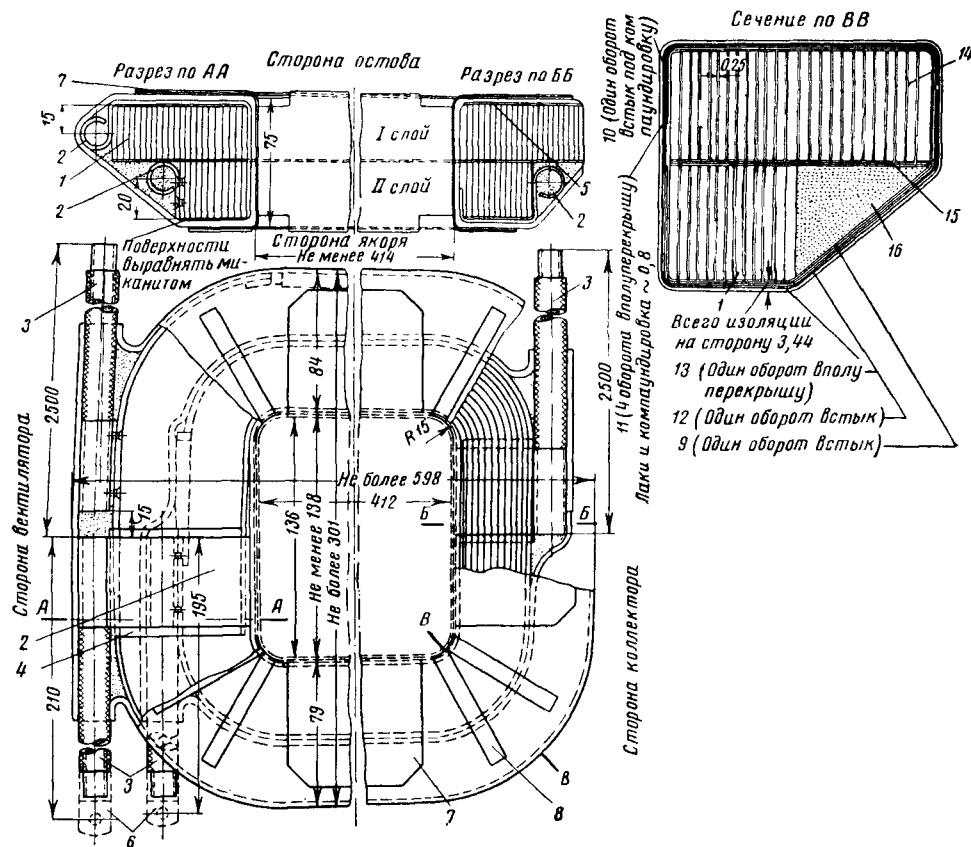
Фиг. 69. Обмотка якоря тяговых двигателей типов ДМП-151 и ДМП-150

Позиции	Наименование	Материал	Размеры	Позиции	Наименование	Материал	Размеры
1	Секция обмотки	—	—	17	Изоляция нажимной шайбы	Полотно промасленное	0,65×29×2 м, два слоя
2	Скоба под бандаж	Жесть	0,3×20	18	То же	—	—
3	Бандаж	Проволока стальная	Ø 2×185 м	19	Заполнение	Бечёвка пропитанная	Ø 2×20 м
4	Чехол	Полотно простое пропитанное	0,2×100×1,25 м	20	Изоляция	Миканит	0,3×75×1,25 м, два слоя
5	Изоляционная шайба	—	—	21	»	Миканит	0,5×60×80, один слой вперекрышу
6	Соединительная скоба	—	—	22	Заполнение	Киперная лента пропитанная	Толщина 0,2, длина по месту
7	Изоляция	Кембриковая лента	Толщина 0,2, длина по месту	23	Изоляция	Миканит	0,3×35×35
8	Чехол	Полотно пропитанное	0,2×200×1 м	24	»	Летеронд пропитанный и просушенный	0,5×100×1,25
9	Изоляция нажимной шайбы	—	—	25	»	Липкая лента (изоляция)	По месту
10	То же	Миканит гибкий	0,5×58×1,25 м	26	»	Летеронд пропитанный и просушенный	0,5×33×1,25 м
11	Изоляция между секциями	Миканит	0,7×77×1,15 м	27	»	Миканит гибкий	0,3×75×2,5 м, два слоя
12	То же	»	0,7×70×1,15 м	28	Изоляция выравнивающая	»	0,5×25, длина по месту
13	Изоляция	Миканит гибкий	Толщина 0,7, длина по месту	29	Чехол	Асбестовое полотно пропитанное	0,4×100×1,3 м
14	Чехол	Полотно простое пропитанное	0,2×120×1,25 м	30	Чехол	Миканит гибкий	0,15×80×255
15	Заполнитель	Асбестовый шнур пропитанный	—	31	U-образная изоляция на концах паза	Аитивольтон пропитанный и просушенный	1×30×90
16	Кольцо	Электрокартон пропитанный	Ø 290/250×2,5	32	То же	Миканит гибкий	0,5×30×88



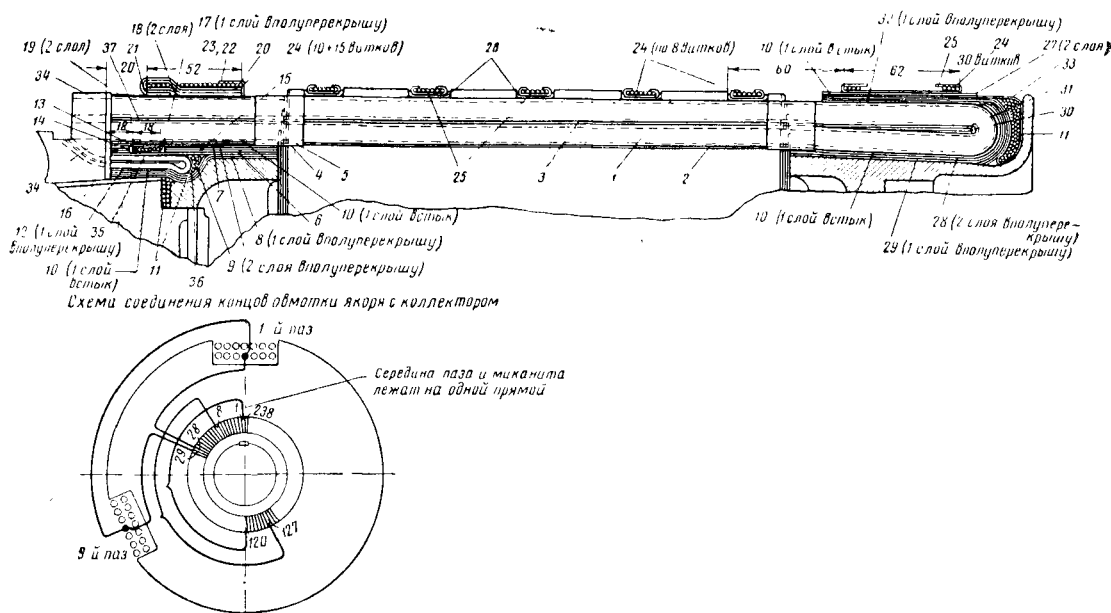
Фиг. 70. Катушка обмотки якоря и изоляция паза двигателей типов ДМП-150 и ДМП-151

Позиция	Наименование	Материал	Размеры	Позиция	Наименование	Материал	Размеры
1	Верхняя секция	Шинная медь	1,81×14,5	6	Изоляция секции	Асбестовая лента	Толщина 0,4
2	Нижняя »	» »	1,81×14,5	7	Прокладка верхняя	Миканит	» 0,5
3	Изоляция на изгибе секций	Миканит гибкий	0,3×18×35	8	Прокладка средняя	»	» 0,5
4	Изоляция шин обмотки	Миканитовая лента	Толщина 0,1	9	Прокладка нижняя	»	» 0,25
5	Изоляция секции	То же	» 0,1				



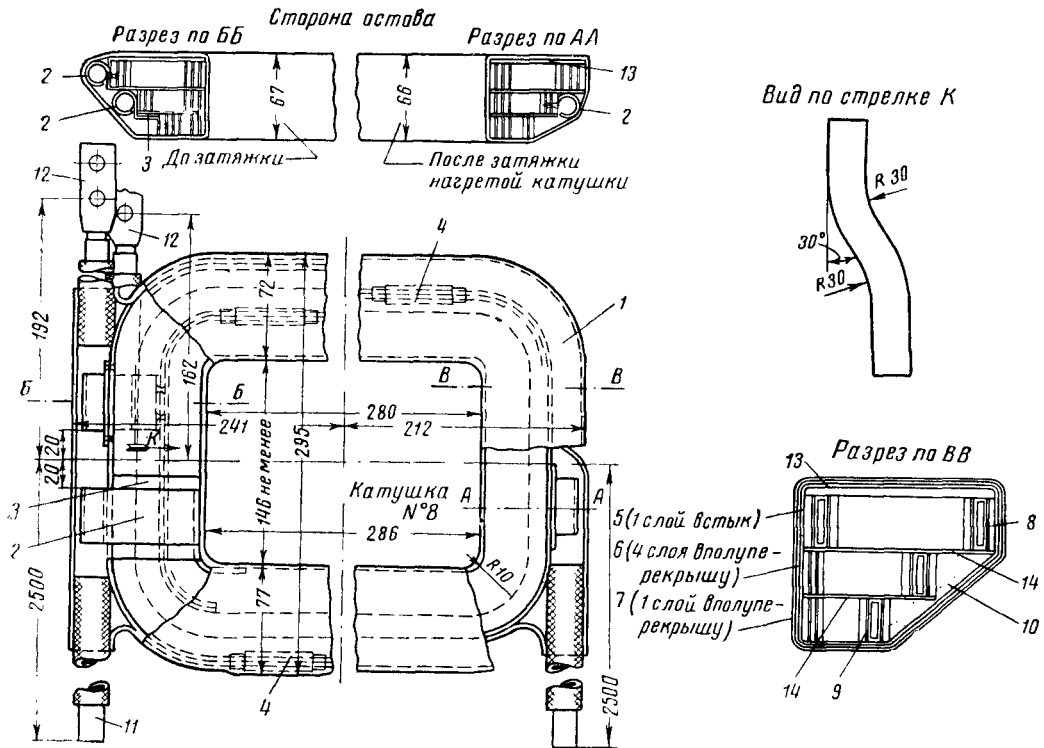
Фиг. 71. Катушка главного полюса (№ 8) тяговых двигателей типов ДМП-150 и ДМП-151

Позиция	Наименование	Материал	Размеры	Позиция	Наименование	Материал	Размеры
1	Медь обмотки катушки	Медь проводниковая	2,44×30	9	Изоляция катушки	Лента киперная	Толщина 0,4
2	Выводы	—	—	10	Временный бандаж	Лента тафтяная	» 0,2
3	Кабель	ПМУ	60 мм ²	11	Изоляция катушки	» миканитовая	» 0,13
4	Подкладка под вывод	Асбестовая бумага	0,3 мм	12	То же	Лента киперная	» 0,4
5	Подкладка для выравнивания торца	Миканит	0,7 мм 0,5	13	»	» асбестовая	» 0,4
6	Трубка на конец кабеля	Медь листовая	0,5×45×45	14	Изоляция между витками	Миканит	» 0,25
7	Рамка	—	—	15	Фанерка	Асбестовая бумага Миканит Асбестовая бумага	» 0,25 » 0,5 » 0,25
8	Прокладки под углы катушек	Промасленный электрокартон	0,5×20×180	16	Замазка	—	—



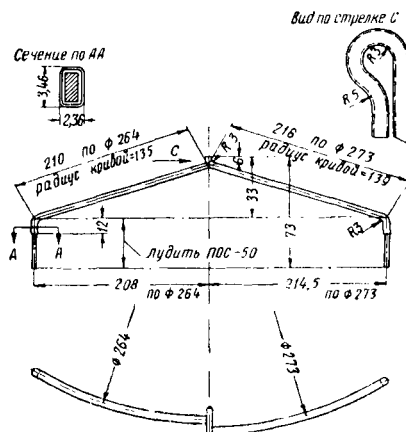
Фиг. 74. Обмотка якоря (комплект) двигателя типа ДК-102Д

Позиции	Наименование	Материал	Размеры	Позиции	Наименование	Материал	Размеры
1	Секция якоря	—	—	20	Изоляция бандажа	Полотно суровое 3202	0,4×70×1200
2	Прокладка на дно паза	Бумага асбестовая 1401	0,5×12×300	21	То же	Миканит гибкий 4407	0,25×50×75
3	Прокладка между слоями	То же	0,5×12×300	22	Скоба под бандаж	Жесть белая	0,25×12×100
4	U-образная изоляция	Миканит гибкий 4407	0,5×25×75	23	То же	» »	0,25×12×80
5	То же	Электрокартон пропитанный 3335	0,5×25×75	24	Бандаж	Проволока бандажная	∅ 2×120 м
6	Изоляция нажимной шайбы	Миканит формовочный 4304	—	25	Скоба под бандаж	Жесть белая	0,25×12
7	То же	То же	—	26	Изоляция под бандаж	Электрокартон пропитанный 3335	0,5×25×1200
8	Изоляция	Миканит гибкий 4407	0,5×50×95	27	То же	То же	0,5×90×1200
9	»	То же	0,5×50×55	28	Изоляция нажимной шайбы	Миканит гибкий 4407	0,5×50×150
10	Лента крепёжная	Лента киперная 3308	0,47×30×125 м	29	То же	Бумага асбестовая 1401	0,5×50×150
11	Заполнитель	Бечёвка 3333	∅ 2×75 м	30	Изоляция между головками	То же	0,5×60×350
12	Изоляция между уравнительными соединениями	Миканит гибкий 4407	0,5×35×200	31	То же	Миканит гибкий 4407	0,5×75×350
13	Скоба	Жесть белая	0,25×12×50	32	Изоляция лобовой части	То же	0,5×50×125
14	Бандаж	Проволока бандажная	∅ 1×13 мм	33	Чехол	Полотно суровое 3202	0,4×280×1200
15	Изоляция	Миканит гибкий 4407	0,5×50×50	34	Клин	Медь обмоточная	1×5,5×20
16	»	То же	0,5×15×50	35	Уравнительное соединение	—	—
17	»	»	0,3×55×55	36	Изоляция	Полотно суровое 3202	0,4×70×900
18	Изоляция под бандаж лобовой части	»	0,5×77×1200	37	Изоляция лобовой части	Миканит гибкий 4407	0,5×77×1000
19	То же	Электрокартон пропитанный 3335	0,5×77×1200				



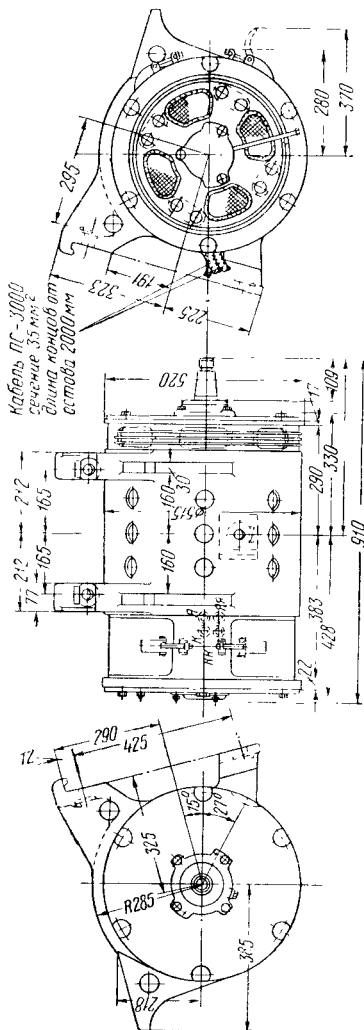
Фиг. 77. Катушка главных полюсов тягового двигателя типа ДК-102Г

Позиция	Наименование	Материал	Размеры	Позиция	Наименование	Материал	Размеры
1	Катушка № 8	—	—	8	Изоляция между витками	Асбест 1401	0,35×20,5×22 м
2	Вывод	—	—	9	То же	» 1401	0,35×15,5×20 м
3	Изоляция под вывод	Миканит 4406	0,5×60×90	10	Заполнитель	Замазка 8601	—
4	Скрепляющая скоба	Жесть белая	0,25×50	11	Кабельное соединение	—	—
5	Изоляция катушки	Асбестовая лента 1303	0,4×25×16 м	12	Кабель с накопечником	—	—
6	То же	Бумажно-слодяная лента 4504	0,13×30×120 м	13	Прокладка выравнивающая	Асбестовая бумага 1408	0,5×282×417
7	»	Киперная лента 3208	0,4×30×25 м	14	Прокладка между слоями	—	—

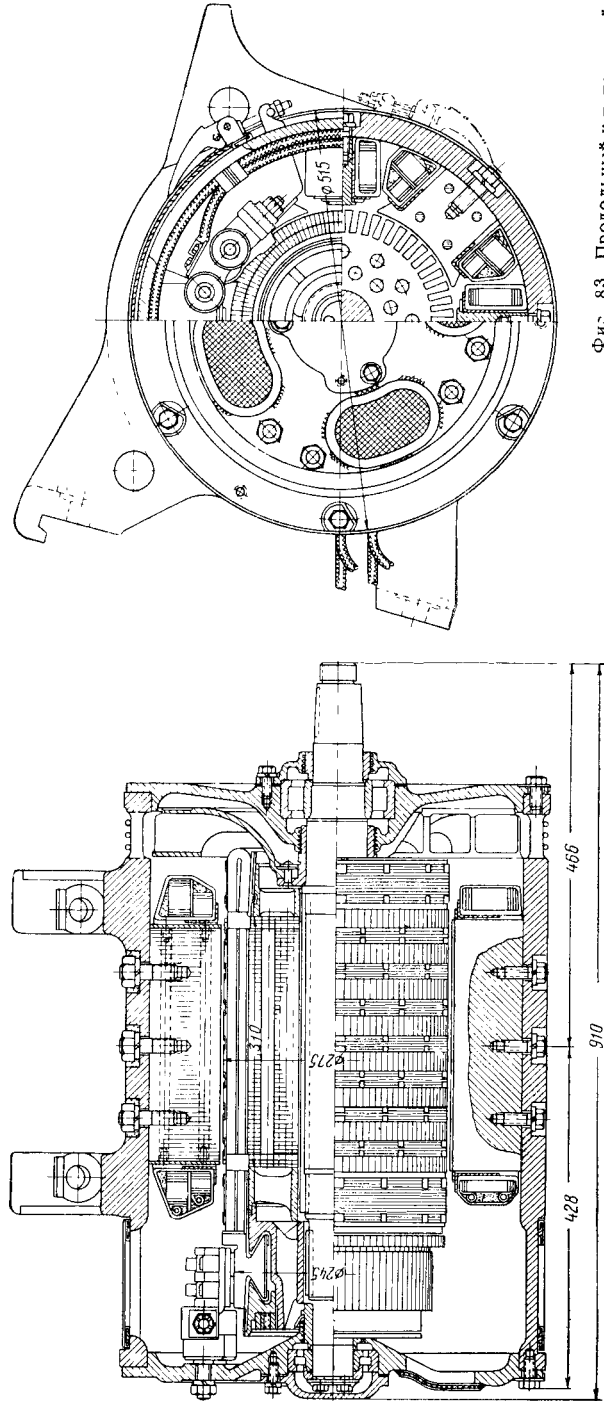


Фиг. 78. Уравнивающее соединение двигателя типа ДК-102Д

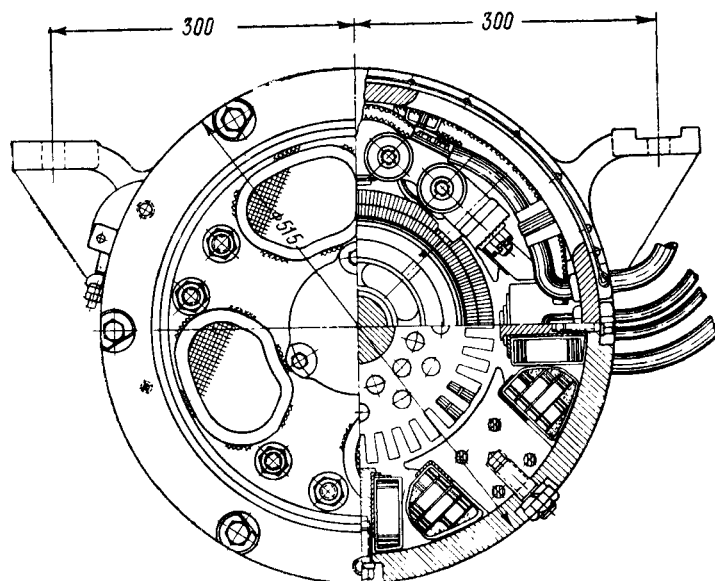
ЧЕРТЕЖИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТИПОВ ДК-104А, ДК-104Б, ДК-104Г



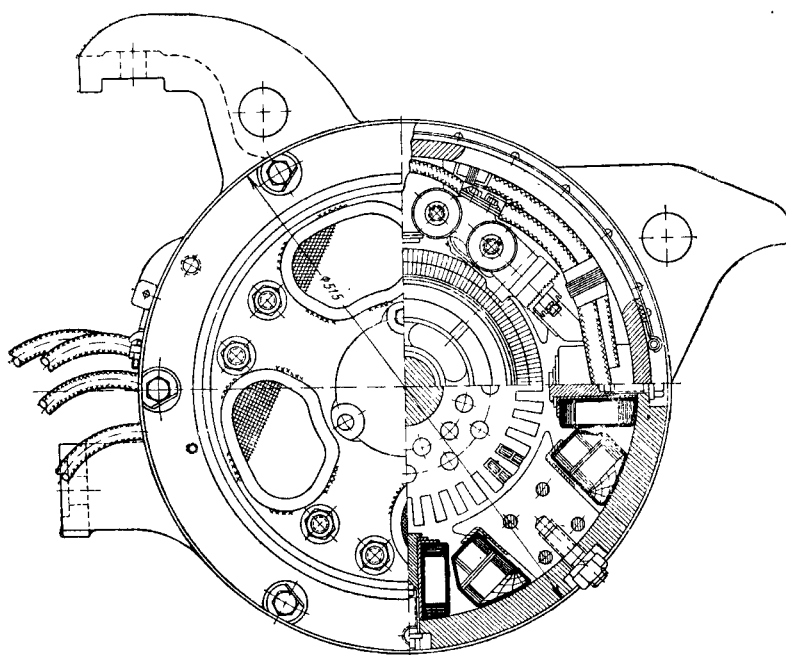
Фиг. 82. Габаритные размеры двигателя типа ДК-104Г



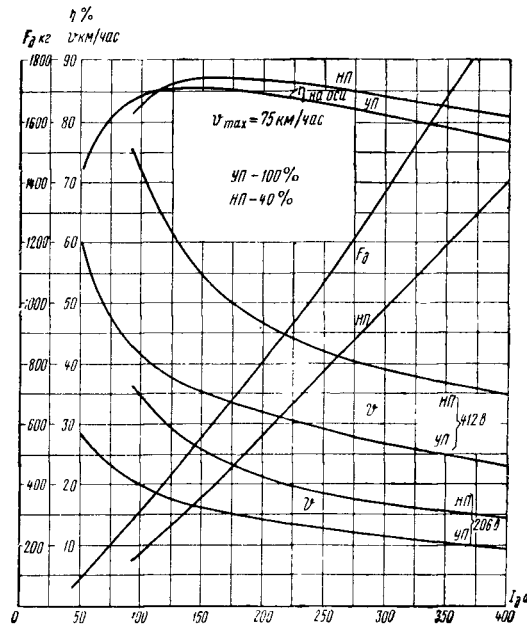
Фиг. 83. Продольный и поперечный разрезы двигателя типа ДК-104Г



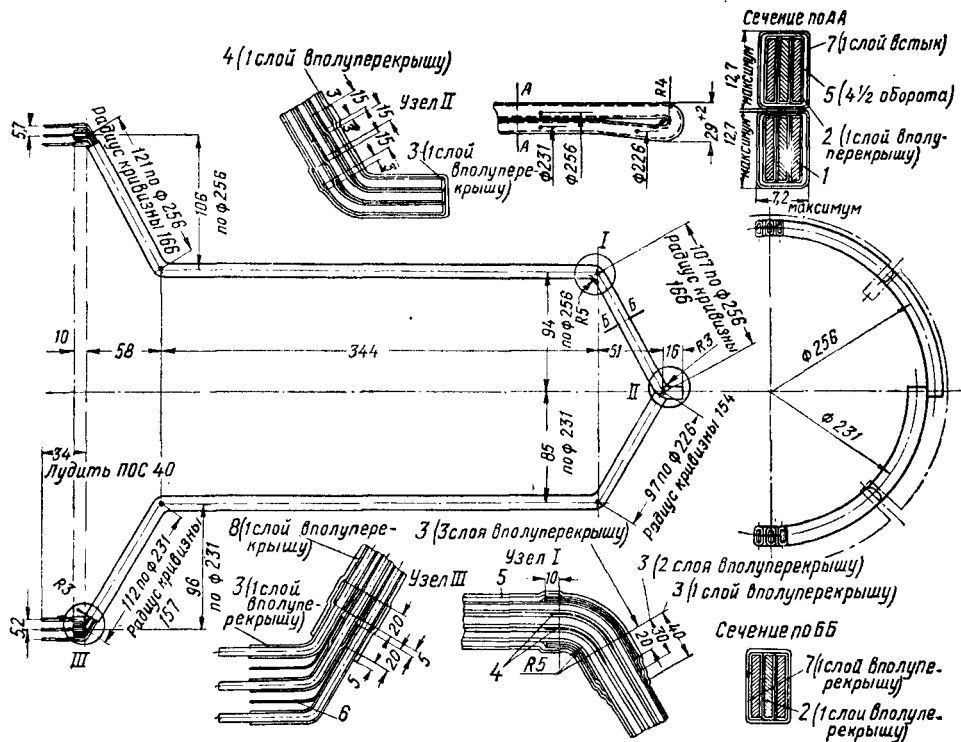
Фиг. 84. Поперечный разрез двигателя типа ДК-104А



Фиг. 85. Поперечный разрез двигателя типа ДК-104Б

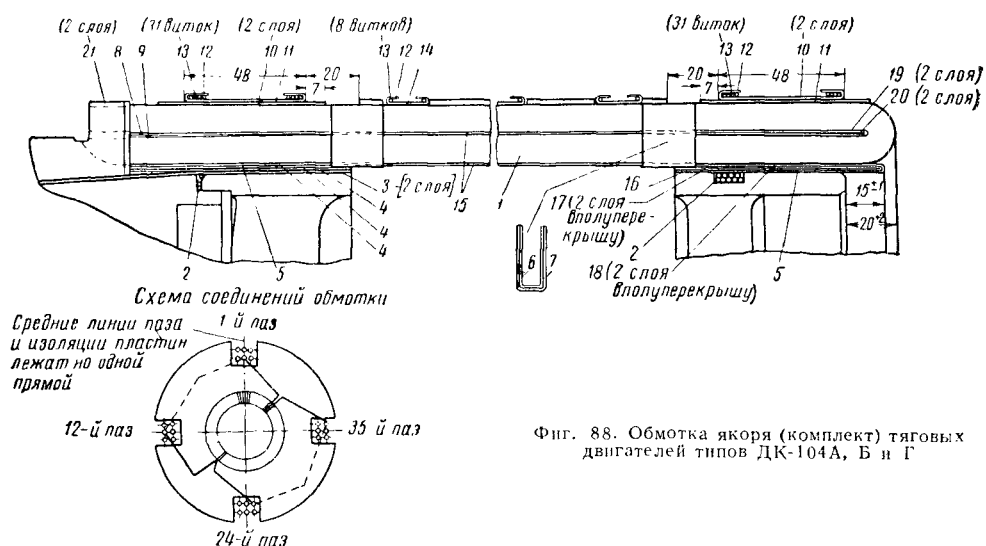


Фиг. 86. Электромеханические характеристики тяговых двигателей типов ДК-104Б и ДК-104Г на ободу колеса моторных вагонов метро типа Д при $U_0 = 412/206$ в, $D_{вк} = 900$ мм, $\mu = 5,73$



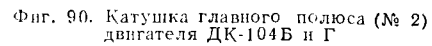
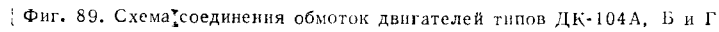
Фиг. 87. Секция обмотки якоря тягового двигателя типа ДК-104Г
(Спецификацию см. на следующей странице)

Позиции	Наименование	Материал	Размеры	Позиции	Наименование	Материал	Размеры
1	Шина медная прямоугольная	Медь проводниковая	1,45×10	4	Прокладка углов секций	Слюда 4104	0,04×10×30
2	Изоляция шин	Лента бумажная слесидная 4502	0,08×20×8,5 м	5	Изоляция паке-та	Микашёлк 4601	0,2×140×334
3	Изоляция концов и углов	Лента шёлково-слюдяная 4505	0,15×20×4,5 м	6	Прокладка на концах	Слюда 4104	0,1×10×30
				7	Изоляция секции	Лента стеклян-ная пропитанная 1412	0,15×25×2 м

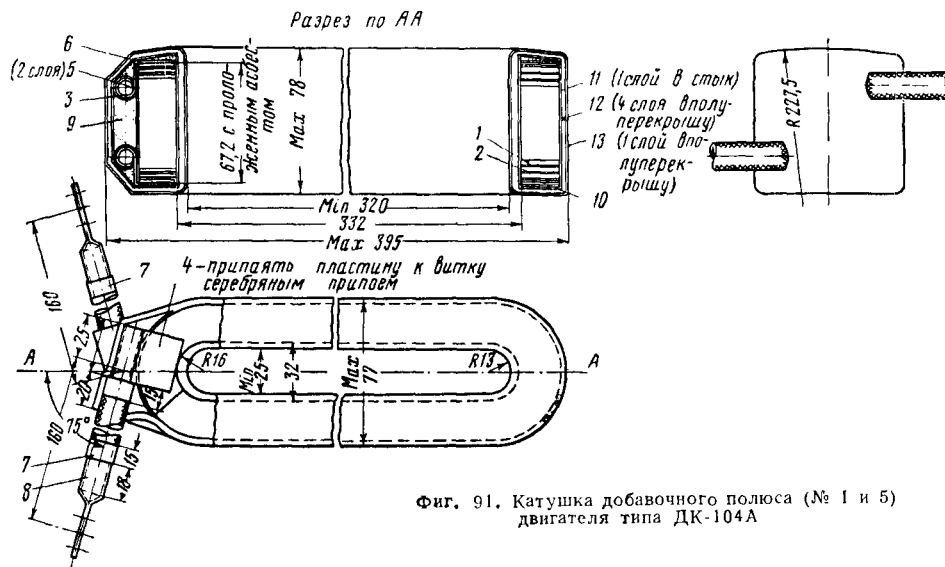


Фиг. 88. Обмотка якоря (комплект) тяговых двигателей типов ДК-104А, Б и Г

Позиции	Наименование	Материал	Размеры	Позиции	Наименование	Материал	Размеры
1	Секция	—	—	11	Изоляция под бандаж	Электрокартон 3335	0,5×65×880
2	Бечёвка	Бечёвка 3333	∅ 2×6 м	12	Скоба под бандаж	Жесть белая	0,25×15
3	Выравнивающая изоляция	Асбестовая бумага 1408	0,25×60×670	13	Бандаж	Проволока бандажная	∅ 1,5×130 м
4	Изоляция нажимной шайбы	—	—	14	Изоляция под бандаж	Электрокартон 3335	0,5×18
5	Изоляция	Лента тафтяная 3320	0,24×25×25 м	15	Прокладка	Миканит прокладочный 4206	0,5×7×325
6	У-образная изоляция	Миканит гибкий 4407	0,5×20×60	16	Чехол	Полотно суровое 3202	0,4×165×700
7	То же	Электрокартон 3335	0,5×20×10	17	Изоляция нажимной шайбы	Миканит гибкий 4407	0,3×40×78
8	Изоляция между слоями обмотки	Миканит гибкий 4407	0,5×75×800	18	То же	То же	0,5×40×70
9	То же	То же	0,5×40×800	19	Изоляция	»	0,5×40×770
10	Изоляция под бандаж	»	0,3×65×880	20	»	»	0,5×60×770
				21	Клин	Медь проводниковая	1,56×3,28×20

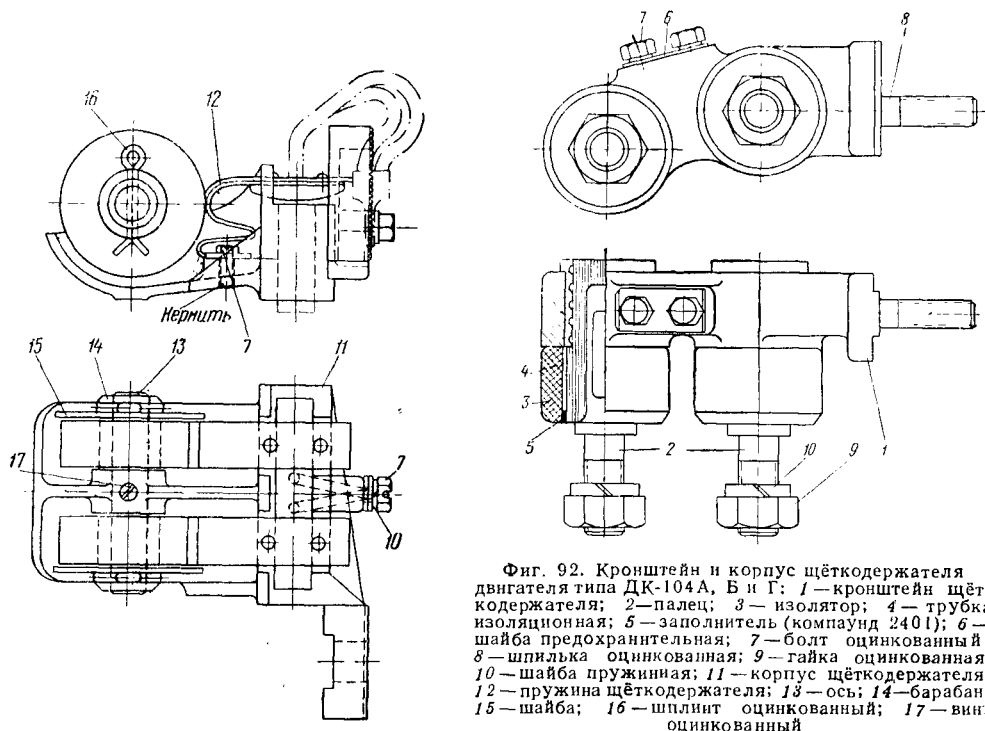


Позиция	Наименование	Материал	Размеры	Позиция	Наименование	Материал	Размеры
1	Медь катушки	Медь проводни- ковая	1,81×25	7	Кабель	ПС-3600	35 мм² × 190
2	Изоляция меж- ду витками	Бумага асбесто- вая 1408	0,35×26 × 31 мм	8	Трубка на конец кабели	МГМ	0,5 × 30 × 32
3	Пластина вы- водная	—	—	9	Вашмак кабель- ный	—	—
4	Прокладка	—	—	10	Изоляция ка- тушки	Лента асбесто- вая 1303	0,4 × 25 × 16 мм
5	Заполнитель	Замазка 8601	—	11	То же	Лента бумажно- слодная 4502	0,13 × 30 × 110 мм
6	Прокладка под переход	Микалитовая прокладка 4206	0,5 × 50 × 100	12	»	Лента киперная 3208	0,4 × 30 × 28 мм



Фиг. 91. Катушка добавочного полюса (№ 1 и 5) двигателя типа ДК-104А

Пози- ция	Наименование	Материал	Размеры	Пози- ция	Наименование	Материал	Размеры
1	Обмотка	Медь проводни- ковая	2,83×19,5	8	Трубка на ко- нец кабеля и ка- бельный башмак	Медь листовая мягкая	0,5×32×35
2	Изоляция меж- ду витками	Асбестовая бу- мага 1401	0,3×371×71	9	Заполнитель	Замозка 8601	—
3	Пластина вы- водная	—	—	10	Выравнивающая изоляция	Бумага асбесто- вая 1401	0,5×70×370
4	Припой	ПСР-53	0,1×20×30	11	Изоляция	Асбестовая лен- та 1303	0,4×25×7 м
5	Изоляция под вывод	Миканит гибкий 4408	0,25×65×70	12	»	Лента бумажно- слодная 4504	0,13×20×50м
6	Изоляция край- них витков	Лента бумажно- слодная 4504	0,13×20×8 м	13	»	Лента киперная 3805	0,4×30×12
7	Кабель вывод- ной	ПС-3000	35×165				



Фиг. 92. Кронштейн и корпус щёткодержателя двигателя типа ДК-104А, Б и Г: 1—кронштейн щёткодержателя; 2—палец; 3—изолятор; 4—трубка изоляционная; 5—заполнитель (компаунд 2401); 6—шайба предохранительная; 7—болт оцинкованный; 8—шпилька оцинкованная; 9—гайка оцинкованная; 10—шайба пружинная; 11—корпус щёткодержателя; 12—пружина щёткодержателя; 13—ось; 14—барабан; 15—шайба; 16—шпилька оцинкованная; 17—винт оцинкованный

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Вспомогательные машины имеют следующее основное назначение:

1) мотор-компрессоры вырабатывают сжатый воздух для пневматических тормозов, аппаратов управления и вспомогательных устройств;

2) мотор-вентиляторы подают воздух для охлаждения тяговых двигателей, пусковых сопротивлений и другого оборудования, рассчитанного на интенсивное охлаждение;

3) мотор-генераторы и вращающиеся преобразователи предназначены для обеспечения подвижного состава током пониженного напряжения, для питания устройств управления, освещения, сигнализации, возбуждения тяговых двигателей;

4) машины другого назначения, выполняющие вспомогательные функции.

В табл. 1 указана классификация основных видов вспомогательных машин.

МОТОР-КОМПРЕССОРЫ

Необходимая производительность компрессоров определяется в зависимости от режима работы электроподвижного состава

$$Q = \frac{q}{PB} \text{ дм}^3/\text{мин},$$

где Q — производительность компрессора в $\text{дм}^3/\text{мин}$;

q — приведённый расход воздуха подвижным составом в $\text{дм}^3/\text{мин}$;

$PВ$ — продолжительность включения при одном компрессоре обычно принимают равной 0,25, при наличии двух компрессоров равной 0,5.

Мощность, необходимая для привода компрессора, определяется по формуле

$$P = \frac{3,77 \cdot 10^{-3} Q}{\lambda \eta_{iuz} \eta_m} P_{вс} \lg \frac{p_n}{p_{вс}} \text{ кет},$$

где λ — коэффициент подачи, учитывающий потери воздуха при всасывании и нагнетании, для двухступенчатых компрессоров $\lambda = 0,78 \div 0,69$; для одноступенчатых компрессоров $\lambda = 0,71 \div 0,58$;

p_n — давление нагнетаемого воздуха;

$p_{вс}$ — давление всасываемого воздуха;

η_{iuz} — индикаторный, изотермический к. п. д.

Для компрессоров электроподвижного состава величину η_{iuz} обычно принимают (с учётом зубчатой передачи): для одноступенчатых компрессоров равной 0,67, для двухступенчатых компрессоров равной 0,72;

η_m — механический к. п. д. (в пределах $0,8 \div 0,85$).

Номинальная мощность двигателя компрессора P определяется:

$$P = \frac{U_k I}{1000} \eta \text{ кет},$$

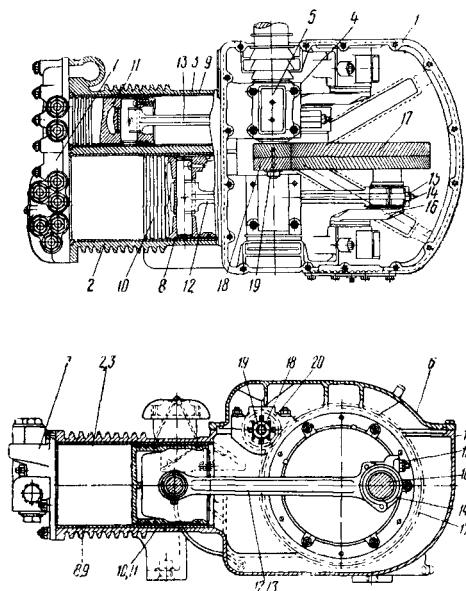
где η — к. п. д. двигателя.

Т а б л и ц а 1

Классификация вспомогательных машин

Наименование вспомогательной машины	Назначение	Применение	Источник питания	Пределы мощности в кет
<i>а) Вспомогательные машины, двигатели</i>				
Мотор-компрессор	Получение сжатого воздуха для тормозов и аппаратуры управления	Все виды подвижного состава	От контактной сети (непосредственно или через делитель напряжения)	0,5÷20
Мотор-вентилятор	Получение вентиляционного воздуха для охлаждения электрооборудования	Электровозы Мотор-вагоны переменного тока	От контактной сети или преобразователя	2,0÷30
»	Получение воздуха для вентиляции пассажирских помещений	Мотор-вагоны	То же	0,5÷8,0
Двигатель насоса циркуляционного охлаждения	Циркуляция охлаждающего масла	Электровозы переменного тока	От трансформатора Э. П. С.	3,0÷8,0
Двигатель управления	Привод систем управления	Все виды подвижного состава	От цепи управления	0,15÷3,0
<i>б) Вспомогательные машины-преобразователи</i>				
Делитель напряжения (динамотор)	Преобразование напряжения контактной сети в кратное, пониженное для питания вспомогательных машин	Электровозы и мотор-вагоны	От контактной сети	6,0÷100
Мотор-генератор служебного тока	Преобразование напряжения контактной сети в пониженное напряжение системы управления и освещения	То же	То же	2,0÷10,0
Мотор-генератор возбуждения тяговых двигателей	Преобразование напряжения контактной сети в напряжение, необходимое для питания цепи возбуждения тяговых машин (при электрическом торможении)	»	»	До 60÷70

На электроподвижном составе применяют компрессоры преимущественно поршневого типа: тихоходные со скоростью вращения колен-



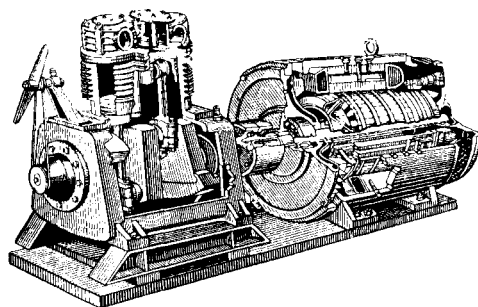
Фиг. 1. Мотор-компрессор Э-500: 1—корпус компрессора; 2—цилиндр низкого давления; 3—цилиндр высокого давления; 4—прилив для подшипника вала двигателя; 5—гнездо подшипника вала двигателя; 6—крышка картера (корпуса); 7—головка цилиндров; 8, 9—сменные цилиндрические гильзы низкого и высокого давления; 10, 11—поршни низкого и высокого давления; 12, 13—шатун; 14—крышка шатуна; 15—шарнирный болт; 16—коленчатый вал; 17—венец зубчатой передачи; 18—малое зубчатое колесо; 19—гайка малого зубчатого колеса на валу двигателя; 20—подшипник малого зубчатого колеса

чатого вала до 250÷300 об/мин и быстроходные со скоростью вращения коленчатого вала 400÷900 об/мин. В первом случае применяется промежуточная зубчатая передача, во втором

случае — коленчатый вал компрессора сочленяется непосредственно с валом двигателя.

Основные данные компрессоров отечественного электроподвижного состава приведены в табл. 2.

В качестве примера на фиг. 1 представлен тихоходный компрессор Э-500, а на фиг. 2 — быстроходный мотор-компрессор ТВ-130 с двигателем ЭК-12. Компрессоры электроподвижного состава имеют исключительно воз-



Фиг. 2. Компрессор ТВ-130 с двигателем ЭК-12

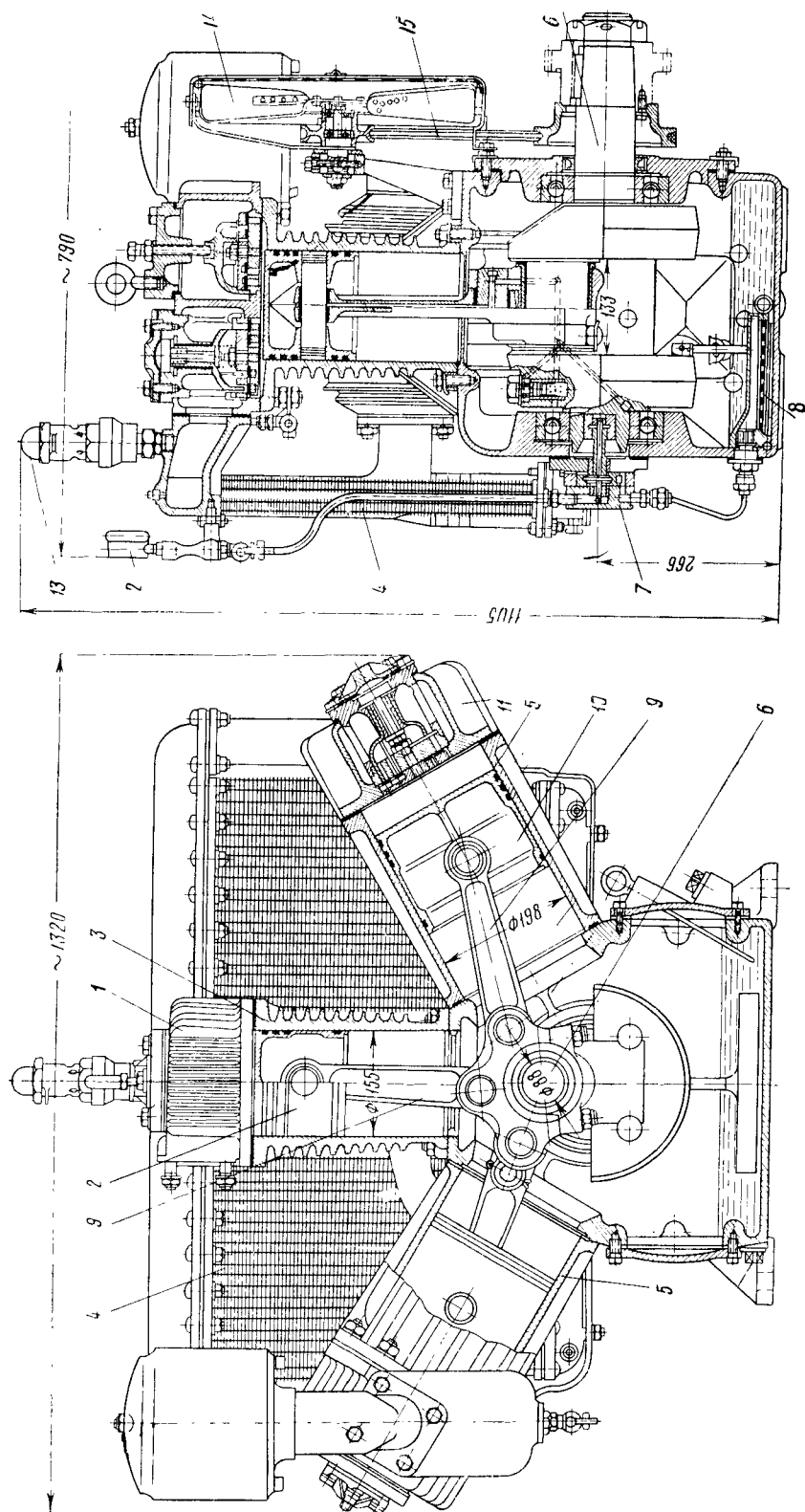
душное охлаждение. Расположение цилиндров преимущественно горизонтальное одностороннее, хотя имеет применение угловое, как, например, у компрессора КТ-6 электровоза Н8, представленного на фиг. 3, или горизонтально-встречное расположение цилиндров по типу приведенного на фиг. 4.

Для привода компрессора используют электродвигатели с последовательным возбуждением, так как крутящий момент на валу компрессора непостоянен по величине и может изменяться в значительных пределах. С точки зрения нагрузки особенно тяжёлым является пусковой период, что ясно видно из пусковой диаграммы мотор-компрессора Э-500, представленной на фиг. 5.

Таблица 2

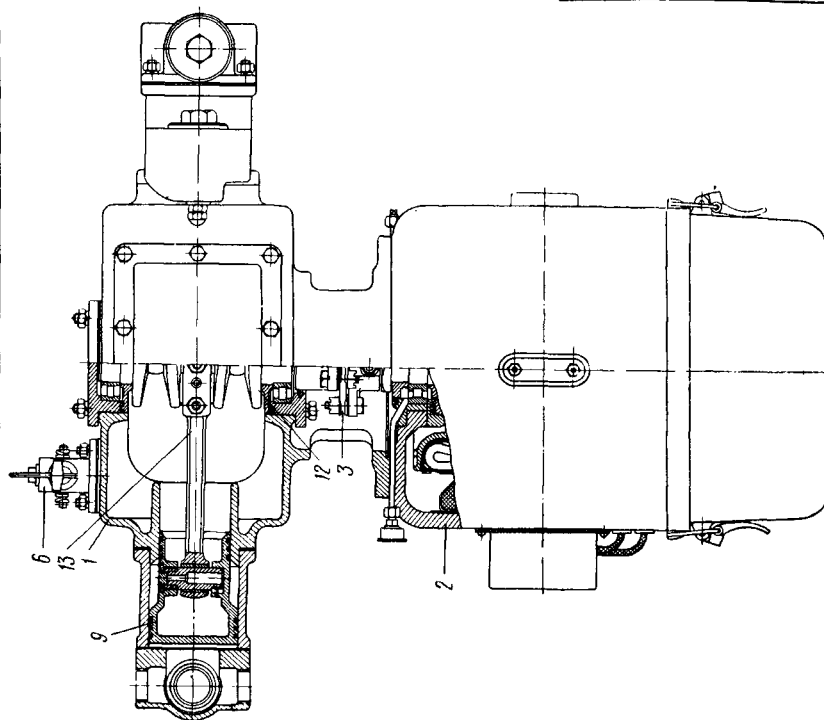
Основные данные компрессоров электроподвижного состава

Показатель	Единица измерения	Типы компрессоров				
		Э-400	Э-500	ТВ 130	ВВ 100/75	КТ-6
Производительность	л/мин	700	1 750	1 750	750	3 000
Противодавление	атм	8	9	8	8	9
Наибольшее допускаемое давление	»	10	10	—	9	10
Скорость вращения вала компрессора	об/мин	190	200	730	750	440
Число ступеней сжатия	—	1	2	2	2	2
Число рабочих цилиндров высокого давления	—	2	1	1	2	1
То же низкого	—	—	1	1	2	2
Диаметр цилиндра низкого давления	мм	—	246	180	—	198
Диаметр цилиндра высокого давления	»	140	140	105	—	155
Ход поршней	»	180	225	130	—	144
Расположение цилиндров	—	Горизонтальное			Горизонтальное	Непслная звезда
Сочленение с двигателем	—	Зубчатая передача			М у ф т а	Муфта и редуктор
Вес	кг	650	612	300	—	30
Продолжительность включения	%	50	30	—	—	—
Передаточное отношение зубчатой передачи	—	5,2	4,55	—	—	—
Подшипники коленчатого вала	—	Скольжения			Роликовые	Шариковые

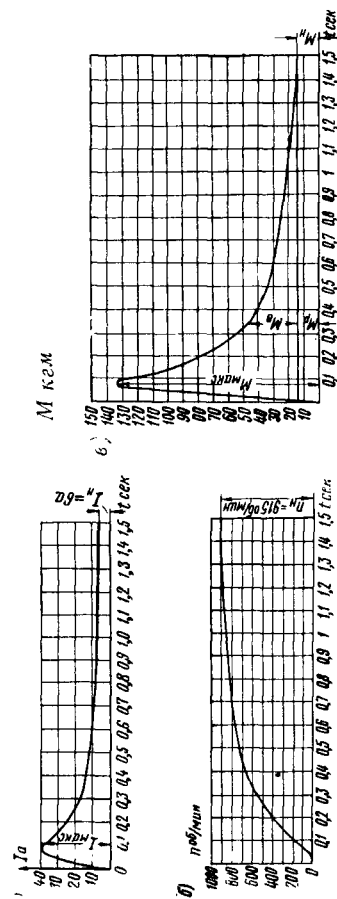
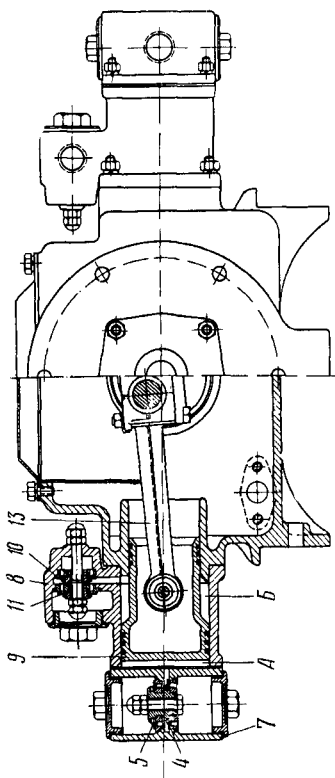


Фиг. 3. Компрессор типа КТ-6:

1 — клапанная коробка цилиндра высокого давления; 2 — поршень ц. в. д.; 3 — цилиндр высокого давления; 4 — холодильник; 5 — цилиндр низкого давления; 6 — коленчатый вал; 7 — масляный насос; 8 — фильтры; 9 — шатуны; 10 — поршень ц. н. д.; 11 — клапанная коробка ц. н. д.; 12 — манометр давления масла; 13 — предохранительный клапан; 14 — вентилятор; 15 — ремень



Фиг. 4. Быстроходный двухступенчатый мотор-компрессор VV100/75 для моторных вагонов: 1 — компрессор; 2 — двигатель; 3 — упругая муфта; 4 — клапан всасывающий низкого давления; 5 — клапан нагнетающий низкого давления; 6 — отверстие для пополнения и спуска масла из корпуса; 7 — клапанная коробка низкого давления; 8 — клапанная коробка высокого давления; 9 — двойной поршень; 10 — клапан всасывающий высокого давления; 11 — клапан нагнетающий высокого давления; 12 — коленчатый вал; 13 — шатун; А — камера сжатия низкого давления; Б — то же высокого давления



Фиг. 5. Пусковая диаграмма мотор-компрессора В-500 (опытная): а — ток I в а; б — скорость вращения n в об/мин; в — момент M в кгм

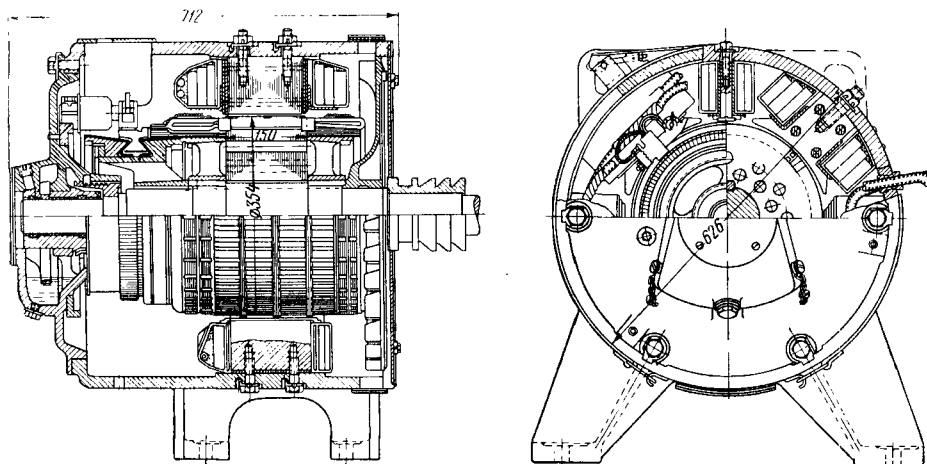
Таблица 3

Основные данные электродвигателей компрессоров

Показатель	Единица измерения	Типы электродвигателей					
		ЭК-7,5	ЭК-15	ЭК-12	ДК-402	ДК-406	ДК-404
Тип компрессора	—	Э-400	Э-400	ТВ-130	Э-500	Э-400	Э-500
Напряжение номинальное	в	825	1 500	3 000	3 000	1 500	3 000
Расчётная продолжительность включения ПВ	%	50	50	50	50	50	50
Номинальная мощность на валу двигателя	квт	6,2	6,0	13,1	13,5	5,5	14
Номинальный ток	а	10	5	6,1	6,1	5,0	6,0
Скорость вращения номинальная	об/мин	1 060	1 025	700	915	950	1 025
Скорость вращения испытательная	»	1 700	1 700	1 400	1 760	2 150	1 975
Система вентиляции	—	Естественная	С обдувом коллектора	Самовентилируемый	Естественная	Естественная	Самовентилируемый
Подшипники двигателя	—	Скольжения	Отсутствуют	Роликовые	Скольжения	Отсутствуют	Скольжения
Число главных полюсов	—	4	4	4	4	4	4
Число дополнительных полюсов	—	—	—	4	4	—	4
Изоляция рассчитана на напряжение	в	900	1 500	3 000	3 000	1 500	3 000
Постоянное сопротивление в цепи машины	ом	8,4	18,6	60	40	18	40
Вес	кг	—	650	848	838	318	665
Удельный вес	кг/квт	—	108	64	62	51	48
Соединение с компрессором	—	Зубчатая передача	Общий вал с редуктором компрессора	Муфта	Общий вал с редуктором компрессора		
Воздушный зазор под главным полюсом	мм	2,25	1,5	3	2,5	1,3	3
Воздушный зазор под дополнительным полюсом	мм	—	—	5	5,5	—	3,54
Якорь							
Длина сердечника	мм	108	108	240	102	108	150
Диаметр сердечника	»	324	—	355	460	324	354
Тип обмотки	—	—	—	—	В о л н о в а я		
Число пазов	—	39	43	39	45	39	45
Размеры паза:							
а) глубина	мм	24,9	27,5	29,1	29,8	24,9	28,1
б) ширина	»	12,4	11,2	14,1	13,9	12,4	10,8
Число проводников в пазу	шт.	84	84	98	98	84	98
Диаметр проводника (голово)	мм	1,04	0,93	0,8	0,83	1,04	0,86
Марка изоляции проводников	—	ПБД	ПБД	ПЭЛБД	ПЭЛБД	ПБД	ПЭЛБД
Число витков секции	шт.	2×3	6	7	7	6	7
Число сторон секций в пазу	»	14	14	14	14	14	14
Шаг обмотки по пазам	—	1—10	—	1—11	1—12	—	1—12
Шаг обмотки по коллектору	—	1—137	—	1—137	1—158	—	1—158
Сопротивление обмотки	ом	2,18	9,2	21,7	17	7,66	16,5
Коллектор							
Диаметр	мм	285	292	310	400	285	310
Число коллекторных пластин	шт.	273	257	273	315	273	315
Среднее напряжение между коллекторными пластинами	в	12	23,4	44	38	22	38
Коллекторное деление	мм	3,26	3,57	3,57	4,0	3,26	3,1
Щётки и щёткодержатели							
Число щёткодержателей	шт.	—	2	4	4	4	4
Число щёток в щёткодержателе	»	—	1	1	1	1	1
Ширина щётки	мм	—	10	10	10	8	8
Длина щётки	»	—	25	20	25	25	25
Плотность тока под щёткой	а/см ²	—	—	—	—	1,26	1,52
Щёточное перекрытие	пластин	—	2,8	—	—	2,45	2,6
Марка щётки	—	—	—	T-2	T-2	ЭГ-2А	ЭГ-2А
Обмотка главных полюсов							
Число витков катушки	—	642	700	635	252	642	749
Диаметр проводника (голово)	мм	1,74	1,56	1,68	1,61	1,74	1,81

Продолжение

Показатель	Единица измерения	Типы электродвигателей					
		ЭК-7,5	ЭК-15	ЭК-12	ДК-402	ДК-406	ДК-404
Изоляция проводника . . .	—	ПБД	ПБД	ПБД	ПБД	ПБД	ПБД
Сопротивление обмотки . . .	ом	3,6	16,1	13	11,9	12,1	16,7
Обмотка дополнительных полюсов	—	—	—	—	—	—	—
Число витков катушки . . .	—	—	—	374	408	—	400
Диаметр проводника (голо-го) . . .	мм	—	—	1,45	1,68	—	1,81
Изоляция проводников . . .	»	—	—	ПБД	ПБД	—	ПБД
Сопротивление обмотки . . .	ом	—	—	5,35	5,37	—	6,0



Фиг. 6. Двигатель компрессора ДК-404А

Электродвигатели сочленяются с компрессорами при помощи муфт или выполняются в виде общего агрегата, причём в последнем случае электродвигатель или совершенно не имеет собственных подшипников, независимых от компрессора, или имеет всего один подшипник из двух.

На фиг. 6 в качестве примера представлен двигатель ДК-404А компрессора Э-500.

В табл. 3 приведены основные данные двигателей компрессоров отечественного производства.

Для компрессора КТ-6 используется двигатель ДК-403Г, основные данные которого приведены в табл. 4.

МОТОР-ВЕНТИЛЯТОРЫ

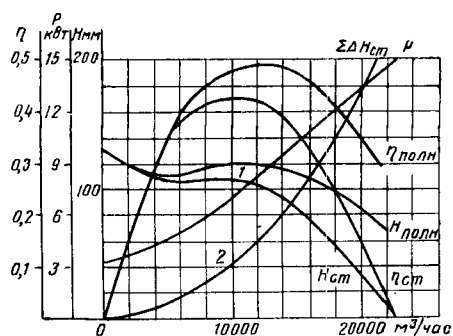
Необходимая производительность вентиляторов определяется потребным расходом воздуха на вентиляцию тяговых двигателей, охлаждение пусковых сопротивлений, индуктивных шунтов и другого оборудования, а также напором воздуха.

По расходу воздуха Q м³/мин и напору H мм вод. ст. может быть подобран тип вентилятора, а также определена потребная мощность на валу P :

$$P = \frac{0,736 Q H}{60 \eta_{\text{в}} \cdot 75} \text{ кВт},$$

где $\eta_{\text{в}}$ — к. п. д. вентилятора: для вентиляторов типа «Сирокко» $\eta_{\text{в}} = 0,45 \div 0,53$; для вентиляторов типа «Цаги» $\eta_{\text{в}} = 0,5 \div 0,7$.

Примерные характеристики вентиляционной системы приведены на фиг. 7.



Фиг. 7. Характеристики вентиляционной системы электровоза ВЛ19: P — мощность на валу вентилятора в кВт; $\Sigma \Delta H_{\text{ст}}$ — статический напор, необходимый для преодоления сопротивлений вентиляционной системы в мм вод. ст.; $H_{\text{ст}}$ — статический напор в системе в мм вод. ст.; $H_{\text{полн}}$ — полный напор вентилятора в мм вод. ст.; $\eta_{\text{ст}}$ — статический к. п. д. системы; $\eta_{\text{полн}}$ — полный к. п. д. системы.

Т а б л и ц а 4

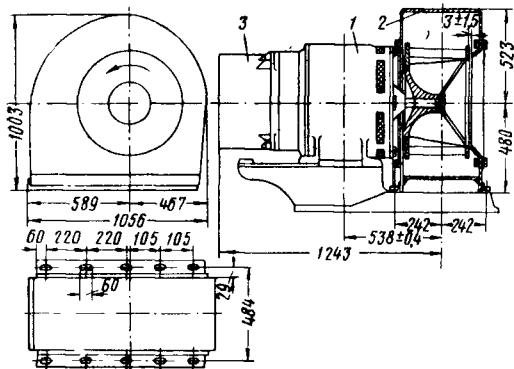
Основные данные электродвигателей вентиляторов

Показатель	Единица измерения	Типы электродвигателей				
		ДДИ-60	ДВ-18 3 000	ДВ-18 1 500	ДК-4 03Г	НВ-430А
Общие данные						
Назначение	—	Привод сдвоенного вентилятора 3 000/1 500	Привод вентилятора ЦВ и ге- нератора управления			—
Номинальное напряжение	в	30	3 000	1 500	3 000	3 000
Номинальная мощность	квт	13	18,8	17,7	20,0	49
Номинальный ток	а	30	8,2	16	8,0	18,5
Скорость вращения	об/мин	1 200	1 300	1 300	1 380	850
Скорость вращения наибольшая	»	—	2 140	2 140	2 150	1 940
Система вентиляции	»	Естественная	С а м о в е н т и л я ц и я			—
Род подшипников	—	Скольжения или шариковые	Р о л л и к о в ы е			—
Число главных полюсов	—	2	4	4	4	4
Число дополнительных полюсов	—	—	4	4	4	4
Постоянное сопротивление в цепи машин	ом	20	23	10	27	—
Вес	кг	2 100	877	877	730	1 365
Удельный вес	кг/квт	70	46,5	49,4	39,5	32
Сочленение	—	Муфтой	Ротор вентилятора и якорь ге- нератора на валу двигателя			—
Воздушный зазор под главными полюсами	мм	3,15	2	3	3,15	3
Воздушный зазор под дополнитель- ными полюсами	»	—	5	5	4	5,2
Якорь						
Длина сердечника	мм	280	240	240	150	275
Диаметр сердечника	»	420	355	355	353	423
Тип обмотки	—	Петлевая	В о л н о в а я			—
Число пазов	—	29	45	45	45	49
Размеры паза:						
а) глубина	мм	52,5	26,6	23,2	18,5	25,1
б) ширина	»	16,8	14,1	13,2	10,5	12
Число проводников в пазу	шт.	64	60	30	70	42
Размер проводника	мм	1,35×2,44	∅1,0	∅1,35	∅0,77	∅1,0
Изоляция проводника	—	ПБД	ПЭЛБД	ПЭЛБД	ПЭЛБД	ПЭЛШД
Число витков в секции	шт.	2	5	3	5	3
Число сторон секций в пазу	»	32×2	12	10	14	14
Шаг обмотки по пазам	—	1—14	1—12	1—13	1—12	1—13
Шаг обмотки по коллектору	—	1—2	1—135	1—108	1—158	1—172
Сопротивление обмотки	ом	1,23	9,8	2,57	12,3	5,9
Плотность тока	а/мм ²	1,98	2,6	2,8	2,18	—
Коллектор						
Диаметр	мм	336	310	310	310	390
Число коллекторных пластин	шт.	232	269	215	315	343
Среднее напряжение между пла- стинами	в	12,8	40	28	38	36,2
Коллекторное деление	мм	4,55	3,6	4,5	3,1	3,57
Щёткодержатели и щётки						
Число щёткодержателей	шт.	2×2	4	4	4	4
Число щёток в щёткодержателе	»	2	1	1	1	1
Ширина щётки	мм	16	10	12,5	8	10
Длина щётки	»	36	25	25	25	25
Плотность тока под щёткой	а/см ²	1,13	4,1	2,55	2,0	3,7
Щёточное перекрытие	пластин	3,5	2,8	2,8	2,6	2,8
Марка щётки	—	1-2	1-2	1-2	ЭГ-2А	ЭГ-2А
Обмотка главных полюсов						
Число витков катушки	—	2×255	360	170	608	340
Размеры проводника обмотки	мм	1,56×4,1	∅2,44	∅3,28	∅2,26	1,95×4,4
Изоляция проводника	—	ПБД	ПБД	ПБД	ПБД	ПБД
Сопротивление обмотки	ом	2×1,734	4,65	4,15	8,5	3,3
Плотность тока	а/мм ²	1,9	1,77	1,51	2,0	2,21
Обмотка дополнительных полюсов						
Число витков катушки	—	—	256	130	286	160
Диаметр проводника	мм	—	2,26	2,83	1,95	1,68×4,4
Изоляция проводника	—	—	ПБД	ПБД	ПБД	ПБД
Сопротивление обмотки	ом	—	2,37	0,77	3,25	1,48
Плотность тока	а/мм ²	—	2,05	2,55	2,78	2,58

В качестве привода вентиляторов применяются двигатели последовательного возбуждения.

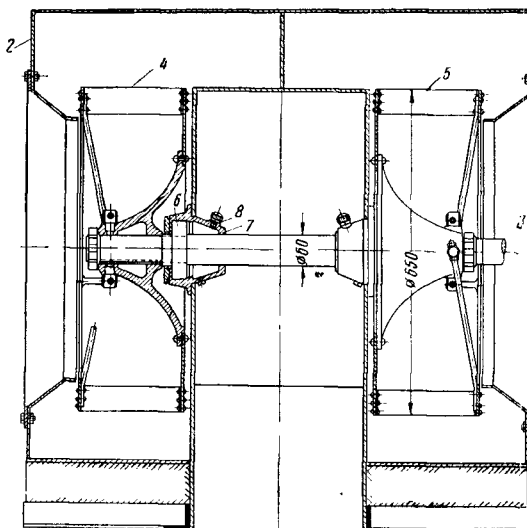
Нагрузки, создаваемые вентилятором, имеют спокойный, постоянный характер, по-

шин, работающих в длительном режиме, например генераторов служебного тока.

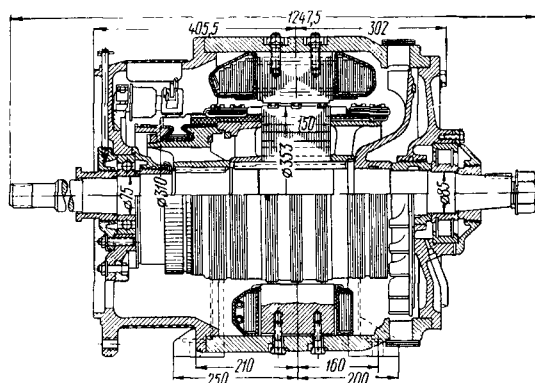


Фиг. 8. Агрегат мотор-вентилятора ДК-403Г с генератором тока управления ДК-405: 1 — двигатель ДК-403Г; 2 — вентилятор ЦВ-1; 3 — генератор тока управления ДК-405К

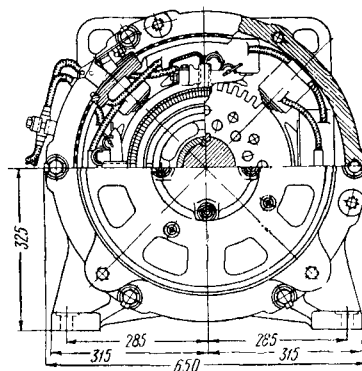
этому двигатели вентиляторов нередко используют одновременно для привода других ма-



Фиг. 9. Сдвоенный вентилятор электровоза ВЛ19: 1, 2 — сдвоенные кожухи вентиляторов; 3 — вал вентиляторов; 4, 5 — колеса вентиляторов; 6 — подшипник; 7 — камера подшипника; 8 — отверстие с пробкой для наполнения смазки



Фиг. 10. Двигатель вентилятора ДК-403Г



В табл. 4 представлены основные данные двигателей вентиляторов. Роторы вентиляторов насаживаются на удлиненный конец электродвигателя, реже сочленяются с двигателем муфтой.

На фиг. 8 представлен агрегат мотор-вентилятора ДК-403Г, состоящий из двигателя ДК-403, вентилятора ЦВ-1 и генератора тока управления ДК-405К.

На фиг. 9 представлен сдвоенный вентилятор электровоза ВЛ19, сочлененный с двигателем посредством муфты.

Конструкция двигателя вентилятора ДК-403Г для привода вентилятора приведена на фиг. 10.

МОТОР-ГЕНЕРАТОРЫ

Мотор-генераторы возбуждения

Основные параметры мотор-генератора возбуждения определяются условиями их работы в схеме рекуперативного или реостатного торможения. В связи с разнообразием систем электрического торможения определение параметров генератора возбуждения должно производиться для каждой конкретной схемы.

В общем случае расчетный ток генератора определяется

$$I_{2a} = K_v I_m,$$

где K_p — коэффициент рекуперации. $K_p = \frac{I_g}{I}$, как правило, $K_p = 2 \div 2,5$;

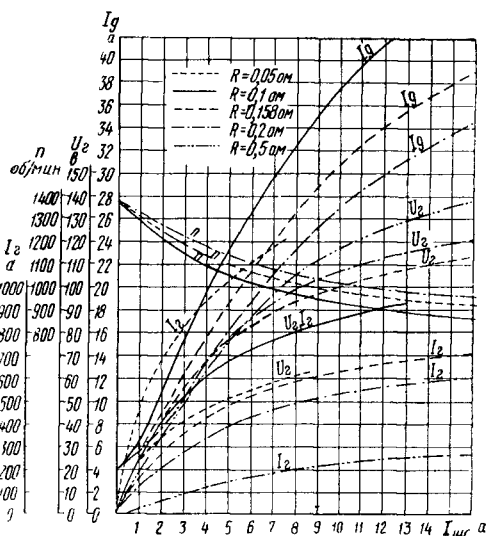
I_g — предельный ток возбуждения;
 I — ток якоря;
 m — число параллельно включённых групп обмоток возбуждения тяговых машин.

Соответственно напряжение возбудителя определяется:

$$U_{zв} = nU_g,$$

где U_g — наибольшее падение напряжения в обмотке возбуждения тяговой машины и соединительных кабелях;

n — число последовательно соединённых обмоток возбуждения тяговых машин.



Фиг. 11. Характеристики мотор-генератора ДК-401А при различных постоянных сопротивлениях в цепи генератора: I_d — ток двигателя; $I_{гг}$ — ток в параллельной обмотке генератора; I_g — ток генератора; U_g — напряжение на зажимах генератора; n — скорость вращения

Мощность возбудителя определится:

$$P_{zв} = I_{zв} U_{zв}.$$

Обычно U_g не превышает $1,8 U_K$ — напряжения на зажимах тяговой машины.

Приведённое определение мощности и основных данных генератора возбуждения может в значительной степени изменяться в зависимости от схемы рекуперативного торможения и потому оно приведено лишь в самом общем виде.

В связи с необходимостью регулирования напряжения и нагрузки генераторы возбуждения выполняются с малым насыщением магнитной системы. Для генераторов применяется как параллельное возбуждение, так и смешанное возбуждение при преобладающем влиянии н. с. обмотки параллельного возбуждения. Обычно соотношение н. с. не превышает:

$$\frac{n. с. послед}{n. с. парал} = 0,2 \div 0,25.$$

Двигатели моторгенераторных агрегатов выполняются обычно с последовательным или смешанным возбуждением. Как правило, питающие обмотки параллельного возбуждения осуществляется не от контактной сети, а от низкого напряжения (от генератора служебного тока).

На фиг. 11 представлены характеристики мотор-генератора ДК-401А при различных сопротивлениях в его цепи, на фиг. 12 представлен общий вид машины.

Мотор-генераторы служебного тока

Основные параметры мотор-генераторов служебного тока, а также делителей напряжения при использовании их для привода генераторов определяются в зависимости от режима нагрузки генератора.

Существенную роль при этом играет система совместной работы генератора служебного тока с аккумуляторной батареей. Применяются две системы работы генератора совместно с аккумуляторной батареей: параллельная работа и независимая работа.

В первом случае вся нагрузка, превышающая по своей величине установленную номинальную нагрузку генератора, покрывается аккумуляторной батареей. Если нагрузка ниже тока номинального режима генератора, то избыток энергии, вырабатываемой генератором, используется для подзарядки батареи. В этом случае необходимая мощность генератора может быть выбрана значительно меньше, чем во втором случае. Вместе с тем эта система требует сложной аппаратуры в связи с тем, что напряжение, необходимое для эффективной зарядки аккумуляторной батареи, значительно выше номинального напряжения её разряда. Так, при номинальном напряжении цепей управления 50 в для зарядки соответствующей аккумуляторной батареи необходимо напряжение 67÷70 в.

Во втором случае при независимой работе генератора и аккумуляторной батареи влияние батарей на работу генератора не учитывают. Мощность генератора выбирают такой, чтобы без аккумуляторной батареи генератор был в состоянии воспринять все нагрузки служебных цепей.

Нагрузка служебных цепей состоит из постоянной по величине составляющей (обычно освещение) и переменной по величине составляющей (обычно нагрузки током цепей управления). Характер этих нагрузок ясен из диаграммы (фиг. 13).

При параллельной работе с аккумуляторной батареей величина средней нагрузки определяется из условий равенства площадей А и Б. При этом средняя величина тока будет:

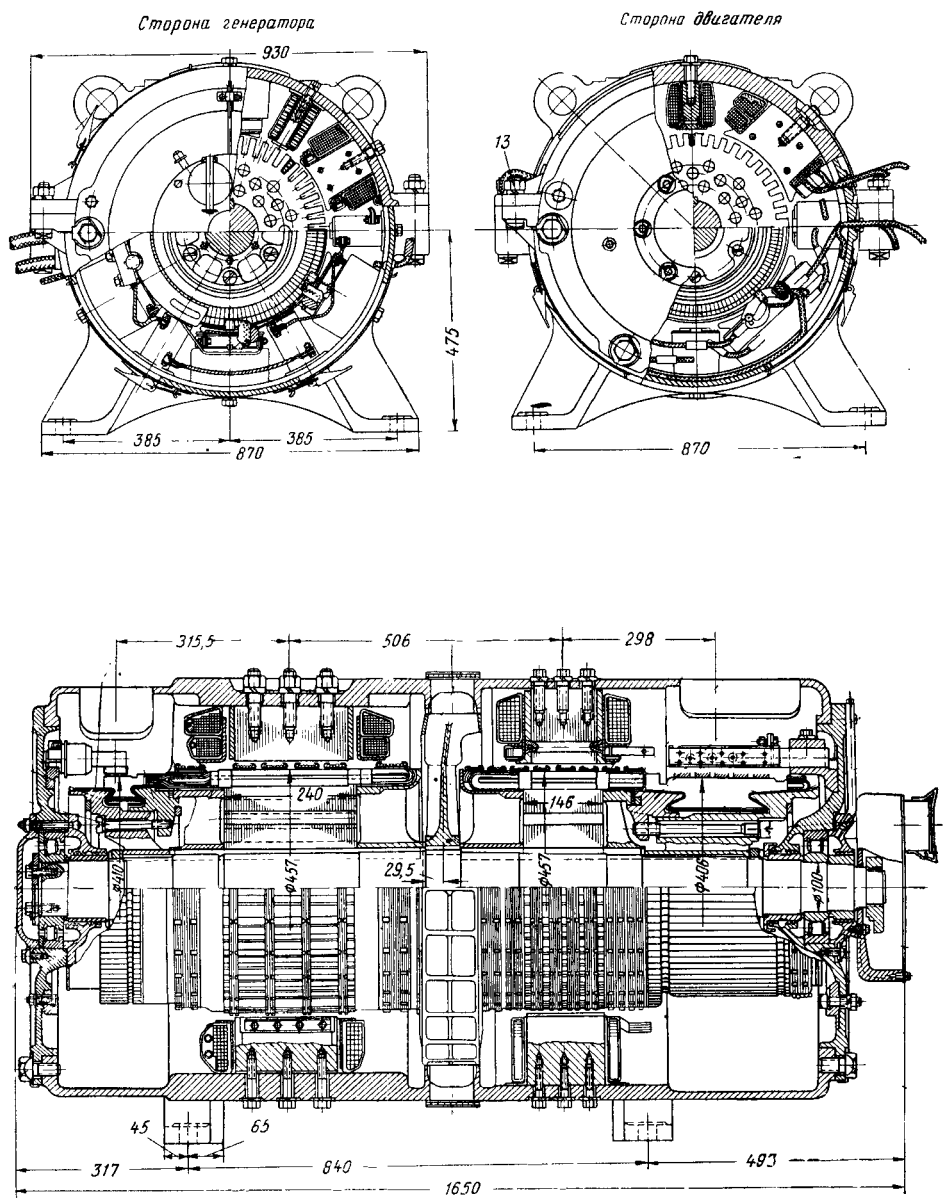
$$I = i_0 + \frac{\sum it}{T},$$

где i_0 — ток постоянной нагрузки (освещение);

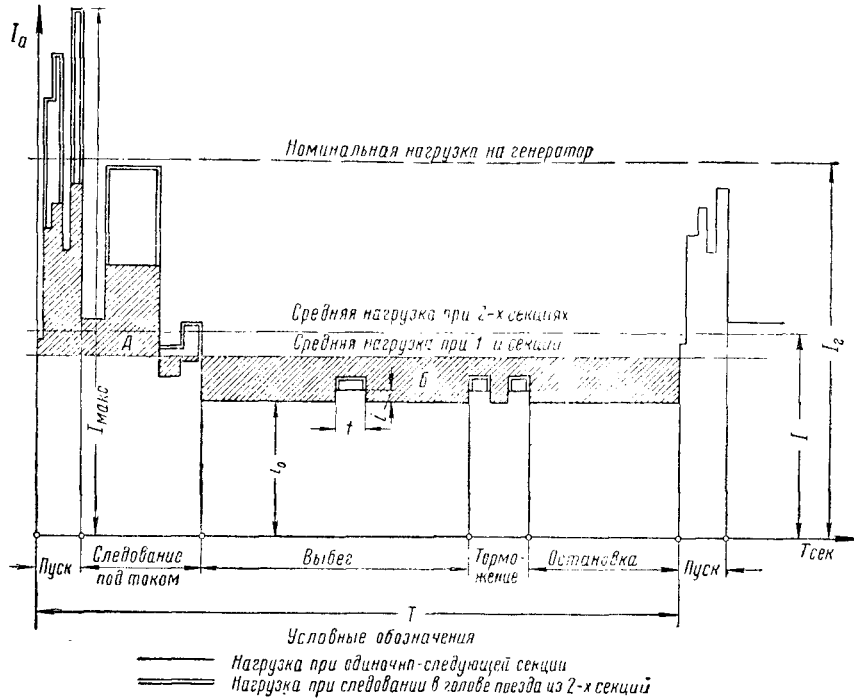
i — ток, потребляемый одновременно включаемыми аппаратами;

t — время включения аппарата;

T — время нахождения на перегоне, включая остановку.



Фиг. 12. Мотор-генератор ДК-401А



Фиг. 13. Диаграмма нагрузки мотор-генератора мотор-вагон на перегоне при работе с включённым освещением

При независимой работе генератора его номинальная мощность принимается равной максимальной нагрузке I_{\max} с учётом коэффициента перегрузки

$$K_n = 1,1 \div 1,2.$$

Номинальная нагрузка определяется из уравнения

$$I_c = I_{\max} \frac{1}{K_n}.$$

Соответственно номинальная полезная мощность генератора

$$P = \frac{UI_{\max}}{1000 K_n} \text{ квт},$$

где U — напряжение на зажимах машины.

Номинальная мощность на валу генератора (двигателя) соответственно равна

$$P_n = \frac{P}{\eta_g},$$

где η_g — к. п. д. генератора.

Номинальная мощность двигателя мотор-генераторного агрегата соответственно

$$P_{мг} = \frac{P}{\eta_c \eta_{д}},$$

где $\eta_{д}$ — к. п. д. двигателя мотор-генераторного агрегата.

В тех случаях, когда привод генератора служебного тока осуществляется от делителя напряжения (динамотора), его мощность определяется из соотношения:

$$P_{дм} = P_c + \Delta P_{мех} + ПВP_c,$$

где $\Delta P_{мех}$ — механические потери в делителе напряжения;

P_c — электрическая нагрузка;

$ПВ$ — коэффициент продолжительности включения электрической нагрузки.

Токи нагрузки якорных обмоток динамотора I_1 и I_2 определяются зависимостями:

$$I_1 = \frac{\sqrt{U_c^2 - 8rP_c} - \sqrt{U_c^2 - 8r(P + \Delta P_{мех})}}{4r}$$

$$I_2 = \frac{\sqrt{U_c^2 - 8rP_c} + \sqrt{U_c^2 - 8r(P + \Delta P_{мех}) - 2U_c}}{4r},$$

где U_c — напряжение на зажимах машины;

r — сопротивление якоря;

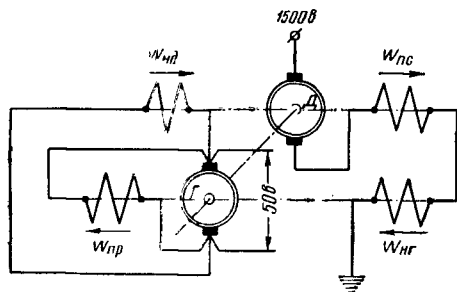
P — мощность, необходимая для вращения других машин, сочленившихся с динамотором.

Работа преобразовательных агрегатов на электроподвижном составе проходит в условиях резких колебаний напряжения контактной сети. Но величины эти колебания могут достигать значений $\pm 20\%$ от U_c .

Наличие как электрической, так и механической нагрузок при резких колебаниях нагрузки на стороне низкого напряжения, а

также высокое напряжение на коллекторе электродвигателя приводят к тому, что двигателям преобразовательных агрегатов придают последовательное или смешанное возбуждение. Чисто параллельное возбуждение может вызывать переход этих двигателей в генераторный режим работы в том случае, когда возникает короткое замыкание или резкое падение напряжения в контактной сети.

Пути применения специальных схем возбуждения устанавливается необходимая зависимость между режимом работы двига-



Фиг. 14. Упрощенная схема мотор-генератора ДМГ-1500/50

теля и генератора преобразователя. В значительной степени авторегулирование агрегата возлагается на специальную регулирующую аппаратуру.

В качестве примера широко распространенных схем мотор-генераторов служебного тока на фиг. 14 представлена упрощенная схема мотор-генератора ДМГ-1500/50. Схема действует следующим образом.

Пуск двигателя в момент включения осуществляется при возбуждении обмотки $w_{нд}$, обмотка $w_{нд}$ не возбуждена, так как она питается от напряжения 50 в, а напряжение генератора при пуске равно нулю. Таким образом, пуск двигателя осуществляется без нагрузки при ослабленном поле, что обеспечивает быстрое нарастание его скорости вращения.

Одновременно возбуждение генератора усиливается за счёт обтекания обмоток его возбуждения $w_{нг}$ пусковым током двигателя. Быстрое нарастание потока главных полюсов сопровождается быстрым увеличением напряжения на зажимах машины. Этим вызывается усиливающееся возбуждение двигателя обмоткой $w_{нд}$, что способствует стабилизации скорости его вращения близ номинального значения 1600 об/мин. Обмотка $w_{нг}$ служит также для предотвращения резкого снятия нагрузки в случае прекращения возбуждения генератора обмоткой $w_{пр}$. Таким образом, исключается резкое повышение скорости вращения преобразователя при внезапном снижении нагрузки генератора. Понижение напряжения генератора при возрастании его нагрузки вызывает снижение потока обмотки $w_{нг}$ при одновременном повышении нагрузки двигателя. Обмотка $w_{нг}$ при этом компенс-

рует уменьшение величины потока генератора при снижении его напряжения.

Таким же образом при снижении напряжения генератора влияет обмотка двигателя $w_{нд}$, вызывая ослабление потока возбуждения двигателя, а следовательно, повышение его скорости вращения. Обратный процесс имеет место при повышении напряжения.

Следовательно, обмотки $w_{нд}$ и $w_{нг}$ придают агрегату характеристику машины смешанного возбуждения, выравнивая напряжение генератора, при увеличении и уменьшении нагрузки. Повышение напряжения в контактной сети вызовет увеличение скорости вращения, а при неизменной нагрузке — повышение напряжения генератора. Поток обмотки $w_{нд}$ усилится, что вызовет снижение скорости вращения.

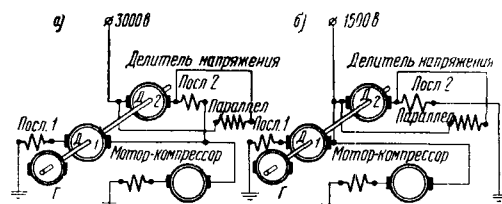
У мотор-генератора ДМГ-1500/50 параметры обмоток возбуждения и магнитной системы таковы, что не обеспечивают полного использования отмеченных особенностей схемы.

Необходима дополнительная регулирующая аппаратура, иначе все колебания напряжения контактной сети практически передадутся на сторону низкого напряжения.

Другим примером может служить динамомотор-генератор мотор-вагонов СР типа ДК-601 с генератором ДК-405. Динамотор является двухколлекторным делителем напряжения и одновременно двухколлекторным двигателем. Схема агрегата представлена на фиг. 15.

Якорь генератора служебного тока Γ насажен на вал машины, имеющей два коллектора D_1 и D_2 с одинаковыми якорными обмотками, заложёнными в общие пазы общего сердечника.

Генератор является механической нагрузкой для динамотора. Кроме того, от средней точки между двумя последовательно включёнными якорными обмотками питается двига-



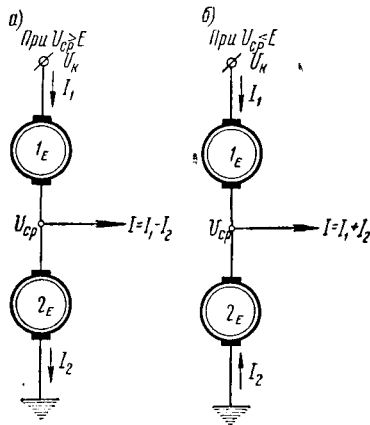
Фиг. 15. Принципиальная схема динамотора ДК-601 с генератором ДК-405: а — при работе на напряжении 3 000 в; б — при работе на напряжении 1 500 в

тель мотор-компрессора, который является электрической нагрузкой для динамотора. Токопрохождение в цепи якорей делителя напряжения представлено на фиг. 16.

При чисто двигательном режиме токи в обеих якорных обмотках I_1 и I_2 равны, совпадают по направлению и создают складывающиеся между собой вращающие моменты (фиг. 16, а). Тот же режим имеет место при условии, когда напряжение в средней точке $U_{ср} > E$ — э. д. с. каждого якоря.

В том случае, когда $U_{ср} < E$ — делитель напряжения, работая на преобразовательном режиме, имеет токопрохождение в цепи яко-

рей, как представлено на фиг. 16, б. При этом направление токов в обеих якорных обмотках противоположно и вторая обмотка работает в генераторном режиме.



Фиг. 16. Прохождение тока в цепи якорей делителя напряжения

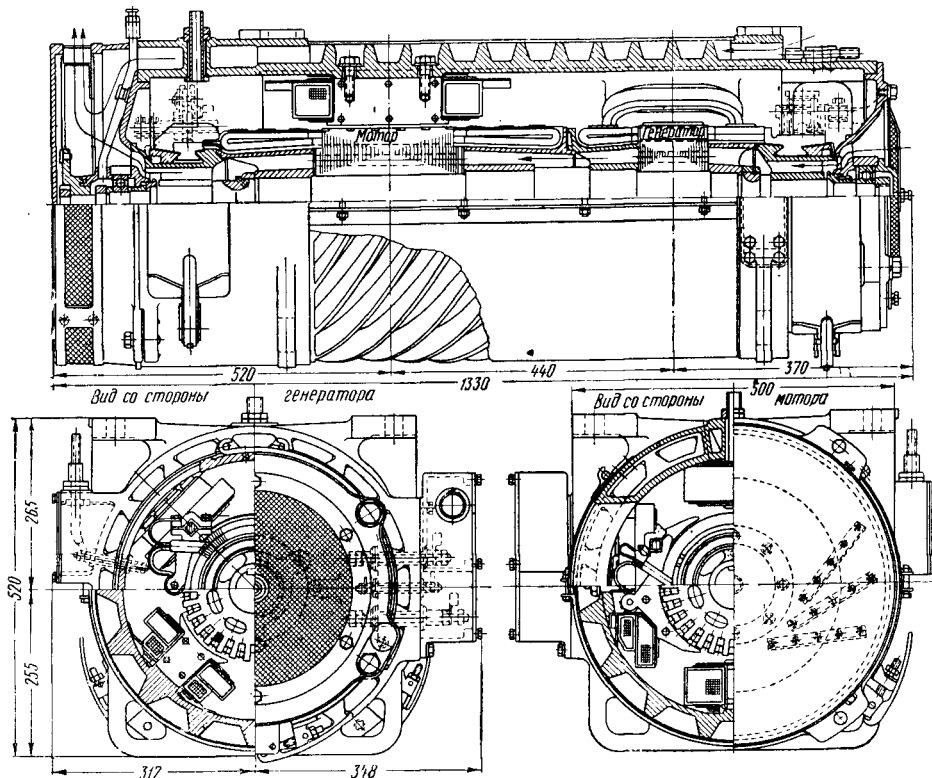
Делитель напряжения имеет четырёхполюсную магнитную систему без дополнительных полюсов. На главных полюсах имеется две обмотки последовательного возбуждения, каждая из которых соединена постоянно-последовательно с одной из якор-

ных обмоток (последовательная 1 и последовательная 2 — см. фиг. 15).

Кроме того, параллельно якорю 2 включена обмотка параллельного возбуждения (параллельная — см. фиг. 15). При запуске делитель напряжения ведёт себя как двигатель последовательного возбуждения, так как вследствие большой индуктивности обмотка параллельного возбуждения создаёт н. с. с некоторым запозданием. В результате этого делитель напряжения быстро разгоняется до номинальной скорости вращения.

В дальнейшем параллельная обмотка усиливает возбуждение, причём её ток, а следовательно, и поток возрастают с повышением скорости вращения якоря за счёт увеличения э. д. с. — E .

В процессе разгона уменьшение потока полюсов, вызываемое снижением тока в цепи катушек последовательного возбуждения, таким образом компенсируется нарастанием потока за счёт катушек параллельного возбуждения. Скорость вращения стабилизируется при снижении тока якоря до величины, соответствующей уравновешиванию вращающего момента машины моментом сопротивления механических и электрических нагрузок. Взаимодействие обмоток, способствующее стабилизации скорости вращения машины, смягчает влияние колебания напряжения в контактной сети на напряжение генератора, сочленённого с делителем напряжения. По окончании пуска ток в цепи катушек после



Фиг. 17. Мотор-генератор ДМГ-1500/50

довательного возбуждения сравнительно невелик и магнитный поток создаётся преимущественно обмотками параллельного возбуждения. Это снижает степень влияния нагрузки генератора на скорость вращения преобразователя.

При невключённом мотор-компрессоре (электрической нагрузке) ток в каждом якоре будет I_0 , а сумма токов в якорях $2 I_0$. Если ток электрической нагрузки I , то соответственно ток в обоих якорях может быть определён из соотношения:

$$I_1 = I_0 + \frac{1}{2} I,$$

$$I_2 = I_0 - \frac{1}{2} I.$$

При пуске мотор-компрессора обмотка якоря 2 переходит из двигательного режима в генераторный, а затем при снижении тока двигателя компрессора может вновь перейти в двигательный режим. Так, при работе делителя напряжения ДК-601 и двигателя компрессора ДК-406 будет иметь место следующее соотношение токов.

При полной нагрузке генератора служебного тока (90 а) ток нагрузки делителя напряжения около 3 а. В момент пуска мотор-компрессора в течение 1,5 сек. его ток изменяется от 40 до 5÷6 а. При этом ток якоря делителя напряжения I изменяется от 23 до 5,5÷6 а, а ток якоря 2 изменится от 17 до 0,5 а.

Включение обмоток последовательного возбуждения отдельно после каждой якорной обмотки имеет назначением выравнивание н. с. машины при различных нагрузках якорных обмоток.

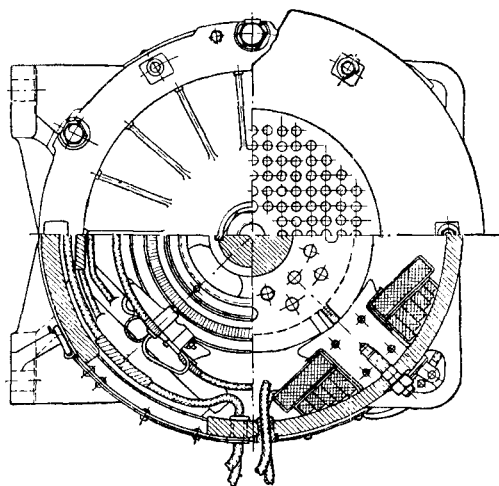
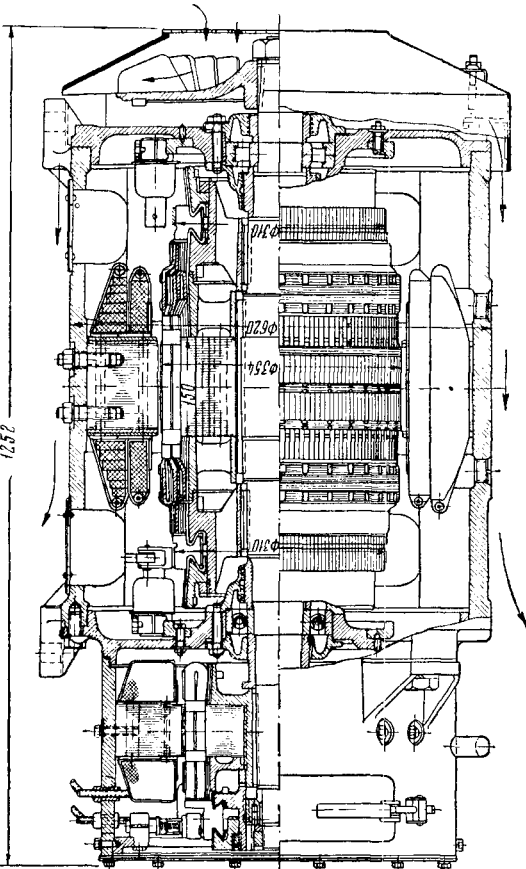
ГЕНЕРАТОРЫ

Генераторы тока управления приводятся во вращение от одной из вспомогательных машин: делителем напряжения, двигателем вентилятора. В ряде случаев, особенно на моторвагонном подвижном составе, генераторы служебного тока выполняются с собственным двигателем в виде комплексного агрегата. Конструкция такого агрегата характеризуется его расположением под кузовом вагона. В первую очередь это находит своё отражение в закрытом или герметическом исполнении машин. В качестве примера такого исполнения на фиг. 17 представлен мотор-генератор ДМГ-1500/50. Вентиляция машины осуществляется двумя независимыми воздушными потоками, не входящими во внутреннее пространство машины, занятое обмотками. Один из этих потоков проходит по внутренним каналам в сердечниках якорей под коллекторами и нажимными шайбами — обмоткодержателями.

Другой параллельный воздушный поток обтекает внешнее пространство между спиральными рёбрами, выполненными на остовах, и специальным воздухонаправляющим кожухом из листовой стали. Это препятствует проникновению пыли, грязи и влаги внутрь машины.

Подобным же образом выполнен и агрегат динамотор-генератора ДК-601 с генератором ДК-405Б, представленный на фиг. 18. Агрегат совершенно не имеет внутренней вентиляции.

Охлаждение его осуществляется внешним обдувом остова с помощью вентилятора, насаженного на конец вала.



Основные данные мотор-генераторов приведены в табл. 5.

Основные данные делителей напряжения и генераторов управления приведены в табл. 6.

Таблица 5

Показатель		Типы мотор-генераторов					
Единица измерения		ДМГ-1500 50	ДМГ-1500 95	ДК-401А	НВ-419		
		Двигатель	Генератор	Двигатель	Генератор	Двигатель	Генератор
Общие данные							
Назначение	—	Мотор-генератор возбуждения					
Применение	—	Электровозы					
Номинальное напряжение	В	1 500	85	3 000	3 000	3 000	36
Номинальная мощность	квт	12,5	57**	67	57**	29	22
Номинальный ток	А	4,6*	600**	24,5	600**	11	600
Скорость вращения	об/мин	1 600	1 100	1 100	1 100	1 200	—
Система вентиляции	—	Самовентилируемая параллельная					
Род подшипников							
Система возбуждения	—	Самовентилируемая параллельная					
Число главных полюсов	шт.	2	Смешанная	4	Смешанная	6	Смешанная
Число дополнительных полюсов	шт.	—	—	—	—	—	—
Изоляция рассчитана на напряжение	В	1 500	1 000	3 000	1 000	3 000	1 000
Постоянное сопротивление в цепи машины	Ом	14,5	—	20	—	10	—
Вес	кг	705	3 400	—	2 790	—	1 900
Удельный вес	кг/л.с.ч	12,8	18	—	42,7	—	62,5
Соединение	—	На одном валу	На одном валу	На одном валу	На одном валу	На одном валу	На одном валу
Воздушный зазор под главным полюсом	мм	2,5	3,15	2,5	3,15	3	5±2
Воздушный зазор под дополнительным полюсом	мм	—	—	—	—	—	—
Якорь							
Длина сердечника	мм	140	172	145	145	130	115
Диаметр сердечника	мм	222	457	477	477	423	423
Тип обмотки	—	Петлевая	Петлевая	Петлевая	Петлевая	Петлевая	Петлевая
Число пазов	шт.	20	37	51	51	49	57
Размеры паза:	мм						
а) ширина	мм	27,5	42	42,4	42,4	23	42,3
б) глубина	мм	16,1	14,6	12	12	13,2	10,2
Число проводников в пазу	шт.	96	190	190	190	56	36
Размер проводника	мм	1,40	2,26×3,98	1,50×16,8	2×(1,56×8)	2×(1,5×8)	2×(1,5×8)
Изоляция проводника	—	ПЭВД	ПЭВД	ПЭВД	ПЭВД	ПЭВД	ПЭВД
Число витков секции	шт.	8	2	1	1	4	1
Число сторон секций в пазу	шт.	12	16	10	10	14	8
Шаг обмотки по пазам	—	1-15	1-10	1-9	1-12	1-13	1-10
Шаг обмотки по коллектору	—	1-2	1-19	1-2	1-180	1-178	1-2

* Длительный режим.
** Сорокаминутный режим.

Продолжение

Показатель	Единица измерения	Типы мотор-генераторов					
		ДМГ-1500/50		ДМГ-1500/95		ДК-401А	
		Двигатель	Генератор	Двигатель	Генератор	Двигатель	Генератор
Сопротивление обмотки	ом	8,36	—	0,48	0,0048	2,02	0,0047
Плотность тока	а/мм ²	2,76	2,62	3,36	3,8	3,0	4,0
<i>Коллектор</i>							
Диаметр	мм	188	188	406	406	410	390
Число пластин	шт.	174	115	295	255	359	343
Среднее напряжение между пластинами	в	19	1,75	20,4	2,2	28,6	35
Коллекторное деление	мм	3,4	5,2	4,3	5	3,6	3,57
<i>Щёткодержатели и щётки</i>							
Число щёткодержателей	шт.	2	4	4	6	4	4
Число щёток на щёткодержатель	»	1	1	1	4	1	1
Ширина щёток	мм	10	12,5	12,5	22	10	5
Длина щёток	»	25	32	38	40	40	10
Плотность тока под щёткой	а/мм ²	0,92	5,35	5,3	5,7	2,12	25
Щегольное перекрытие	мм	4,1	3,4	2,9	4,4	2,8	2,125
Марка щётки	—	Т-2	ЭГ-2А	Т-2	ЭГ-2А	ЭГ-2А	ЭГ-2А
<i>Обмотка главных полюсов</i>							
Число витков последовательной обмотки	—	275	870	382	1	98	120
Размеры сечения последовательной обмотки	мм	Ø1,81	Ø1,67	4,1×4,1	3,8×2,25	3,23×3,28	1,65×3,05
Изоляция проводника последовательной обмотки	—	ЛБД	ЛБД	ЛБД	Лента хлопчатобумажная	ЛБД	ЛБД
Сопротивление последовательной обмотки	ом	2,7	—	0,822	0,0001	0,674	1,54
Плотность тока последовательной обмотки	а/мм ²	1,79	2,1	3,0	1,75	1,92	2,24
Число витков параллельной обмотки	—	750	460	8 000	300	208	228
Размеры сечения проводников параллельной обмотки	мм	Ø0,8	Ø1,35	Ø0,64	Ø3,28	2,1×2,1	1,61×2,1
Изоляция проводника параллельной обмотки	—	ЛБД	ЛБД	ЛБД	ЛБД	ЛБД	ЛБД
Сопротивление параллельной обмотки	ом	41,5	—	15,40	2,7	3,52	4,08
<i>Обмотка дополнительных полюсов</i>							
Число витков катушки	—	480	—	104	9	132	219
Размер сечения проводника	мм	Ø1,92	—	0,86×20,3	3,8×22,6	2,83×3,8	1,68×3,05
Марка изоляции проводника	—	ПЭЛБД	—	ЛБД	ЛБД	ЛБД	ЛБД
Сопротивление обмотки	ом	3,38	—	0,162	0,00176	0,485	1,76
Плотность тока	а/мм ²	1,6	—	2,2	1,75	2,5	2,24
							3,17
							8
							3(4,1×15,6)
							Класс В
							0,00170
							3,17

Таблица 6

Основные данные делителей напряжения и генераторов тока управления

Показатель	Единица измерения	Типы делителей напряжения и генераторов управления			
		ДК-601	ДД-60	ДК-405	ДУ-3
Общие данные					
Назначение	—	Делитель напряжения на моторвагоне	Делитель напряжения на электровозе	Генератор тока управления	
Номинальное напряжение	в	3 000/1 500	3 000/1 500	50	50
Номинальная мощность	квт	5,5	60	4,5	3,0
Номинальный ток	а	3	21	90	60
Скорость вращения	об/мин	1 350	1 200	1 300	1 200
Система вентиляции	—	Самовентиляция обдувом остова Роликовый, шариковый	Естественная	Естественная	
Род подшипников	—	Скольжения на шариковый	Н е и м е к т	П а р а л л е л ь н а я	
Система возбуждения	—	С м е ш а н н а я	П а р а л л е л ь н а я	П а р а л л е л ь н а я	
Число главных полюсов	шт.	4	2	4	4
Число дополнительных полюсов	»	—	—	—	4
Изоляция рассчитана на напряжение	в	3 000	3 000	1 000	1 000
Постоянное сопротивление в цепи машин	ом	40	20	—	—
Вес	кг	1 070	2 300	250	250
Удельный вес	кг/квт	195	38,4	55,5	83
Соединение	—	На валу насажен якорь генератора	Якорь насажен на вал двигателя	Якорь насажен на вал двигателя	
Воздушный зазор под главным полюсом	мм	3	3,15	2,2	3,2
Воздушный зазор под дополнительным полюсом	»	—	—	—	3,2
Якорь					
Длина сердечника	мм	150	280	80	58
Диаметр	»	354	420	282	280
Тип обмотки	—	Волновая	Петлевая	В о л н о в а я	—
Число пазов	шт.	45	29	27	27
Размеры паза:					
а) глубина	мм	28,1	52	32,5	33
б) ширина	»	10,8	16,8	10,2	7,5
Число проводников в пазу	шт.	84	64	16	12
Размер проводника	мм	Ø0,86	1,35×2,44	1,56×5,9	2,44×3,8
Изоляция проводника	—	ПЭЛШД	ПБД	Класс В	ПБД
Число витков секции	—	3	2	1	—
» сторон секций в пазу	—	2×14	32×2	8	—
Шаг обмотки по пазам	—	1—12	1—14	1—7	1—7
» » коллектору	—	1—158	1—2	1—54	1—27
Сопротивление обмотки	ом	7,2	1,23	0,0261	0,0525
Плотность тока	а/мм²	1,87	1,98	2,45	—
Коллектор					
Диаметр	мм	310/310	336/336	222	222
Число пластин	шт.	315/315	232/232	107	53
Среднее напряжение между пластинами	в	21	12,8	1,86	—
Коллекторное деление	мм	3,1	4,55	6,20	—
Щётки и щёткодержатели					
Число щёткодержателей	шт.	2×4	2×2	4	4
Число щёток в щёткодержателе	»	1	2	1	1
Ширина щётки	мм	8	16	16	16
Длина	»	25	36	32	32
Плотность тока под щёткой	а/см²	0,75	1,83	8,8	—
Щёточное перекрытие	пластин	2,6	3,5	2,6	—
Марка щёток	—	ЭГ-2А	Т-2	-2А	ЭГ-2А
Обмотка полюсов					
Число витков катушек последовательной обмотки	—	351	2×320	—	—
Размеры проводника последовательной обмотки	мм	Ø2,1	3,8×3,	—	—
Изоляция проводника последовательной обмотки	—	ПБД	ПБД	—	—
Сопротивление последовательной обмотки	ом	3,36	2×1,27	—	—
Плотность тока последовательной обмотки	а/мм²	0,87	1,46	—	—

Продолжение

Показатель	Единица измерения	Типы делителей напряжения и генераторов управления			
		ДК-601	ДД-60	ДК-405	ДУ-3
Число витков катушек параллельной обмотки	—	11 900	14 000	510	510
Размер проводника параллельной обмотки	мм	Ø0,31	Ø0,51	Ø2,26	Ø2,26
Изоляция проводников параллельной обмотки	—	ПЭЛШО	ПБД	ПБД	ПБД
Сопротивление параллельной обмотки	ом	9 200	3 670	5,38	4,46

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН

Отличительными особенностями электродвигателей вспомогательных машин электроподвижного состава постоянного тока являются:

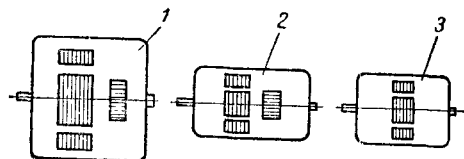
а) высокое напряжение на коллекторе 1 500 — 3 000 в, а следовательно, большая величина средних напряжений между коллекторными пластинами;

б) значительная величина колебаний напряжения, так, например, в соответствии с ГОСТ 2582—50 тяговые машины (в том числе и вспомогательные) должны быть рассчитаны на работу при повышении напряжения на +20% против номинального, т. е. практически при напряжении до 2 000—4 000 в;

в) высокая степень надёжности работы при различных тяжёлых условиях на подвижном составе: расположение под кузовом (моторгаоны), повышенная загрязнённость воздуха пылью и снегом при размещении в кузове (электровозы).

В связи с этим при конструировании машин вопросу экономии веса придаётся лишь второстепенное значение. Удельные веса двигателей вспомогательных машин находятся обычно в пределах 25—50 кг/квт при значительных габаритных размерах.

В качестве примера на фиг. 19 представлено сравнение в одном масштабе размеров и удельных весов двигателей вентиляторов

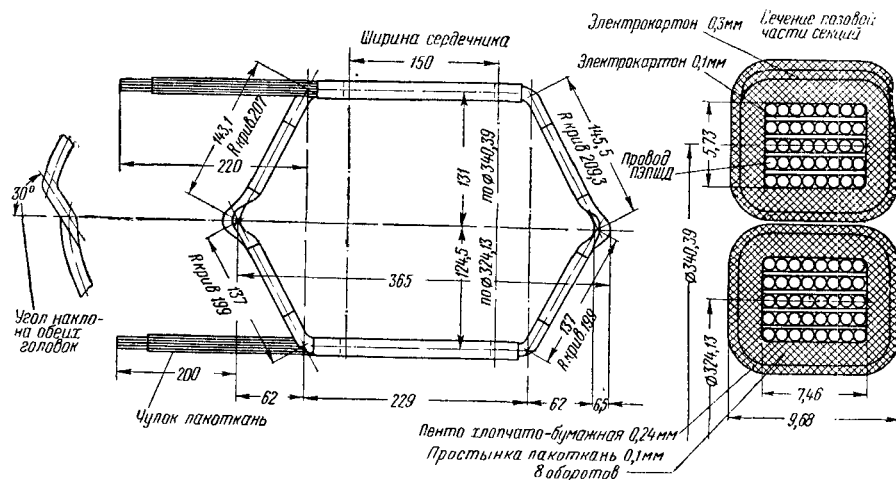


Фиг. 19. Сравнение размеров и весов двигателей вентиляторов равной мощности при различных системах питающего тока: 1 — двигатель постоянного тока 3 000 в, удельный вес 39,5 кг/квт; 2 — однофазный коллекторный двигатель пониженной частоты, удельный вес 17,7 кг/квт; 3 — асинхронный трёхфазный двигатель с короткозамкнутым ротором 50 пер/сек., удельный вес 10,2 кг/квт

при различных системах питающего тока. Удельные веса и размеры машинных преобразователей обычно ещё больше.

Так, удельный вес преобразователей с двигателями 3 000 в находится в пределах 35—100 кг/квт.

При расчёте и конструировании двигателей вспомогательных машин обычно не стремятся к получению высоких к. п. д., если это в ка-

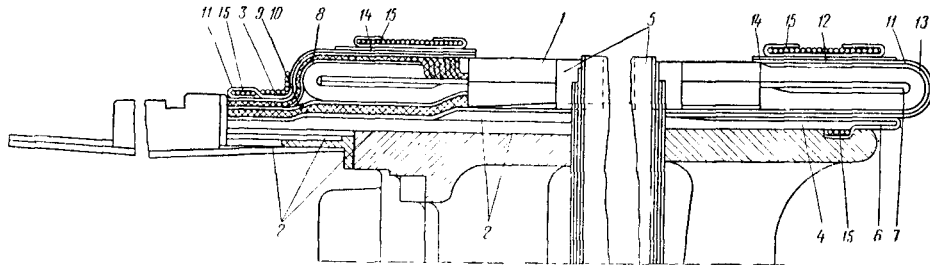


Фиг. 20. Катушка обмотки якоря двигателя вентилятора ДК-403Г

кой бы то ни было степени снижает надёжность работы. Обычно к. п. д. вспомогательной машины на 3 000 в не превышает 0,70—0,75. Задача повышения использования активных материалов, имеющая большое значение для тяговых двигателей у вспомогательных машин,

является для получения благоприятных пусковых характеристик и большей стабильности работы машин при колебаниях напряжений в контактной сети.

На фиг. 22 представлены в качестве примера рабочие характеристики двигателя вен-



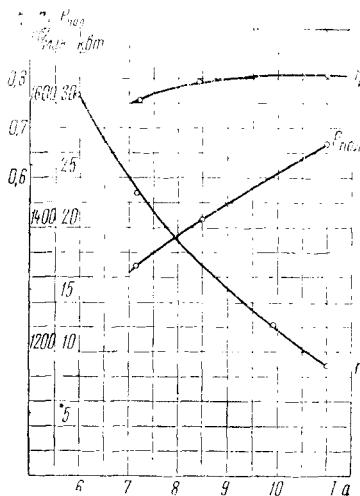
Фиг. 21. Обмотка якоря двигателя вентилятора ДК-403Г: 1 — секция якорной обмотки; 2 — изоляция передней нажимной шайбы (миканит); 3 — бандаж бечёвочный; 4 — изоляция задней нажимной шайбы (миканит); 5 — изоляция при выходе секции из паза сердечника (электрокартон толщиной 0,5 мм); 6 — чехол под задними лобовыми частями (полотно); 7 — изоляция задних головок (электрокартон); 8 — изоляция под концы секций (электрокартон толщиной 0,3 мм); 9 — изоляция под концы секций (лакоткань); 10 — изоляция передней лобовой части (лакоткань); 11 — чехол на лобовой части (полотно); 12 — изоляция задней лобовой части (электрокартон); 13 — изоляция задней лобовой части (лакоткань); 14 — изоляция под бандаж (электрокартон); 15 — бандаж стальной

имеет лишь второстепенное значение. Поэтому, как правило, высоковольтные вспомогательные машины выполняются с изоляцией класса А. В качестве характерного примера выполнения якорной обмотки на фиг. 20 представлена катушка якорной обмотки двигателя вентилятора ДК-403Г. На фиг. 21 представлена укладка обмотки на якоре той же машины.

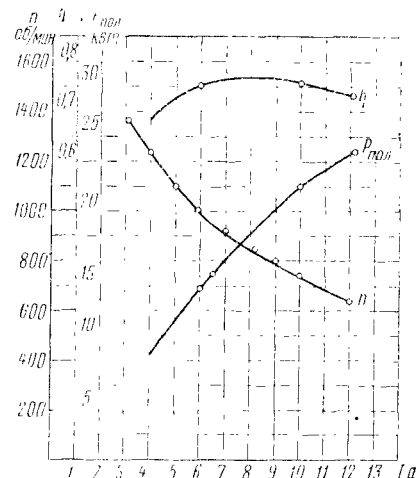
тилятора ДК-403Г, а на фиг. 23 — рабочие характеристики двигателя компрессора ДК-404А.

На фиг. 24 представлены рабочие характеристики генератора управления ДК-405.

Особенно слабое насыщение придётся магнитным системам таких машин, для которых по условиям их работы предусматривается точное регулирование основных параметров (например напряжение у генераторов). В ка-



Фиг. 22. Рабочие характеристики двигателя вентилятора ДК-403Г



Фиг. 23. Рабочие характеристики двигателя компрессора ДК-404А

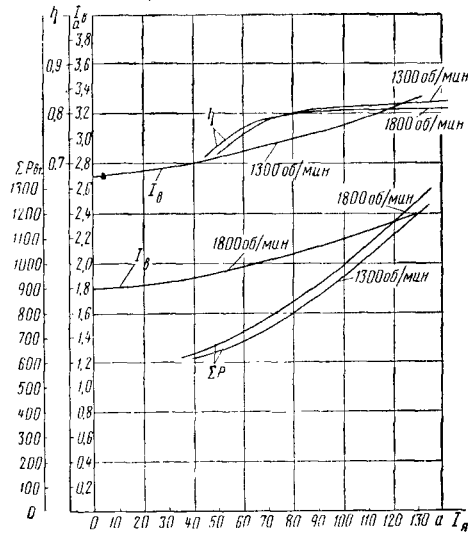
Изоляция класса В применяется преимущественно лишь в низковольтных машинах (генераторы низкого напряжения) в тех случаях, когда обмотка выполняется из меди прямоугольного сечения. Магнитные системы электродвигателей вспомогательных машин характеризуются слабым насыщением. Слабое насыщение магнитной системы выпол-

честве примера на фиг. 25 представлена магнитная характеристика возбудителя рекуперации.

У вспомогательных машин, особенно в случае закрытого и герметического исполнения (обычно вспомогательные машины моторных вагонов), плотности тока в обмотках значительно ниже, чем у тяговых двигателей (вместо

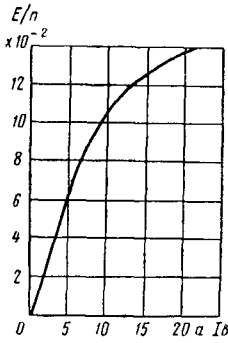
5,0—5,5 а/мм² находится в пределах 1,2—1,5 а/мм²). Соответственно удельные тепло-

В соответствии с этим сильно возрастают удельные веса вспомогательных машин до 100÷110 кг/квт.



Фиг. 24. Рабочие характеристики генератора тока управления ДК-405

отдачи с поверхности якоря снижаются с 40—50 вт сек/дм² до 8—12 вт сек/дм².



Фиг. 25. Магнитная характеристика возбуждителя рекуперации

В табл. 7 приведены основные данные по щёткам, применяемым на вспомогательных машинах, а на фиг. 26 показано их конструктивное выполнение.

В табл. 8 даны типы и основные размеры подшипников качения вспомогательных машин.

Таблица 7

Щётки вспомогательных машин

Тип машины	Размеры щётки в мм			Марка щётки	Количество в щёткодержателе	Количество щёткодержателей на машину	Примечание
	высота	ширина	толщина				
ЭК-12 (1500/3000)	25	20	12,5	Т-2	1	4	См. фиг. 26,а
ЭК-12 (3000)	25	20	10	Т-2	1	4	То же 26,а
ЭК-15	45	25	10	Т-2*	1	2	» 26,б
ДК-401А (сторона мотора) . .	50	40	10	Т-2*	1	4	» 26,в
ДК-401А (сторона генератора)	60	40	22	ЭГ-2	3	4	» 26,г
ДК-402А	32	25	10	Т-2	1	4	» 26,д
ДК-403Г	50	25	8	Т-2*	1	4	» 26,е
ДК-404	50	25	8	ЭГ-2А	1	4	» 26,е
ДК-405Б	32	32	16	ЭГ-14*	1	4	» 26,ж
ДК-406	50	25	8	ЭГ-2А	1	4	» 26,ж
ДК-601 А,Б	50	25	8	Т-2*	1	4	» 26,е
ДВ-18 (1500/3000)	50	25	12,5	ЭГ-2А	1	4	
ДВ-18 (3000)	50	25	10	ЭГ-2А	1	4	
ДМГ 1500/50 (сторона двигателя)	55	25	10	ЭГ-2	1	4	» 26,з
ДМГ 1500/50 (сторона генератора)	55	32	12,5	ЭГ-2	2	4	» 26,и
ДУ-3	55	32	16	ЭГ-2	1	4	» 26,к
ДДИ60	60	36	16	Т-2	2	2	» 26,л
VV100/75	40	10	8	ЭГ-2А	2	2	» 26,м
ДМГ 1500/95 (сторона двигателя)	57	28	12,5	Т-2	1	4	» 26,н
ДМГ 1500/95 (сторона генератора)	60	40	16	Т-2	4	6	» 26,о


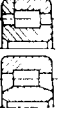








* Допускается применение щёток марки ЭГ-2А.



Фиг. 26. Щётки вспомогательных машин

Таблица 8

Подшипники качения, применяемые на вспомогательных машинах электроподвижного состава

Применение подшипников	Тип подшипника	ГОСТ или каталог	Основные размеры подшипника в мм	Тип подшип. номарок	Эскиз подшипника	Примечание
<i>Мотор-вентилятор ДК-403Г</i>						
Со стороны коллектора	Шариковый	315	75×160×37	—		Однорядный 1 шт.
Со стороны вентилятора, противоположной коллектору	Роликовый	42417	85×210×52	—		Однорядный 1 шт.
<i>Мотор-генератор ДК-401А</i>						
Сторона двигателя	То же	22320	100×215×47	—		Однорядный 1 шт.
Сторона генератора	»	32320	100×215×47	—		Однорядный 1 шт.
<i>Двигатель ДК-403А</i>						
Сторона, противоположная коллектору	»	32414	70×180×42	NUS-70		Однорядный 1 шт.
Сторона коллектора	»	92314	70×150×35	NUPM-70		Однорядный 1 шт.
<i>Динамотор ДДИ-60</i>						
Со стороны вентилятора и со стороны генератора управления	Шариковый	1311 или 6315 или 62315	55×120×29	—		Двухрядные по 1 шт. на каждую сторону
<i>Мотор-генератор ДМГ 1500/95</i>	То же	Эскиз 4М-568	65×160×50	—		Однорядный по 1 шт. со стороны мотора
<i>Мотор-вентилятор ДВ 1813000</i>						
Со стороны коллектора двигателя	Роликовый	52314 (92314)	70×150×35	NUPM-20		Однорядный 1 шт.
Со стороны, противоположной коллектору	То же	32414	70×180×42	NUS		Однорядный 1 шт.
<i>Мотор-компрессор ЭК 1213000</i>						
Со стороны коллектора	Роликовый	52412 (92412)	60×150×35	—		Однорядный 1 шт.
Со стороны, противоположной коллектору	То же	32414	70×180×42	—		Однорядный 1 шт.
<i>Воздушный компрессор типа ТВ-130</i>						
Нормального исполнения	Роликовые конические	7612	60×130×49	—		По 1 подшипнику с каждой стороны То же
Усиленного исполнения	То же	K-25	70×140×57	—		
<i>Мотор-генератор ДМГ 1500/150</i>						
а) Вариант I со стороны генератора	Роликовый	12489	40×90×23	—		Однорядный
со стороны двигателя	Роликовый	12489	40×90×23	—		»
б) Вариант II со стороны генератора	Роликовый	12490	40×90×23	—		»
со стороны двигателя	Роликовый	32308	40×90×23	—		»
<i>Динамотор ДК-601</i>						
а) Со стороны генератора	Шариковый	315	75×160×37	—		Однорядный
б) Со стороны вентилятора	Роликовый	32413	65×160×37	—		»

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ
К СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ ЭПС

1. Надёжность работы.
2. Безопасность для обслуживающего персонала и пассажиров.
3. Отсутствие значительных толчков тока и тягового усилия при пуске и переключениях силовой цепи, в двигателённом и тормозном режимах.
4. Минимальное время срабатывания аппаратов.
5. Возможность работы системы при отключении неисправных тяговых двигателей.
6. Простота эксплуатации системы управления.
7. Автоматическое соблюдение требуемой последовательности переключений и работы аппаратов при всех режимах.
8. Невозможность одновременной работы системы или её частей в двух взаимно исключающих режимах (двигательный и тормозной).
9. Автоматичность перехода системы из одного основного режима работы в другой, при перестановке рукоятки контроллера машиниста в соответствующее положение и при возвращении её в исходное положение. Для моторных вагонов автоматическое управление процессом реостатного пуска и регулирования возбуждения тяговых двигателей для получения заданной средней величины тягового усилия.
10. Автоматичность возвращения всех аппаратов в исходное положение и подготовка системы к последующему пуску при постановке рукоятки контроллера машиниста в нулевое положение.
11. Надёжность защиты электрооборудования системы от перегрузок, коротких замыканий и перенапряжений.
12. Автоматическое выключение аппаратов управления при срабатывании защиты и невозможность восстановления аппаратов защиты до возвращения системы управления в нулевое положение.
13. Возможность выбора режима пуска или торможения в зависимости от длины, веса поезда и профиля пути.
14. Наличие требуемого числа ходовых позиций, обеспечивающих необходимые режимы экономичной работы ЭПС.
15. Возможность контроля состояния и режимов работы оборудования электровоза или же нескольких электровозов, работающих совместно по системе многих единиц.
16. Достаточный запас мощности тяговых двигателей, пусковых и тормозных сопротивлений и пр., обеспечивающий возможность кратковременной перегрузки при тяжёлых условиях эксплуатации.
17. Возможность управления по системе многих единиц с любого поста управления, в том числе с постов, находящихся на прицепных вагонах.
18. Возможность отключения системы управления любого локомотива или электросекции, работающих по системе многих единиц, от поездных проводов управления.
19. Возможность полного использования сцепного веса электровозов и моторных вагонов при пуске и электрическом торможении.

20. Взаимодействие электрического, пневматического и электровоздушного тормозов.
21. Возможно меньший вес и объём электрооборудования, обеспечивающий малый вес ЭПС и возможность размещения оборудования в ограниченном пространстве.

РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ

Скорость движения электрического локомотива или скорость на ободу его колеса по кругу катания

$$v = \frac{\pi D_{\delta} n_{\delta}}{60} = \frac{U_{\kappa} - I \Sigma r}{C' \Phi},$$

где n_{δ} — скорость вращения тяговых двигателей в об/мин;

D_{δ} — диаметр бандажа колеса по кругу катания в м;

μ — передаточное число зубчатой передачи;

U_{κ} — напряжение, подводимое к двигателю, в в;

Φ — магнитный поток одного полюса в мкс;

Σr — сопротивление якоря, обмотки дополнительных полюсов и обмотки последовательного возбуждения двигателя в ом;

I — ток двигателя в а;

C' — постоянная, равная:

$$C' = \frac{pN}{a \cdot 60} \cdot \frac{5,3 \mu}{D_{\delta}} \cdot 10^{-8};$$

p — число пар полюсов;

a — число пар параллельных ветвей обмотки якоря;

N — число активных проводников якоря.

Для регулирования скорости применяются следующие способы:

а) изменение напряжения, подводимого к двигателю;

б) изменение величины магнитного потока двигателя.

Изменение подводимого к двигателю напряжения осуществляется обычно:

а) включением последовательно в цепь тяговых двигателей дополнительных сопротивлений (реостатов);

б) применением различных схем соединения тяговых двигателей или их групп: последовательного и параллельного с различным числом параллельных ветвей;

в) применением специальных электромашиных преобразователей.

Регулирование скорости включением
дополнительных сопротивлений

Этот способ регулирования неэкономичен из-за значительных потерь энергии в сопротивлениях; он применяется лишь в период пуска или при переходе от одной схемы соединения тяговых двигателей к другой. При пуске величина дополнительного сопротивления уменьшается по мере увеличения скорости вращения двигателей постепенным выключением отдельных ступеней сопротивления (фиг. 1).

При одном двигателе напряжение на его зажимах будет при этом равно:

$$U_{\kappa} = U_c - I_n R_p = E + I_n \Sigma r,$$

а протекающий через двигатель пусковой ток:

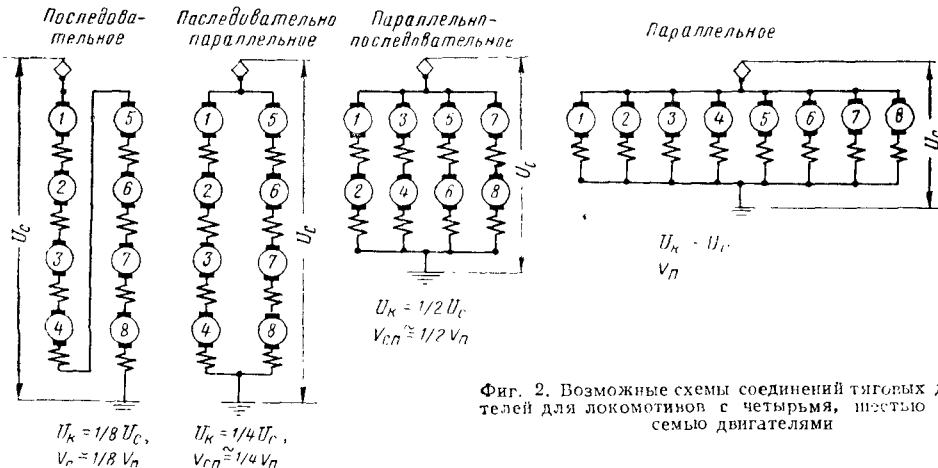
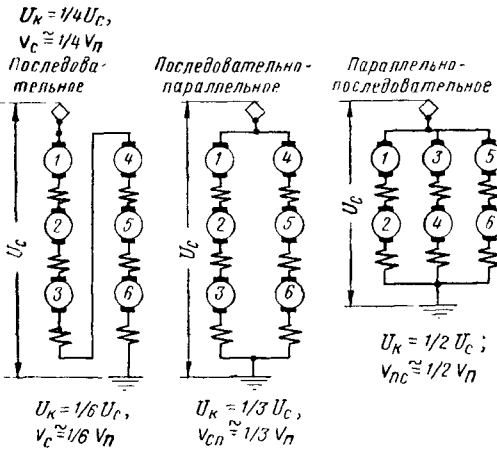
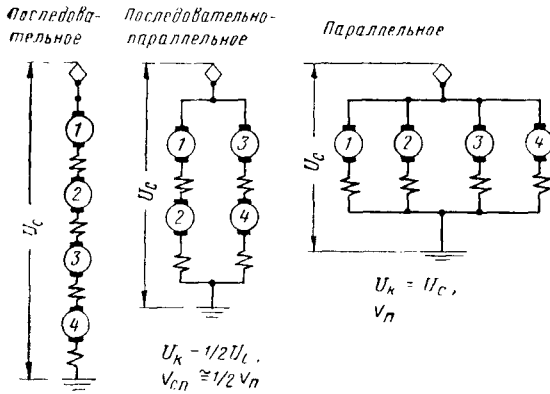
$$I_n = \frac{U_c - E}{\sum r + R_p},$$

где R_p — дополнительное сопротивление, включённое в цепь двигателей;

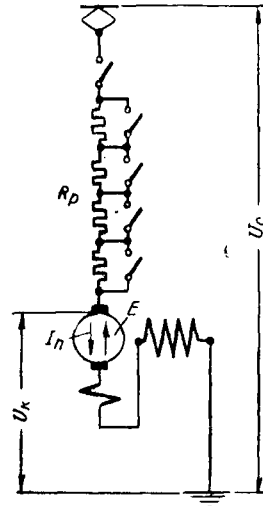
U_c — напряжение питающей (контактной) сети.

Регулирование скорости применением различных схем соединения тяговых двигателей

Наиболее распространённые комбинации соединения тяговых двигателей для локомотивов с четырьмя, шестью и восемью двигателями представлены на фиг. 2.



Фиг. 2. Возможные схемы соединений тяговых двигателей для локомотивов с четырьмя, шестью и восемью двигателями



Фиг. 1. Схема реостатного пуска тягового двигателя

При применении этого способа напряжения, подводимое к тяговому двигателю, равно

$$U_k = \frac{U_c}{n},$$

где n — число последовательно соединённых тяговых двигателей.

Каждой схеме соединения соответствует определённая экономическая ступень скорости.

В настоящее время тяговые двигатели магистральной тяги строятся обычно на расчётное напряжение $U_k = 1500$ в, поэтому при напряжении $U_c = 3000$ в комбинации параллельного соединения с одним двигателем в каждой ветви не применяются.

Переключения цепей тяговых двигателей при переходе на различные схемы соединения должны производиться по возможности без разрыва силовой цепи.

На фиг. 3 представлены основные способы перехода с одного соединения тяговых двигателей на другое для двух тяговых двигателей (или двух групп двигателей). Наибольшие колебания тока и тягового усилия даёт способ перехода коротким замыканием, наименьшие (при фиксированном режиме перехода) — способ моста. Последний способ получил наибольшее распространение на моторных вагонах; на электровозах применение его ограничивается необходимостью иметь несколько групп сопротивлений (по числу групп тяговых двигателей).

Регулирование скорости при помощи электромашинных преобразователей

Значительная часть мощности, потребляемой тяговыми двигателями, преобразуется специальными электромашинными преобразователями. Применяемые на ЭПС электромашинные преобразователи могут быть подразделены на следующие типы: двигатель-генера-

торы, многоколлекторные делители напряжения, вольтодобавочные машины и преобразователи поперечного поля Шенфера (метадин).

Электрические схемы основных применяемых систем с электромашинными преобразователями приведены в табл. 1. Широкое применение электромашинных преобразователей ограничивается значительной мощностью и конструктивной сложностью большинства преобразователей.

Регулирование скорости изменением магнитного потока (поля) тяговых двигателей

Имеются три основных способа ослабления магнитного поля тяговых двигателей (регулирование их возбуждения):

- 1) способ секционирования — выключение части витков обмотки возбуждения;
- 2) способ шунтирования — включение сопротивления параллельно обмотке возбуждения;
- 3) смешанный способ.

Электрические схемы, соответствующие этим способам, приведены на фиг. 4. Степень ослабления поля характеризуется коэффициентом регулирования возбуждения

$$\beta = \frac{AW_{on}}{AW_{nn}},$$

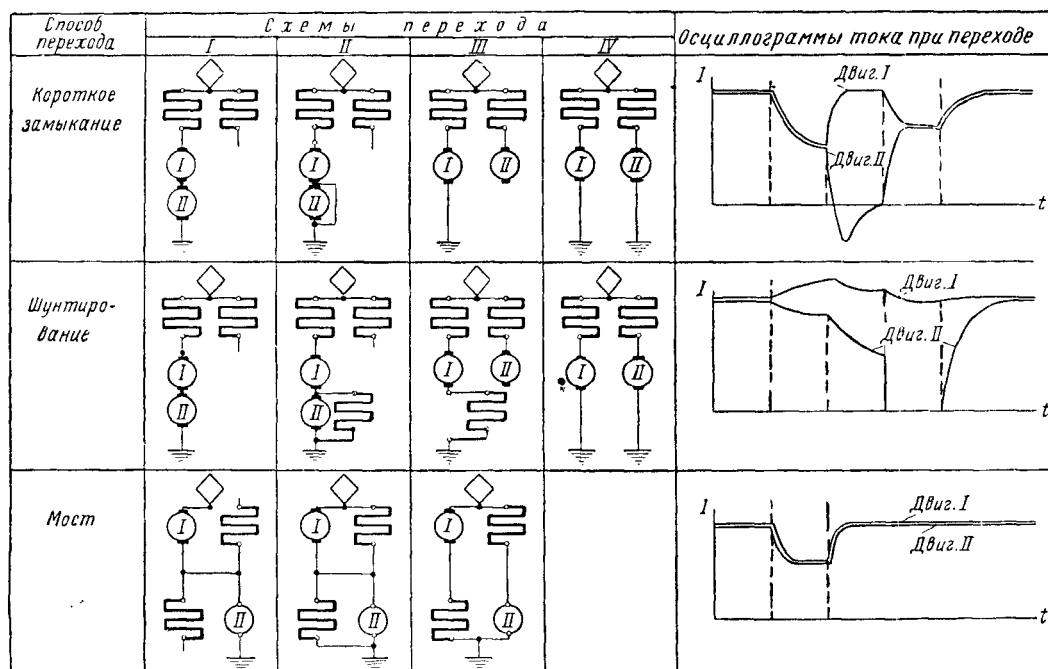
где AW_{on} — намагничивающая сила обмотки возбуждения при ослабленном поле;

AW_{nn} — намагничивающая сила обмотки возбуждения при полном поле для одного и того же тока в цепи якоря, что и при ослабленном поле.

Значения β для различных способов ослабления поля приведены на фиг. 4.

Необходимая величина сопротивления $R_{ш}$ определяется для каждого двигателя:

$$R_{ш} = r_a \frac{1}{1-\beta} - R_a \text{ ом},$$



Фиг. 3. Способы перехода с одного соединения тяговых двигателей на другое

Т а б л и ц а 1

Пусковые потери при применении машинных преобразователей

Система	Двигатель-генератор	Многоколлекторный делитель напряжения	Вольтодобавочная машина	Преобразователь метадин Шенфера
Принципиальная схема				
Диаграмма мощности при пуске				
Энергия тяговых двигателей Эд	$-\frac{1}{2} U_c I_n T_n = -\frac{1}{2} P_0 T_n$	$-\frac{1}{2} U_c (I_{n1} + I_{n2}) \times T_n = -\frac{1}{2} P_0 T_n$	$-\frac{1}{2} U_c I_n T_n = -\frac{1}{2} P_0 T_n$	$-\frac{1}{2} U_c I_n T_n$
Наибольшая мощность преобразователя	$\frac{P_{\partial \max}}{4}$	$\frac{P_{\partial \max}}{2} \cdot \frac{1}{4}$	$\frac{P_{\partial \max}}{4}$	$\frac{P_{\partial \max}}{2}$
Потери в преобразователе	$0,21 \frac{P_{\partial \max} \cdot T_n}{4} \approx \frac{P_{\partial \max} \cdot T_n \cdot 0,21}{4}$	$0,21 \frac{N_{\partial \max} \cdot 2T_n}{8} = \frac{P_{\partial \max} \cdot T_n \cdot 0,21}{8}$	$0,18 \frac{N_{\partial \max} \cdot 2T_n}{2} = \frac{0,18 N_{\partial \max} \cdot T_n}{2}$	—
К. п. д. пуска (теоретический)	$\frac{0,5}{0,5+0,053}=0,905$	$\frac{0,5}{0,5+0,025}=0,955$	$\frac{0,5}{0,5+0,09}=0,85$	—
К. п. д. пуска с учетом потерь в преобразователе	0,80	0,885	0,68	—

Примечание. К. п. д. пуска определяется $\eta_{п} = \frac{P_{\partial}}{P_{\partial} + \Delta P_M}$

де r_n — сопротивление обмоток возбуждения;

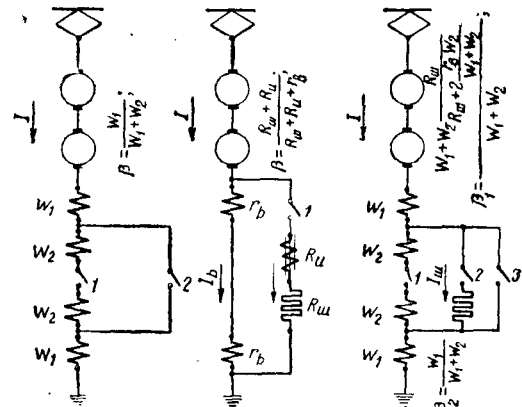
$R_{ш}$ — активное сопротивление дополнительной индуктивности (индуктивного шунта), включаемой в цепь шунтирующего сопротивления.

При способе шунтирования и смешанном способе последовательно с сопротивлением $R_{ш}$ включается некоторая индуктивность $L_{ш}$ (индуктивный шунт), необходимая для сохранения соотношения между токами I_a и $I_{ш}$ при установившихся режимах:

$$L_{ш} \geq L_a \frac{\beta}{1-\beta},$$

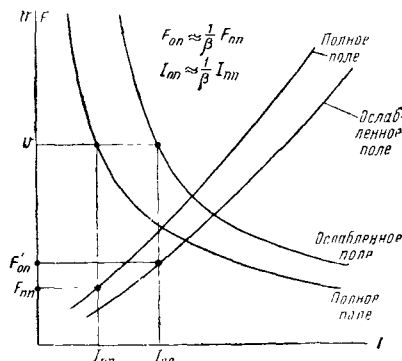
де L_a — индуктивность обмотки возбуждения двигателя.

Секционирование Шунтирование Смешанный способ



Фиг. 4. Способы ослабления поля тяговых двигателей

Изменение характеристик двигателя при ослаблении поля показано на фиг. 5. Приведённые на ней соотношения $\frac{1}{\beta} = \frac{I_{on}}{I_{nn}} = \frac{F_{on}}{F_{nn}}$ являются приближёнными (без учёта изменения величины падения напряжения и потерь), однако они могут быть приемлемыми для решения большинства практических задач.



Фиг. 5. Характеристики двигателя при ослаблении поля

Предельная величина β в двигателях с напряжением 1500 в на коллекторе обычно составляет 30—50%. В современных тяговых двигателях последовательного возбуждения с напряжением на коллекторе до 1000 в и малым насыщением магнитной системы предельную величину β удастся довести до 20—25%. Число ступеней регулирования возбуждения у современных тяговых двигателей достигает 5, а в некоторых случаях даже 9.

Регулирование тягового и тормозного усилия

Тяговое усилие F_k , развиваемое на ободе колеса, равно

$$F_k = \frac{2\mu\eta_n}{D\delta} M_{\partial\partial} = k'I\Phi - \Delta F,$$

а тормозное усилие

$$B_k = \frac{2\mu\eta_n}{D\delta} M_{ген} = k'I\Phi + \Delta F,$$

где $M_{\partial\partial}$ и $M_{ген}$ — вращающий момент на валу машины в кгм при двигательном и тормозном (генераторном) режиме;

I — ток машины;

η_n — к. п. д. зубчатой передачи;

k' — постоянная, равная

$$k' = \frac{2\mu\eta_n}{D\delta} \cdot \frac{pN}{61,6a} \cdot 10^{-8};$$

$$\Delta F = 0,367 \frac{U_k I (1 - \eta) - I^2 \sum r}{v}$$

потеря тягового усилия в кг, обусловленная магнитными потерями в двигателе и механическими потерями в двигателе и передаче;

$\sum r$ — сумма внутренних сопротивлений обмоток машины.

Тяговое и тормозное усилие можно регулировать изменением тока I и магнитного потока Φ машины любым способом: после-

довательным включением сопротивлений применением различных схем соединения тяговых машин или регулированием их возбуждения.

В процессе пуска при помощи пусковых реостатов ток и магнитный поток двигателя поддерживаются примерно постоянными.

При движении поезда с установившейся скоростью тяговое усилие автоматически устанавливается равным сопротивлению движения. Если необходимо увеличить или уменьшить тяговое или тормозное усилие при определённой скорости движения, машины переводятся на работу по другой тяговой характеристике, например по характеристике ослабленного поля.

РЕГУЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ

Локомотив и тяговый двигатель должны отдавать по возможности постоянную мощность в возможно более широком диапазоне скоростей (особенно при высоких скоростях).

Это требование связано с необходимостью обеспечить постоянство нагрузки системы энергоснабжения и условиями максимального использования мощности двигателей.

Изменения сопротивления движению, особенно кратковременные и резкие, не должны вызывать значительных изменений тока двигателя.

Значительные колебания напряжения сети, свойственные тяговым сетям (до +20 и —30%), также не должны оказывать значительного влияния на работу локомотива и тягового двигателя и не должны вызывать резкого изменения скорости и значительных толчков тягового усилия и тока.

Автоматическое регулирование мощности локомотива обеспечивается соответствующей формой его тяговой характеристики. Наиболее благоприятные условия для подвижного состава и системы энергоснабжения даёт гиперболическая характеристика (кривая 1, фиг. 6), обеспечивающая постоянство мощности:

$$P_k = \frac{vF_k}{367} = \text{const.}$$

Однако в электрических двигателях постоянного тока, питающихся от сети с постоянным напряжением, такая характеристика не может быть получена.

Ближе всего к гиперболической подходят характеристики двигателей последовательного возбуждения со слабым насыщением магнитной системы. При полном отсутствии насыщения зависимость между v и F_k будет иметь вид

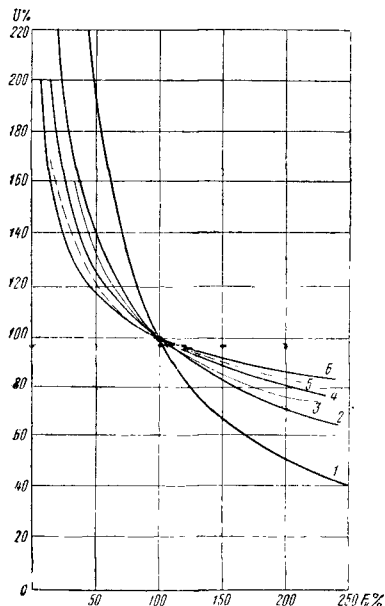
$$v = \frac{\text{const}}{\sqrt{F_k}}.$$

Эта зависимость представлена на фиг. 1 кривой 2; она определяет возможный предел естественных характеристик тяговых двигателей последовательного возбуждения.

Характеристики реальных тяговых двигателей несколько отклоняются от идеальной кривой 2 благодаря наличию насыщения в магнитной системе (см. кривые 3—6, фиг. 6).

В случае когда предусмотрено достаточное число ступеней ослабления поля, имеетс-

возможность, особенно в зоне скоростей движения, превышающих скорость часового режима, путём глубокого регулирования возбуждения значительно приблизиться к условиям отсутствия насыщения в машине и поддерживать мощность двигателя сравнительно постоянной в довольно широком диапазоне скоростей движения.



Фиг. 6. Тяговые характеристики двигателей при различном насыщении магнитной системы: 1 — гиперболическая; 2 — при полном отсутствии насыщения; 3 — ДК-106, ослабленное поле; 4 — ДК-106, полное поле; 5 — ДК-103А; 6 — ДПЗ-400

Регулировочные качества локомотива определяются коэффициентом экономического регулирования:

$$K_{рег} = \frac{\sum (v_{он} - v_{nn})}{v_{max}} \approx \frac{(v_{он} - v_{nn})_n \sum \frac{U_{кп}}{U_{к}}}{v_{max}}$$

где $v_{он} - v_{nn}$ — разность между скоростями локомотива при ослабленном и полном поле для каждой схемы соединения двигателей (фиг. 7);

$\sum (v_{он} - v_{nn})$ — сумма этих разностей для всех соединений двигателей, предусмотренных схемой управления при определённом тяговом усилии;

$(v_{он} - v_{nn})_n$ — разность скоростей локомотива при ослабленном и полном поле при параллельном соединении;

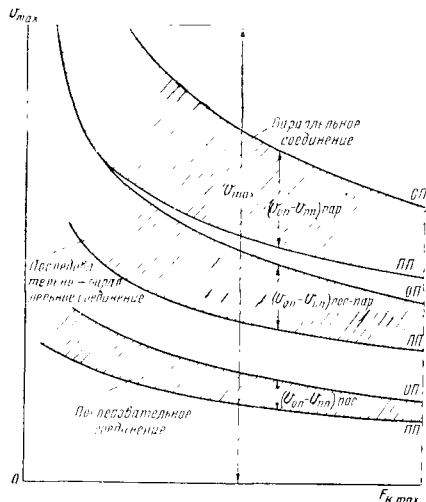
v_{max} — максимальная скорость локомотива;

$U_{кп}$ — напряжение на зажимах двигателя при параллельном соединении;

$U_{кп}$ — напряжение на зажимах двигателя при соединениях двигателей, предусмотренных схемой управления.

Для повышения регулировочных качеств локомотива могут быть использованы следующие меры:

а) увеличение числа комбинаций последовательно-параллельных переключений двигателей, т. е. увеличение числа групп экономических тяговых характеристик;



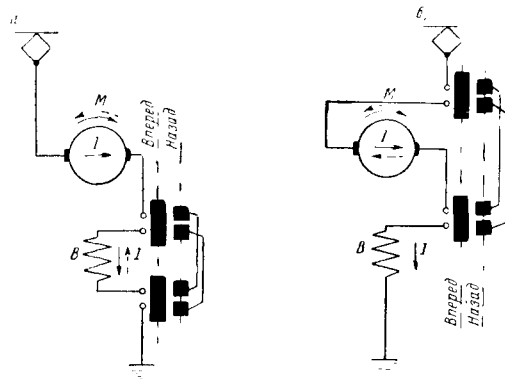
Фиг. 7. Тяговые характеристики электровоза при полном и ослабленном поле для различных соединений двигателей

б) повышение глубины регулирования возбуждения и увеличение числа ступеней ослабления поля;

в) уменьшение насыщения магнитной системы тяговых двигателей.

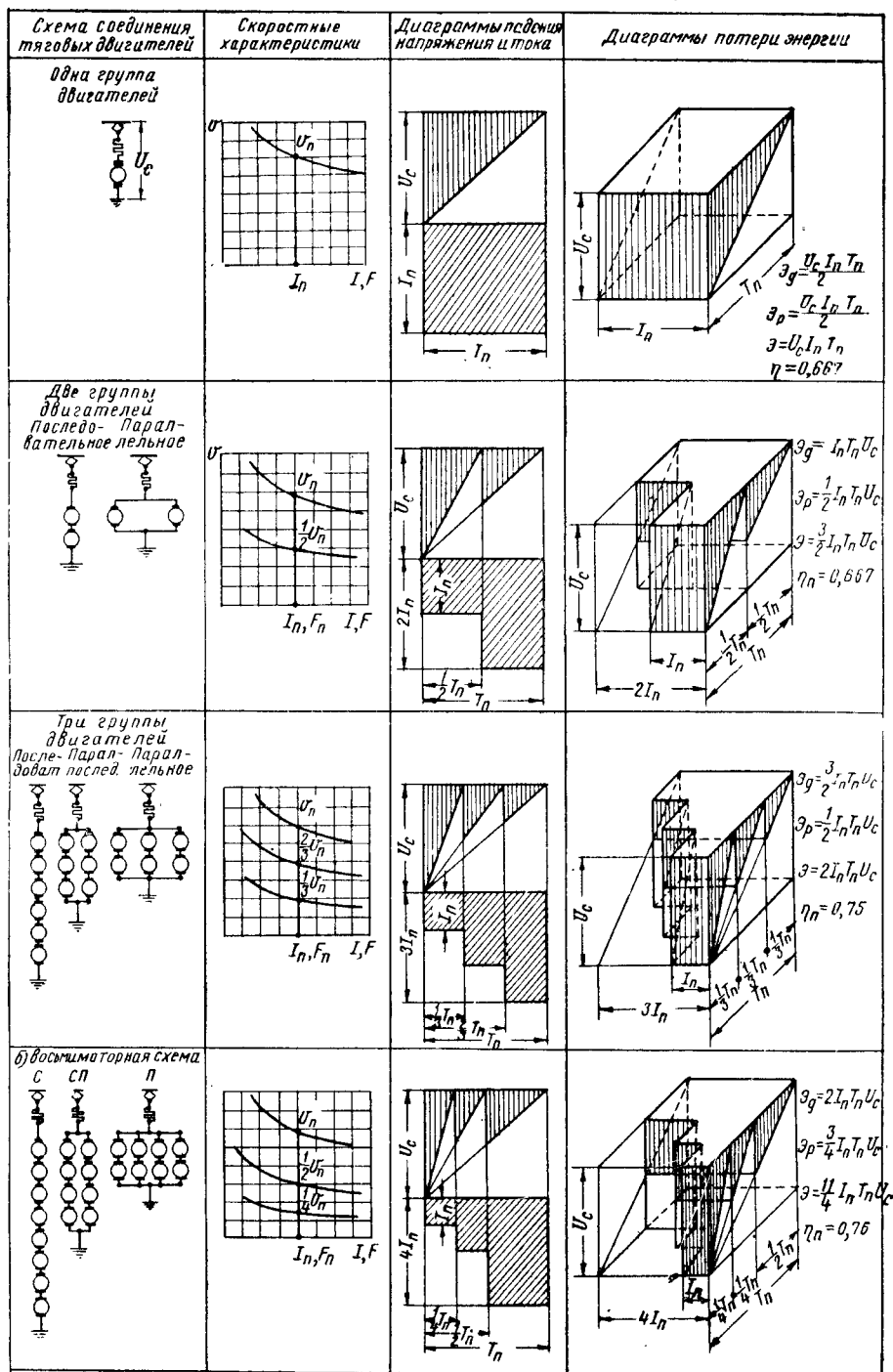
ИЗМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Изменение направления вращения двигателей осуществляется изменением направления вращающего момента $M = K\Phi I$. Это дости-

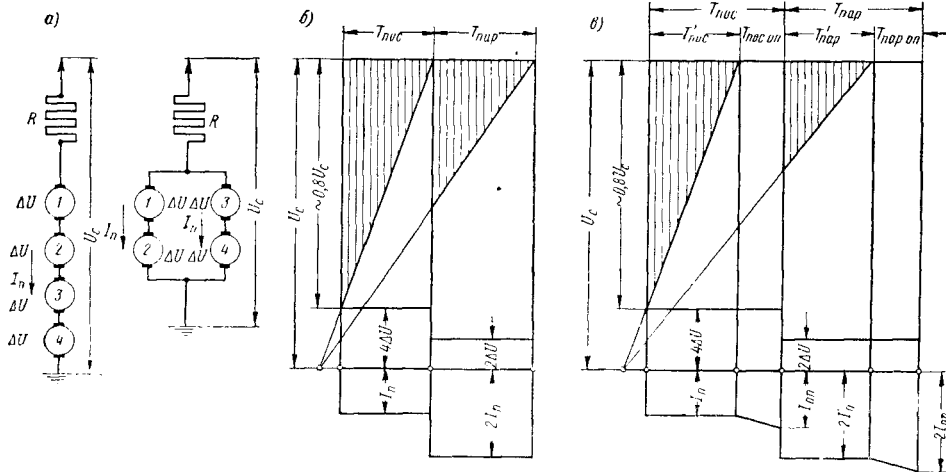


Фиг. 8. Способы изменения направления вращения тяговых двигателей: а — изменением тока в обмотках возбуждения; б — изменением тока в обмотке якоря

гается изменением направления тока в якоре или направления магнитного потока машины, т. е. тока в обмотках возбуждения (фиг. 8).



Фиг. 9. Пусковые потери при различных схемах соединения тяговых двигателей: U_c — напряжение сети; I_n — пусковой ток; T_n — время пуска; F — тяговое усилие при пуске; v_n — скорость при параллельном соединении двигателей, соответствующая тяговому усилию F_n



Фиг. 10. Диаграммы потерь энергии в пусковых сопротивлениях при пуске с переключением двигателей с последовательного соединения на параллельное (с учётом внутреннего падения напряжения в двигателях): а — схемы переключения; б — диаграмма потерь энергии без ослабления поля; в — диаграмма потерь энергии с применением ослабления поля; I_n и $I_{оп}$ — пусковой ток при полном и при ослабленном поле; T_{nos} и $T_{пар}$ — время пуска на последовательном и на параллельном соединениях; $T_{nos,оп}$ и $T_{пар,оп}$ — время пуска на последовательном и параллельном соединениях при ослаблении поля; T_{nos} и $T_{пар}$ — время пуска на последовательном и на параллельном соединениях при включённых пусковых сопротивлениях; $\Delta U \approx 0,05 U_c$ — падение напряжения в двигателях

Чаще применяется изменение направления тока в обмотках возбуждения (фиг. 8, а). В этом случае части реверсора — аппарата, осуществляющего переключения, необходимые для изменения направления вращения, могут быть выполнены на напряжение меньше чем U_k .

ПУСК ЭПС ПОСТОЯННОГО ТОКА И ПУСКОВЫЕ ПОТЕРИ

Пуск тяговых двигателей осуществляется обычно при помощи пусковых сопротивлений с постоянным по величине тяговым усилием F_k и током I . При этом э. д. с. двигателя E меняется в процессе пуска пропорционально скорости v от нуля в момент трогания с места до величины U_k при выходе на автоматическую характеристику (пренебрегая внутренним падением напряжения в машине).

При пуске двигателя электрическая энергия \mathcal{E} , получаемая из сети, не используется полностью для совершения полезной работы. Некоторое количество энергии \mathcal{E}_p теряется в пусковых сопротивлениях. Поэтому к. п. д. пуска

$$\eta_n = \frac{\mathcal{E}_d}{\mathcal{E}} = \frac{\mathcal{E}_d}{\mathcal{E}_d + \mathcal{E}_p},$$

где \mathcal{E}_d — количество полезно используемой энергии.

Для снижения потерь в реостатах применяется последовательно-параллельное соединение тяговых двигателей или их групп.

Наиболее распространенные схемы соединения двигателей при пуске показаны на фиг. 9; там же приведены диаграммы падения напряжения и тока и диаграммы потерь энергии. Потери энергии определяются объёмами заштрихованных параллелепипедов на соответствующих диаграммах.

Приведённые на фиг. 9 значения полезно используемой энергии и к. п. д. пуска полу-

чены без учёта потерь в двигателях и передаче и сопротивления двигателей и кабельной проводки.

При учёте их (фиг. 10) к. п. д. пуска повышается на 1—3%.

Для снижения потерь в пусковых сопротивлениях иногда в процессе пуска применяется регулирование возбуждения тяговых двигателей. Как правило, для этого используются те же ступени, что и для получения дополнительных экономических скоростей.

При переключении двигателей в процессе пуска с последовательного соединения на параллельное снижение расхода энергии благодаря применению ослабления поля зависит от степени регулирования возбуждения. Из диаграммы фиг. 10 видно, что при применении ослабления поля времена пуска T'_{nos} и $T'_{пар}$ с включёнными пусковыми сопротивлениями всегда будут меньше времён пуска T_{nos} и $T_{пар}$ при отсутствии ослабления поля. Ослабление поля при пуске обычно даёт от 15 до 30% уменьшения потерь энергии в пусковых реостатах.

Для снижения пусковых потерь в ряде случаев применяются пусковые системы с электромашиными преобразователями.

Принципиальные схемы и основные данные этих систем приведены в табл. 1.

ПУСКОВЫЕ ДИАГРАММЫ ЭПС ПОСТОЯННОГО ТОКА

При пуске ЭПС, как правило, реализуется наибольшее возможное тяговое усилие. Величина этого усилия может ограничиваться следующими факторами:

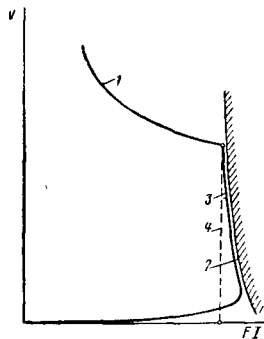
- а) условиями сцепления;
- б) величиной тока, допустимого по условиям коммутации.

Характер ограничения тягового усилия по условиям сцепления показан на фиг. 11.

Максимальное тяговое усилие F_{\max} не должно хотя бы кратковременно превышать величины, определяемой условиями сцепления, так как при превышении этого предела возникнет буксование колёсных пар.

Ограничение по условиям коммутации определяется величиной наибольшего тока, который в соответствии с ГОСТ на тяговые машины принимается равным

$$I_{\max} \leq (1,8 \div 2,0) I_u.$$



Фиг. 11. Ограничения тягового усилия при пуске: 1 — естественная (автоматическая) характеристика; 2 — ограничение по сцеплению; 3 — наибольшее допустимое тяговое усилие (ток); 4 — обычно принимаемое ограничение тягового усилия (тока) при пуске

Тяговое усилие электровозов, а в ряде случаев и моторных вагонов, обычно ограничивается условиями сцепления.

Ввиду того, что непрерывное и плавное изменение величины пусковых сопротивлений практически затруднительно, применяется ступенчатый реостатный пуск. Степень равномерности его определяется коэффициентом неравномерности пуска по току:

$$\kappa_n = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

или коэффициентом неравномерности по тяговому усилию:

$$\kappa'_n = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{F_{\max} + F_{\min}}.$$

В обоих случаях величины I и F относятся к режиму пуска.

Обычно для электровозов допускаются:

$$\kappa_n = 0,07 \div 0,10$$

и

$$\kappa'_n = 0,09 \div 0,12.$$

Соответственно для моторных вагонов

$$\kappa_n = 0,15 \div 0,20.$$

Величина колебаний пускового тока и тягового усилия определяется технико-экономическими соображениями. Применение больших колебаний, соответствующих меньшему числу пусковых ступеней, обеспечивает упрощение и удешевление аппаратов управления благодаря снижению числа реостатных контакторов. Однако увеличение толчков тягового усилия вызывает снижение использования сцепного веса ЭПС.

Пуск ЭПС можно производить ручным или автоматическим переключением со ступени на ступень. Ручное управление обычно применяется на электровозах, а автоматическое — на моторных вагонах.

В системах с неавтоматическим пуском величина пускового тока, а следовательно, и

тягового усилия зависит от воли машиниста. Эта величина регулируется им изменением продолжительности выдержки рукоятки контроллера на отдельных позициях, т. е. изменением скорости её перехода с одной позиции на другую. Ориентируясь показаниями приборов (амперметра и скоростемера), а также своими наблюдениями за разгоном поезда, машинист в этом случае может довольно точно выдержать величину пускового тока и тягового усилия при различных весах поезда и колебаниях напряжения в контактной сети. Пусковые диаграммы электровозов приведены в главе «Электрическая тяга поездов». На диаграммах приводятся все реостатные ходовые характеристики $v = f(I)$, включая характеристики при ослабленном поле.

Применение автоматического пуска на электровозах требует более сложной системы управления из-за непостоянства веса поезда и требуемой величины тягового усилия.

На моторных вагонах применяются три основные системы автоматического пуска:

- а) пуск с управлением в зависимости от тока;
- б) пуск с одинаковым временем переключения с позиции на позицию — хронометрический пуск;
- в) смешанная система.

При пуске с управлением в зависимости от тока переключение с позиции на позицию осуществляется реле ускорения при падении тока на предыдущей позиции до величины уставки реле ускорения.

Реле ускорения на всех позициях осуществляет автоматическое переключение исходя из постоянства минимального значения I_{\min} пускового тока; так как колебания пускового тока в процессе пуска приблизительно одинаковы, то приблизительно постоянна и средняя величина пускового тока I_{cp} . Это обеспечивает относительное постоянство при пуске среднего значения тягового усилия.

Ток срабатывания реле ускорения постоянен по величине и не зависит от напряжения в контактной сети. Не зависит он и от наполнения вагонов пассажирами, что является существенным недостатком систем автоматического управления при помощи токовых реле.

Хронометрический пуск осуществляется обычно переключением реостатного контроллера с постоянным собственным временем срабатывания его привода. Этот способ пуска характеризуется постоянством отношения силы тяги на обод колеса F_k к весу поезда Q . Однако на подъемах при хронометрическом пуске возможно чрезмерное возрастание тягового усилия и тока, что является его существенным недостатком.

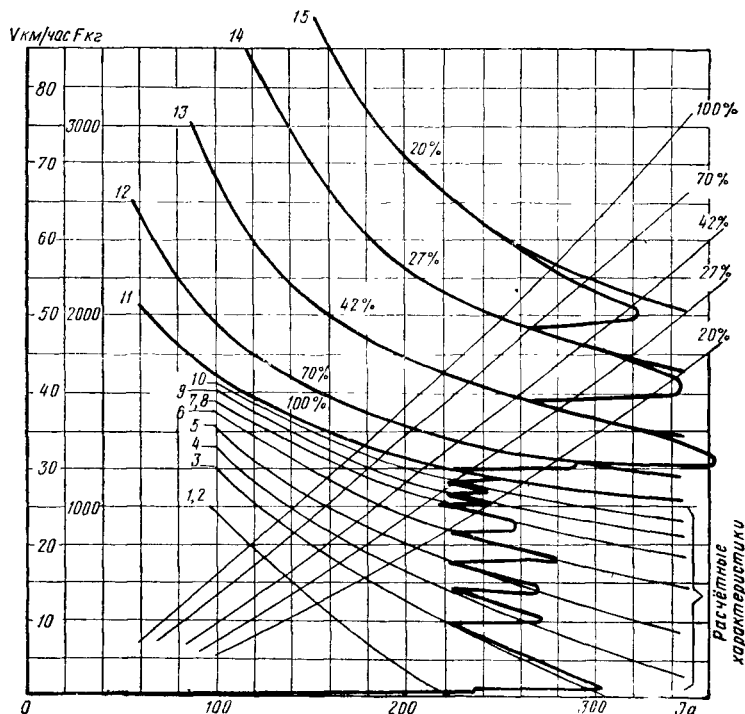
Хронометрический пуск применяется преимущественно при большом значении реализуемого ускорения, большом числе пусковых позиций и сильно меняющейся пассажирской нагрузке (например в вагонах метрополитена).

Смешанная система пуска соединяет в себе элементы системы пуска с управлением в зависимости от тока и хронометрического пуска. Она применена на вагонах серии Д Московского метрополитена, в которых при последовательном соединении двигателей исполь-

зуется хронометрический пуск, а при параллельном — пуск при помощи реле ускорения; переключение на позиции ослабления поля осуществляется также посредством реле ускорения.

В случае когда на ЭПС не предусмотрено применение различных схем соединения тяго-

что вытекает из прямой пропорциональности между скоростью движения и э. д. с. тяговых машин $\phi = \text{const}$. Механическое торможение, как правило, неустойчиво ввиду резкого падения коэффициента трения между бандажом и колесами при повышении скорости свыше некоторого критического значения $v_{кр}$ (фиг. 13).



Фиг. 12. Пусковая диаграмма тягового двигателя ДК-105

вых двигателей (на некоторых типах моторных вагонов), пуск двигателей осуществляется с применением нескольких ступеней ослабления поля (фиг. 12).

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ И ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ ТОРМОЖЕНИЯ ЭПС

Различают три вида электрического торможения:

1) реостатное, когда электроэнергия, вырабатываемая тяговыми машинами, работающими в тормозном (генераторном) режиме, поглощается в сопротивлениях (в качестве тормозных сопротивлений обычно используются пусковые);

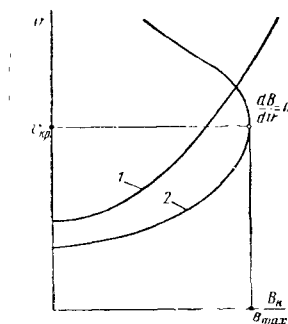
2) рекуперативное, когда генерированная энергия возвращается ЭПС в контактную сеть, используя её энергетические ресурсы;

3) смешанное реостатно-рекуперативное торможение.

Электрическое торможение всех видов при торможении на уклонах обладает более высокой механической устойчивостью, чем механическое торможение при помощи тормозных колодок. Это определяется тем, что при электрическом торможении всегда

$$\frac{dB_K}{dv} > 0,$$

Высокие механические качества электрического торможения позволяют широко применять его в качестве основного служебного тормоза при сохранении механического тормоза в качестве резервного. Этому способствует также значительная экономия расхода

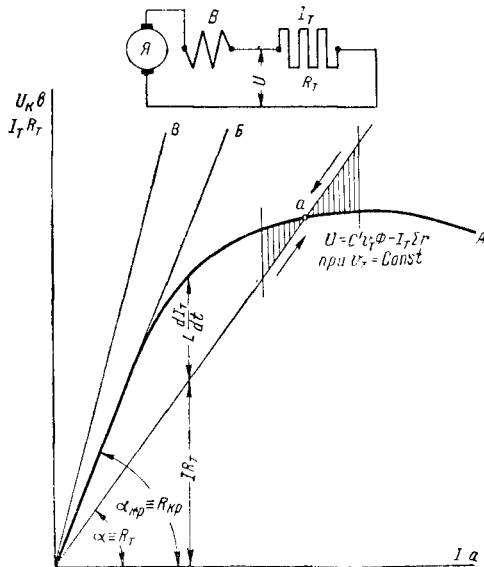


Фиг. 13. Характеристики электрического и колодного торможения: 1 — электрическое торможение; 2 — колодное торможение

тормозных колодок (до 70—80%) при любом виде электрического торможения и существенная экономия электроэнергии при рекуперативном торможении.

При применении рекуперативного тормо-

жения на горных участках для поддержания постоянной скорости при следовании под уклон экономия электроэнергии может достигать до 10—50% общего её расхода. При использовании его на равнинных участках в качестве служебного тормоза для моторных вагонов (торможение перед остановкой) эко-



Фиг. 14. Условия устойчивости при реостатном торможении

номия электроэнергии может достигать 15—20%.

Длительность применения реостатного торможения ограничивается мощностью сопротивлений, размещённых на ЭПС. Этот вид торможения более надёжен, чем рекуперативное, так как при его использовании тормозное усилие не зависит от напряжения контактной сети.

Известно значительное число схем рекуперативного, реостатного и смешанного торможения. Все они должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1) обеспечивать получение необходимого тормозного усилия при одновременной отдаче максимальной энергии торможения в сеть в случае рекуперативного торможения;

2) обеспечивать достаточно равномерное распределение нагрузок между включёнными параллельно машинами и э. д. с. между машинами, включёнными последовательно при допуске в эксплуатации отклонения диаметров бандажей колёс, магнитных характеристик машин и других параметров;

3) иметь минимальные изменения тока, тормозного усилия и э. д. с. при резких изменениях внешних условий (напряжения в контактной сети, сцепления колёс с рельсами и др.);

4) обладать высокой электрической устойчивостью, определяемой способностью схемы восстанавливать нарушенное электрическое равновесие в случае мгновенного изменения тока при неизменной скорости v ;

5) обладать высокой эксплуатационной надёжностью и работоспособностью всей схемы в целом и входящих в неё электрических машин;

6) обеспечивать простоту и удобство управления электрическим тормозом;

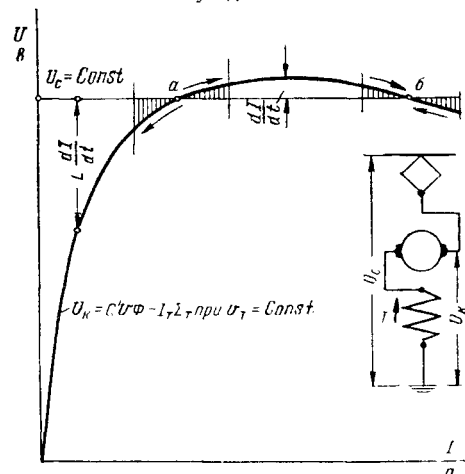
7) предусматривать надёжную взаимосвязь между электрическим тормозом и другими видами тормозов на ЭПС, исключающую неправильное их применение (в частности возможность автоматического замещения электрического тормоза пневматическим).

Электрическая устойчивость реостатного торможения при сохранении последовательного возбуждения тяговых машин обеспечивается при работе машины в режиме, соответствующем точке a (фиг. 14). Эта точка определяется из условия равенства напряжения на зажимах машины

$$U = C' v_T \Phi - I_T \Sigma r$$

и падения напряжения $I_T R_T$ в тормозном сопротивлении R_T . При изменении нагрузки возникает индуктивная составляющая напряжения $L \frac{dI_T}{dt}$, которая препятствует изменению тока I_T и обеспечивает благодаря этому автоматическое возвращение схемы в исходный режим, соответствующий точке a . Устойчивость работы схемы сохраняется до некоторого критического значения сопротивления $R_{кр}$, при котором характеристика падения напряжения в нём располагается по касательной (линия B , фиг. 14) к внешней характеристике машины (кривая A). При сопротивлениях R_T , больших этого критического сопротивления (линия B) $R_{кр}$, машина не будет самовозбуждаться.

Электрическая устойчивость при рекуперативном торможении тяговых машин с последовательным возбуждением обеспечивается



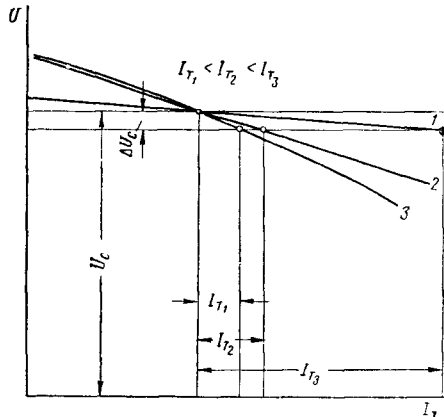
Фиг. 15. Условия устойчивости при рекуперативном торможении

при изменении нагрузки лишь при работе машины в режиме, соответствующем точке b (фиг. 15), расположенной на падающей части внешней характеристики.

Практически этот режим не может быть использован, так как точка b расположена в области весьма больших перегрузок. При работе машины в режиме, соответствующем

точке a , случайное увеличение тока I вызывает подмагничивание машины, т. е. повышение её напряжения U_K ; уменьшение же тока I вызовет размагничивание машины, т. е. снижение её напряжения.

Электрическая устойчивость рекуперативного торможения может быть обеспечена только при использовании тяговых машин



Фиг. 16. Внешние характеристики машин с различными способами возбуждения: 1 — параллельное возбуждение; 2 — параллельное возбуждение с последовательным сопротивлением в цепи якоря; 3 — смешанное противозавозбуждение

с падающими внешними характеристиками, т. е. машин параллельного возбуждения и смешанного противозавозбуждения. Последние наиболее пригодны для рекуперации, так как они имеют крутопадающие внешние характеристики, обеспечивающие снижение толчков тока I_T при колебаниях напряжения ΔU_K в контактной сети (фиг. 16).

Принципиальные схемы реостатного торможения представлены в табл. 2, а схемы рекуперативного торможения — в табл. 3.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ПУСКОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Графический метод расчёта пусковых сопротивлений

В основу этого метода положена прямолинейная зависимость величины пускового сопротивления от скорости движения при неизменной величине тока:

$$R = R_0 \left(1 - \frac{v}{v_a} \right),$$

где R_0 — сопротивление реостата при $v = 0$ на один тяговый двигатель;
 v — скорость движения в каждый момент времени;
 v_a — скорость выхода на естественную характеристику.

В качестве исходной величины принимается значение коэффициента неравномерности пуска κ_n или κ'_n и определяется среднее пусковое тяговое усилие

$$F_{кр} = \frac{1000 \Phi_0}{1 + \kappa'_n} \text{ П кг},$$

где Φ_0 — нагрузка на движущую ось в т;

Φ_0 — коэффициент сцепления при пуске. Исходя из найденной величины $F_{кр}$ по электротяговым характеристикам двигателя может быть найдена величина среднего тока при пуске $I_{ср}$.

По известной величине $I_{ср}$ определяются предельные значения пускового тока:

$$I_{\max} = I_{ср} (1 + \kappa_n);$$

$$I_{\min} = I_{ср} (1 - \kappa_n).$$

В некоторых случаях (при моторвагонной тяге) за исходную величину принимается не $F_{кр}$, а I_{\max} , исходя из ограничений тока по условиям коммутационной устойчивости тягового двигателя.

Графическое определение величины ступеней пускового сопротивления для одного двигателя показано на фиг. 17. В правом квадранте построена исходная характеристика $v = f(I)$ при напряжении $U_K = \frac{U_c}{n}$ на зажимах машины (где n — число последовательно соединённых двигателей). Нанесением границ I_{\min} и I_{\max} определяются предельные скорости v_{a1} и v_{a2} выхода на автоматическую характеристику.

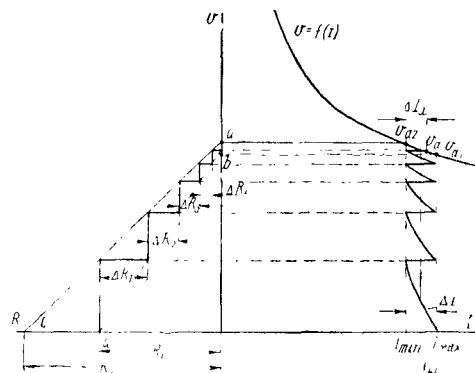
В левом квадранте откладывают зависимости $v = f(R)$ при $I_{\max} = \text{const}$ и $I_{\min} = \text{const}$ в виде прямых ac и bd , определяющих изменение R , необходимое для получения в процессе пуска постоянного значения тока.

Значения R_0 при $v = 0$ находят из условия $E = 0$

$$R'_0 = \frac{U_K}{I_{\max}} - \Sigma r;$$

$$R''_0 = \frac{U_K}{I_{\min}} - \Sigma r,$$

где Σr — сумма внутренних сопротивлений всех последовательно соединённых обмоток двигателя.



Фиг. 17. Графическое определение ступеней пусковых сопротивлений для одного тягового двигателя

Точки a и b , получаемые при $R = 0$ для I_{\min} и I_{\max} , соответствуют скоростям v_{a1} и v_{a2} .

Ступени сопротивления ΔR получают графическим путём как отрезки, ограниченные линиями ac и bd .

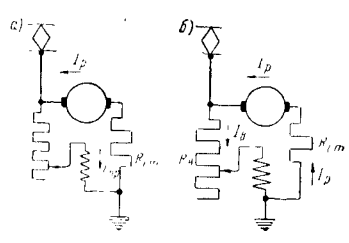
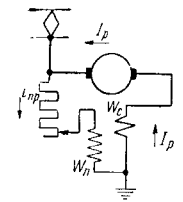
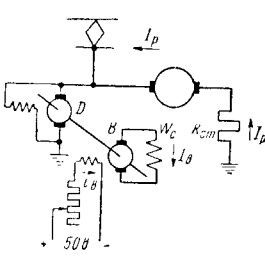
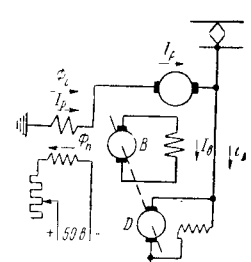
Таблица 2

Принципиальные схемы реостатного торможения

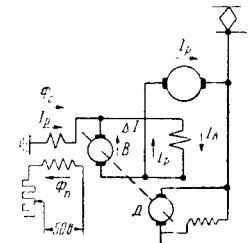
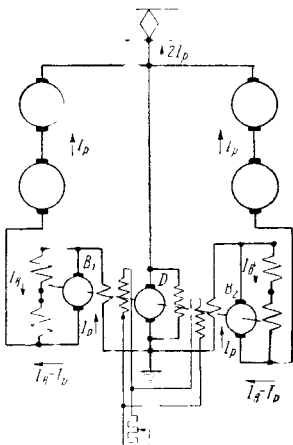
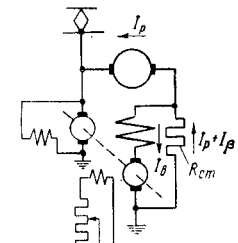
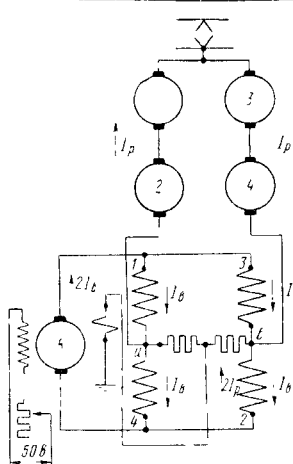
№ по пор.	Краткая характеристика	Схема	№ по пор.	Краткая характеристика	Схема
1	Схема для одной машины. Устойчивая		4	Двойная циклическая схема при нескольких машинах (электровоз ВД19). Устойчива. Может быть использована при большем и при меньшем числе машин	
2	Схема с двумя машинами и уравнительным соединением. Без уравнителя неустойчива и не может быть использована. Уравнительный ток: $I_y = \pm \frac{E_1 - E_2}{2 \Sigma r} = \pm \frac{\Delta E}{2 \Sigma r}$ При некоторой разнице э. д. с. и малом значении сопротивления обмоток Σr может произойти изменение полярности одной из машин с переходом в двигательный режим. Такую переходу будет предшествовать режим короткого замыкания: $I_y = I_{K3} = \pm \frac{E_1 + E_2}{2 \Sigma r}$ Для предотвращения этого явления применяют уравнительное соединение с сопротивлением R_y		5	Мостовая схема (вагоны серии Г и Д Московского метрополитена). При переходе на тормозной режим не требуется переключения обмоток возбуждения. Для понижения потенциала по отношению к земле при высоких тормозных скоростях и при больших тормозных токах, схема заземлена в точке а	
3	Схема с двумя машинами и перекрестным соединением; устойчива; уравнительный ток в допустимых пределах				

Таблица 3

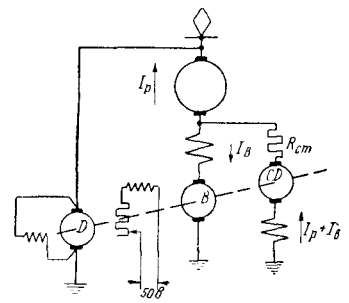
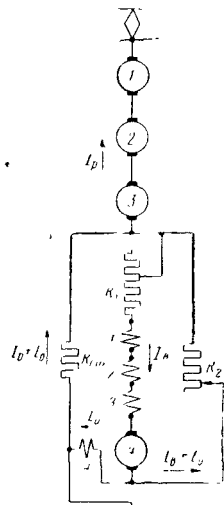
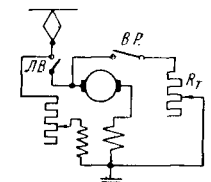
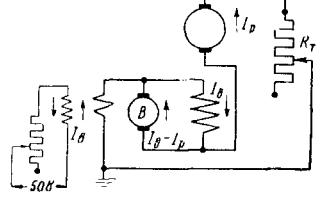
Принципиальные схемы рекуперативного торможения

№ по пор.	Краткая характеристика	С х е м а
1	<p align="center"><i>Схемы с возбуждением от сети</i></p> <p>а) для машин параллельного возбуждения; б) для машин последовательного возбуждения с переключением на параллельное. Схемы устойчивы, но не имеют распространения из-за низкого к. п. д. вследствие значительных потерь в сопротивлениях R_{θ} и R_{cm}, особенно при машинах последовательного возбуждения</p>	
2	<p align="center"><i>Схема с машинной смешанного возбуждения</i></p> <p>Устойчива и имеет высокий к. п. д. Применяется на трамвае и троллейбусе. На электроподвижном составе магистральной тяги не применяется ввиду ненадежности работы цепи обмотки параллельного возбуждения при высоком напряжении</p>	
3	<p align="center"><i>Схема с независимым возбуждением</i></p> <p>Обмотка W_c двигателя последовательного возбуждения получает питание от возбудителя B пониженного напряжения. Мощность двигателя D возбудителя составляет $1 \div 1,5\%$ от мощности рекуперирующих машин. Система устойчива. Тормозное усилие регулируется изменением возбуждения возбудителя. Стабилизирующее сопротивление R_{cm} обуславливает требуемую крутизну внешней характеристики рекуперирующей машины</p>	
1	<p align="center"><i>Схема с противовозбуждением возбудителя (независимое возбуждение тягового генератора)</i></p> <p>Противовозбуждение возбудителя придает устойчивость схеме и высокий к. п. д. В схемах электроподвижного состава с несколькими машинами каждая группа должна иметь самостоятельное возбуждение, а магнитная система возбудителя должна быть возможно менее насыщенная; Φ_n должен быть больше Φ_c</p>	

Продолжение

№ по пор.	Краткая характеристика	С х е м а
5	<p><i>Видоизменение схемы 4</i></p> <p>Возбудитель имеет меньшую мощность, чем в схеме 4, так как по его якорю протекает лишь ток $\Delta I = I_\delta - I_p$</p>	
6	<p><i>Схема с возбудителем смешанного возбуждения для двух параллельных групп</i></p> <p>Система устойчива. Мощность возбудителей <i>невелика</i></p>	
7	<p><i>Схема со стабилизирующим сопротивлением R_{cm} в цепи якоря и возбуждения</i></p> <p>Включение стабилизирующего сопротивления R_{cm} придаёт рекуперирющим машинам устойчивость, свойственную машинам с противозвуждением. Крутизна внешних характеристик рекуперирющих машин зависит от величины R_{cm}</p>	
8	<p><i>Схема с циклической стабилизацией</i></p> <p>Отличается от схемы 7 меньшей мощностью возбудителя, так как стабилизирующие сопротивления находятся вне цепи возбуждения. Мощность возбудителя в этой схеме в 1,5-2 раза меньше, чем в схеме 7. Выравнивание токов рекуперации обеспечивается уравнительными токами в цепях обмоток возбуждения, возникающими за счёт разницы потенциалов точек а и б.</p> <p>Схема обладает высокими стабилизирующими качествами. В тех случаях, когда сопротивление контактов аппаратов силовой цепи соизмеримо с сопротивлением обмоток возбуждения машин — устойчивость схемы может сильно нарушаться</p>	

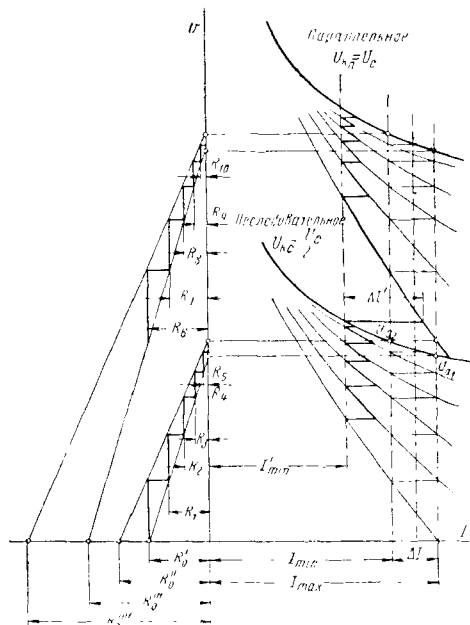
Продолжение

№ по пор.	Краткая характеристика	С х е м а
9	<p>Схема со стабилизирующим двигателем («CD»)</p> <p>Отличается от схемы 7 тем, что величина стабилизирующего сопротивления $R_{ст}$ доводится до минимума, а для получения требуемой устойчивой характеристики рекуперирующих машин — в цепь возбуждения включается двигатель «CD» (мотор-стабилизатор). К. п. д. схемы выше по сравнению со схемой 7, так как энергия, теряемая в стабилизирующей цепи, используется для вращения возбудителя B. Соответственно уменьшается мощность двигателя D.</p> <p>Схема применена на электровозах Си</p>	
10	<p>Схема с использованием в качестве возбудителя одного из тяговых двигателей (4)</p> <p>Схема устойчива. Эффективное торможение возможно в широком диапазоне скоростей с отношением их пределов 1:3.</p> <p>На высоких скоростях рекуперативное торможение осуществляется двумя двигателями (третий выключается), а на средних и малых скоростях тремя машинами</p>	
11	<p>Схемы рекуперативно-реостатного торможения</p> <p>а) с тяговыми машинами смешанного возбуждения; б) с тяговыми двигателями последовательного возбуждения и возбудителем смешанного возбуждения.</p> <p>Линейный выключатель ЛВ должен быть заблокирован с выключателем ВР — реостатного торможения так, чтобы после замыкания выключателя ВР — размыкался ЛВ</p>	<p>а)</p>  <p>б)</p> 

Рекомендуется, чтобы толчок тока на последней ступени сопротивления был на 30—40% меньше, чем на остальных ступенях

$$\Delta I_x \approx (0,3 \div 0,4) \Delta I.$$

На фиг. 18 представлена диаграмма расчёта ступеней пусковых сопротивлений для двух групп тяговых двигателей, переключаемых с последовательного соединения на параллельное.



Фиг. 18. Графическое определение ступеней пусковых сопротивлений при пуске двух групп тяговых двигателей с переключением с последовательного соединения на параллельное

В этом случае значения R_0 при $v = 0$ находятся по следующим формулам:

$$R_0''' = \frac{U_{kc}}{I_{\max}} - \Sigma r; R_0'' = \frac{U_{kn}}{I_{\min}},$$

$$R_0' = \frac{U_{kc}}{I_{\max}} - \Sigma r; R_0 = \frac{U_{kn}}{I_{\min}}.$$

Определение ступеней пусковых сопротивлений производится при этом так же, как и при расчёте сопротивлений для одного тягового двигателя или одной группы двигателей. Полученные величины отдельных ступеней в последующем корректируются при выполнении теплового расчёта и разработке схемы пусковых сопротивлений.

Метод расчёта, приведённый на диаграмме фиг. 18, целесообразно применять для схем, предусматривающих переход с одного соединения тяговых двигателей на другое способом короткого замыкания или шунтирования.

При переходе способом моста необходимо начинать расчёт ступеней сопротивлений с параллельного соединения, так как в этом случае пусковые сопротивления при последовательном соединении должны быть разделены на две совершенно одинаковые группы. Для после-

довательного соединения производится лишь проверка толчков пускового тока, возникающих при использовании ступеней сопротивлений, полученных для параллельного соединения. Число позиций при параллельном соединении обычно удваивается по сравнению с параллельным вследствие раздельного включения секций сопротивлений обеих групп.

В момент перехода желательно, чтобы величина сопротивления $R_{пер}$ была равна

$$R_{пер} \approx \frac{v_c}{2I_{пер}},$$

где $I_{пер}$ — ток двигателей в момент перехода.

Подобным же образом производится расчёт при трёх (и более) группах тяговых двигателей.

Величины сопротивлений R , найденные для одного двигателя или одной группы двигателей, пересчитываются на общее сопротивление схемы R_{cx} по формуле

$$R_{cx} = \frac{nR}{m},$$

где n — число последовательно включённых двигателей или их групп;

m — число параллельно соединённых двигателей или их групп.

Расчёт маневровых ступеней

Первая маневровая ступень выбирается и условия, чтобы величина ускорения $\frac{dv}{dt} = a$ не

превышала следующих значений: для одиночного электровоза — $a \leq 0,3 \div 0,6$ м/сек², для пригородных моторвагонных секций — $0,5 \div 0,6$ м/сек², для моторвагонных секций метрополитена — $0,5 \div 0,8$ м/сек².

Требуемое для расчёта тяговое усилие $F_{ю}$ при трогании с места определяется по формуле

$$F_{м1} = Q_{\partial} \left[\omega_0' + 102 (1 + \gamma) \frac{dv}{dt} \right] \text{ кг},$$

где Q_{∂} — полный вес ЭПС при маневрах;

ω_0 — основное удельное сопротивление движению ЭПС;

γ — коэффициент, учитывающий инерции вращающихся масс.

Значение ω_0' для различных видов ЭПС см. в главе «Электрическая тяга поездов».

По найденной величине $F_{м1}$ определяется тяговое усилие одного двигателя на первой маневровой позиции:

$$F_{км1} = \frac{F_{м1}}{n_{\partial}},$$

где n_{∂} — число двигателей.

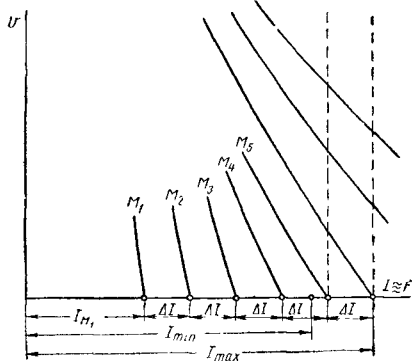
Затем по электротяговой характеристике $F_k = f(I)$ находится ток на первой маневровой позиции в момент трогания с места I (фиг. 19).

Число маневровых ступеней у электровоза обычно принимается $n_m = 4 \div 6$; при этом изменение тягового усилия на каждой маневровой позиции не должно превышать $\Delta F_k \leq 1000 - 1200$ кг (на один тяговый двигатель).

Таким образом,

$$n_m \approx \frac{F_{\max} - F_{M_1}}{\Delta F_K}, \text{ или } n_m \approx \frac{I_{\max} - I_{M_1}}{I_{\max} - I_{\min}},$$

где I_{\max} и I_{\min} — наибольший и наименьший ток при пуске (см. фиг. 19).



Фиг. 19. Расчёт маневровых ступеней

По величине $\Delta I = \frac{I_{\max} - I_{M_1}}{n_m}$ может быть подсчитан ток I_{Mi} ; для i -ой маневровой ступени

$$I_{Mi} = I_{M_1} + i n_m \Delta I.$$

Величина соответствующего сопротивления будет равна

$$R_{Mi} = \frac{U_K}{I_{Mi}} - \Sigma r.$$

Для моторных вагонов при расчётном ускорении автоматического пуска, меньшем $0,5-0,6 \text{ м/сек}^2$, специальные маневровые ступени можно не предусматривать.

Расчёт дополнительных ступеней сопротивлений

Дополнительные ступени необходимы для обеспечения плавного перехода от одного соединения двигателей к другому при уменьшенном весе поезда.

При уменьшении веса поезда ниже расчётного ток I_{\min} в момент перехода изменяется до значения I'_{\min} (см. фиг. 18). При этом значительно возрастают толчки тока $\Delta I'$, которые могут намного превышать расчётные колебания тока:

$$\Delta I = I_{\max} - I_{\min}.$$

Для выбора числа дополнительных ступеней и величины сопротивлений следует установить определённую, наиболее вероятную величину тока I'_{\min} , при которой не должно происходить резких колебаний тягового усилия (обычно $I'_{\min} \approx (0,5 \div 0,6) I_{\min}$). Число необходимых дополнительных ступеней n_d при этом будет равно

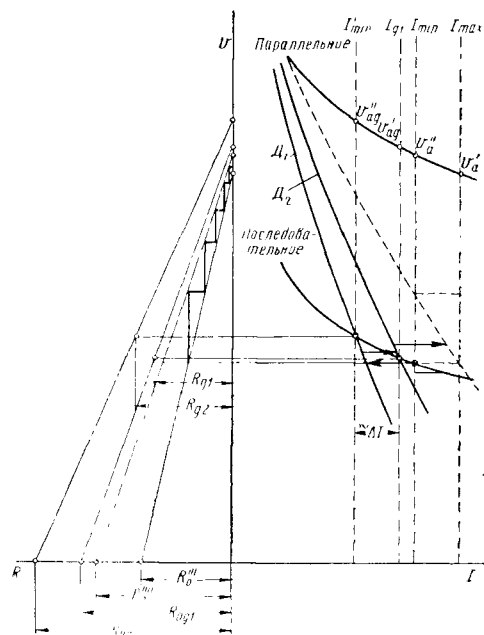
$$n_d \approx \frac{I_{\max} - I'_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}},$$

обычно оно не превышает 2—3.

Величины необходимых сопротивлений R_{d_1} и R_{d_2} дополнительных ступеней D_1 и D_2 получаются графическим путём из диаграммы фиг. 20. При этом

$$R_{d_1}'' = \frac{U_{Kn}}{I_{\max}} - \Sigma r; \quad R_{d_2}'' = \frac{U_{Kn}}{I_{\min}} - \Sigma r;$$

$$R_{d_1} = \frac{U_{Kn}}{I_{d_1}} - \Sigma r; \quad R_{d_2} = \frac{U_{Kn}}{I'_{\min}} - \Sigma r.$$



Фиг. 20. Графическое определение величин дополнительных ступеней пусковых сопротивлений при $n_d = 2$

Изменение пускового тока при пуске расчётного поезда показано на диаграмме стрелками.

Построение характеристик двигателя при включенных пусковых сопротивлениях

При выполнении электрического расчёта сопротивлений необходимо построить скоростные характеристики тяговых двигателей $v = f(I)$ при включении в их цепь дополнительного сопротивления R различной величины. Расчёт этих характеристик можно производить исходя из заданной скоростной характеристики двигателя при включении его без дополнительного сопротивления R путём пересчёта значений скорости по формуле

$$v' = v \frac{U_K - I(\Sigma r + R)}{U_K - I \Sigma r},$$

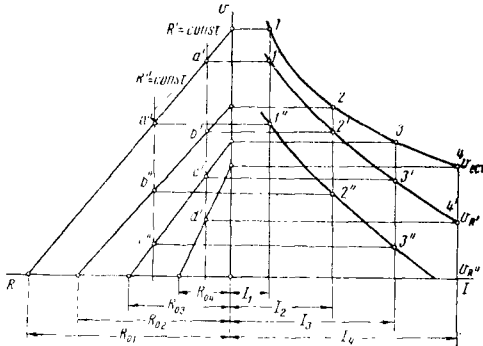
при этом v' и v — значения скорости для искомой и исходной характеристики при одинаковой величине тока I .

Для решения практических задач более удобен графический метод построения характеристик, показанный на фиг. 21. На исходной скоростной характеристике $v_{\text{ест}}$ выбираются произвольно (желательно равномерно) точки 1, 2, 3 и 4.

Для токов I_1, I_2, I_3 и I_4 , соответствующих этим точкам, подсчитываются величины сопротивлений R_0 при $v=0$ по формуле

$$R_{0i} = \frac{U_k}{I_i} - \Sigma r$$

и строятся вспомогательные линии $R = f(v)$ при $I = \text{const}$.



Фиг. 21. Построение скоростных характеристик при включении в цепи тягового двигателя дополнительных сопротивлений R' и R''

Точки $1', 2', 3', 4'$ или $1'', 2'', 3''$ искомым характеристикам получаются путём переноса на уровни принятых ранее токов I_1, I_2, I_3 и I_4 точек пересечения a', b', c', d' , или a'', b'', c'', d'' вертикальных линий $R = \text{const}$, соответствующих величинам R' или R'' дополнительных сопротивлений, с линиями $R = f(v)$.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ТОРМОЗНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРИ РЕОСТАТНОМ ТОРМОЖЕНИИ

В случае применения реостатного торможения для поддержания постоянства скорости при следовании поезда под уклон необходимое тормозное усилие определяется по формуле

$$B = (i - \omega_0) Q,$$

где i — величина уклона в тысячных;

ω_0 — удельное сопротивление движению;

Q — вес поезда в т.

По найденной величине B , используя зависимость тормозного усилия от тока двигателя $B_k = f(I)$ (фиг. 22), можно найти необходимый для данного уклона тормозной ток I .

Величина необходимого тормозного сопротивления определяется из соотношения

$$R_T = \frac{U_k v_T - I \Sigma r (v_T + v_0)}{I v_0},$$

где U_k — напряжение на зажимах машины при двигателем режиме;

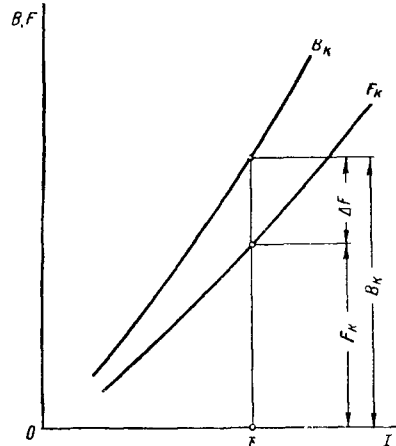
v_0 и v_T — скорости двигателем и тормозного режима, соответствующие одному и тому же току I .

Подобным же образом может быть подсчитано значение R_T для каждого из заданных уклонов i .

Зависимость $B_k = f(I)$ может быть достаточно точно получена пересчётом по точкам характеристики $F_k = f(I)$ при двигателем режиме (фиг. 22) по формуле

$$B_k = F_k + \Delta F = F_k + 0,734 \frac{U_k I(1-\eta) - I^2 \Sigma r}{v}.$$

При этом ток I выбирается произвольно, скорость v и к. п. д. η определяются по скоростной характеристике $v = f(I)$ машины и характеристике её к. п. д. $\eta = f(I)$.

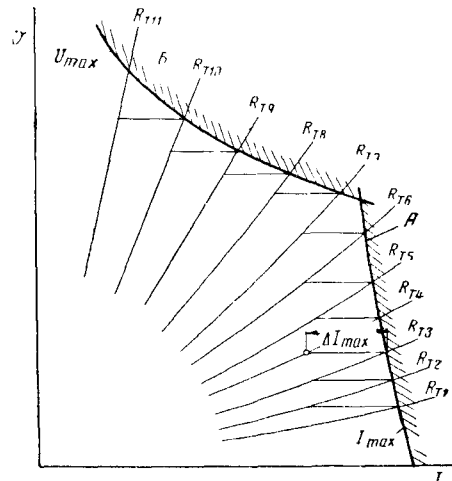


Фиг. 22. Построение характеристик $B_k = f(I)$

Характеристика $v_T = f(I)$ также может быть построена путём пересчёта по точкам характеристик $v_0 = f(I)$ для двигателем режима по формуле

$$v_T = \frac{I(R_T + \Sigma r)}{U_k - I \Sigma r} v_0.$$

Диаграммы $v_T = f(I)$ для постоянных значений тормозных сопротивлений R_{T1}, R_{T2} и т. д. представлены на фиг. 23. Здесь на-



Фиг. 23. Характеристики реостатного торможения несены также две ограничивающие кривые: A — по условиям сцепления и B — по условиям коммутации. Кривая A строится по предельным значениям тока I_{max} , определяемым условиями сцепления:

$$B_{k_{\text{max}}} \leq \Pi \psi \cdot 10^3$$

Кривая *Б* характеризует ограничение скорости по условиям наибольшего допустимого напряжения на зажимах машины U_{\max} . Она строится по значениям максимальной скорости v_{\max} , которые для каждой величины тока I определяются по формуле

$$v_{\max} = v_0 \frac{U_{\max} + I \sum r}{U_k - I \sum r}.$$

В большинстве случаев в качестве тормозных сопротивлений используются пусковые сопротивления с их ступенями. Поэтому при проведении расчёта следует проводить проверку толчков тока ΔI , возникающих при переходе с одной ступени на другую. Как правило, максимальные толчки тока при торможении могут быть на 20—50% больше максимальных толчков тока при пуске.

При применении реостатного тормоза для торможения до остановки расчёт ступеней тормозных сопротивлений обычно производится графическим способом, аналогичным расчёту пусковых сопротивлений (фиг. 24).

Построение скоростных характеристик $v_T = f(I)$ при постоянных сопротивлениях в цепи тяговых машин рекомендуется производить, как показано на фиг. 25. Для заданной скоростной характеристики двигательно-го режима $v_0 = f(I)$ принимаются произвольные значения токов I_1, I_2, I_3 и I_4 и для них проведённым выше способом строятся лучи сопротивлений $v_T = f(R_T)$. Пересечение этих лучей $I-IV$ с линиями $R = \text{const}$, соответствующими величинам R' или R'' тормозных сопротивлений, даёт скорости при работе машины с сопротивлениями R' и R'' и токах $I_1 \div I_4$. При переносе этих точек на линии токов $I_1 \div I_4$ в правом квадранте получаем точки искомым скоростных характеристик $v_{R'} = f(I)$ и $v_{R''} = f(I)$.

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Тепловой расчёт позволяет выбрать по заданной электрической нагрузке определённые конструктивные типы элементов сопротивлений и прокорректировать данные электрического расчёта в части применения различных комбинаций соединений отдельных секций сопротивлений, обеспечивающих наиболее рациональное их использование.

Тепловому расчёту должен предшествовать предварительный подбор сопротивлений и составление их схемы.

Тепловой расчёт сопротивлений моторных вагонов

Сопротивления моторных вагонов подвергаются часто повторяющемуся нагреванию в процессе периодических пусков и остановок, поэтому при расчёте этих сопротивлений предполагается, что в течение одного цикла поездной работы (пуск — движение с установившейся скоростью — торможение) элементы сопротивления не успевают остывать.

Для учёта указанных особенностей работы сопротивлений моторных вагонов при расчёте их исходят из условия, что сопротивления предварительно нагреваются до некоторой температуры перегрева $\theta_{n \max}$, соответствующей

длительной работе моторного вагона на маневровой позиции при полностью включённых реостатах.

По полученному значению перегрева $\theta_{n \max}$ корректируются в сторону понижения длительные токи I_{∞} элементов сопротивлений, определяемые по их тепловой характеристике, т. е. до величины I_{∞} (см. стр. 340).

Дальнейший расчёт заключается в определении эффективных значений токов $I_{\text{эф}}$, проходящих через элементы сопротивлений цикла поездной работы, и сравнении их с прокорректированными значениями $I_{n \infty}$ длительного тока элементов.

При подборе элементов сопротивлений должно быть соблюдено условие

$$I_{\text{эф}} \leq I_{n \infty}.$$

Пониженное значение длительного тока элемента сопротивления, учитывающее предварительный его нагрев в течение маневрового цикла, определяется по формуле

$$I_{n \infty} = I_{\infty} \sqrt{\frac{\theta_{n \max}}{\theta_{\max}}},$$

где θ_{\max} — конечный перегрев элемента сопротивления при длительном токе I_{∞} согласно его тепловой характеристике (см. стр. 340).

Перегрев $\theta_{n \max}$ может быть подсчитан по формуле

$$\theta_{n \max} = \theta_{\max} e^{-\frac{t_M}{T_e}} \left[1 - \left(\frac{I_M}{I_{\infty}} \right)^2 \left(1 - e^{-\frac{t_M}{T_e}} \right) \right],$$

где T_e — постоянная времени элемента сопротивления, определяемая по его тепловой характеристике (см. стр. 340); обычно она составляет примерно 5—10 мин.;

t_M — время маневрового цикла, обычно 3—5 мин.;

I_M — эффективное значение тока при движении моторного вагона на маневровой позиции.

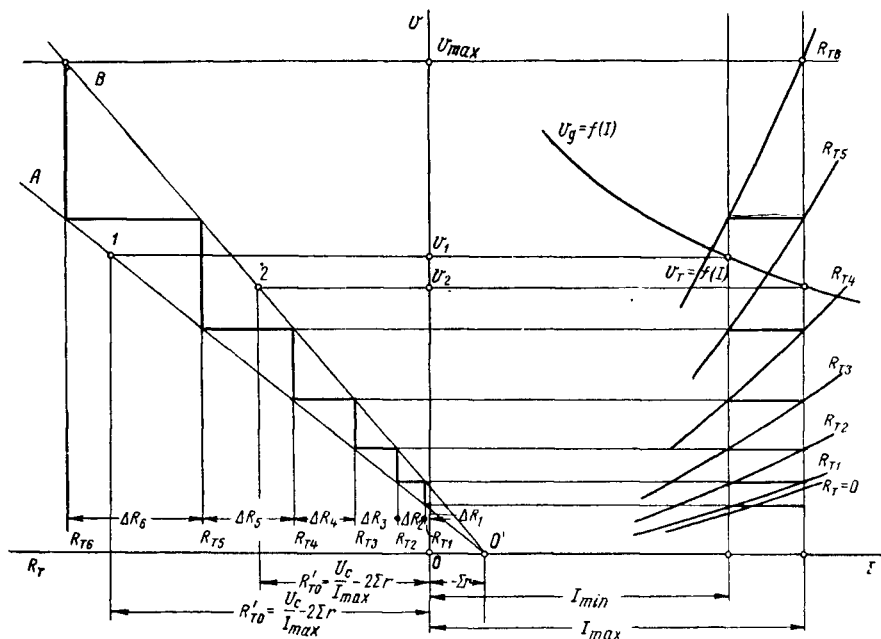
Ввиду того что езда на маневровой позиции обычно осуществляется толчками, ток I_M может быть найден по формуле

$$I_M = I_1 \sqrt{\frac{t_1}{t_M}},$$

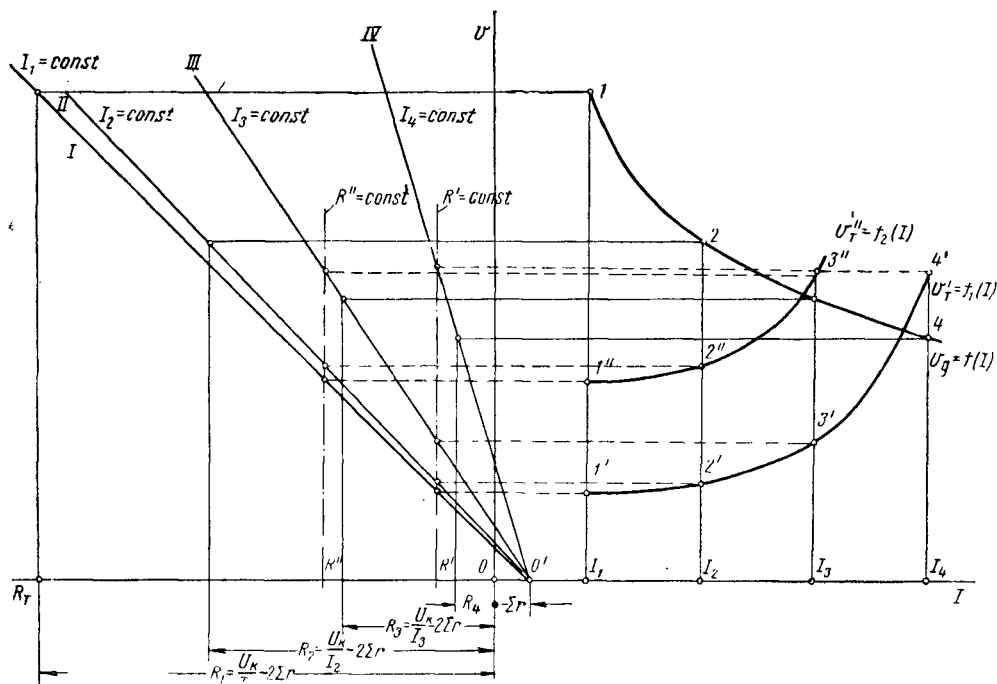
где I_1 — ток при тяговом усилии F_1 , действующем при расчётной маневровой скорости $v_M = 5 \div 10$ км/час на первой маневровой ступени;

t_1 — время движения с включёнными двигателями.

Эффективное значение тока $I_{\text{эф}}$, проходящего по элементу сопротивления при цикле поездной работы, отнесённое ко всему времени движения поезда (учитывая время маневровой работы и длительного электрического торможения) определяется по формуле



Фиг. 24. Графическое определение ступеней тормозных сопротивлений

Фиг. 25. Построение скоростных тормозных характеристик при включении в цепи тяговой машины дополнительных сопротивлений R' и R''

$$I_{эф} = \sqrt{\frac{\sum I^2 t}{T}} = \sqrt{\frac{n \sum I^2 t}{3600}},$$

где I — среднее значение тока элемента на данной ступени, полученное из пусковой или тормозной диаграммы (при определении токов в элементах следует учитывать схему соединения отдельных секций сопротивлений на каждой позиции);

t — время разгона или торможения на данной ступени;

$\sum I^2 t$ — сумма произведений указанных величин по всем ступеням пуска и торможения;

n — расчётное число пусков и торможений в час;

$T = \frac{3600}{n}$ сек. — продолжительность цикла движения.

При этом время разгона или торможения —

$$t = \frac{v_2 - v_1}{3,6 \frac{dv}{dt}} \text{ сек.},$$

где $v_2 - v_1$ — интервал скорости в км/час;

$\frac{dv}{dt}$ — среднее ускорение или замедление в м/сек².

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ СОПРОТИВЛЕНИЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Пусковые сопротивления электровоза работают кратковременно; характерным режимом для них является нагрев при пуске с последующим длительным периодом остывания.

Расчёт этих сопротивлений производится на один режим пуска, с учётом возможности затянувшегося пуска или торможения.

Расчётное ускорение при пуске принимается обычно для грузовых электровозов 0,01 — 0,015 м/сек², для пассажирских — 0,02 — 0,03 м/сек². Определение эффективного тока за время пуска подсчитывается для каждой ступени по формуле

$$I_{эф} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t}} = \sqrt{\frac{\sum I^2 t_n}{T}},$$

где

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n \\ \text{и } T = \sum t_n$$

При подсчётах учитывается разветвление тока при параллельном соединении групп и ступеней сопротивлений.

Величины I_n для различных сопротивлений приведены на стр. 339.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА

Электроаппараты, применяемые на электроподвижном составе (ЭПС), разделяются на группы в соответствии с классификацией, приведённой на фиг. 1. Эта классификация носит лишь примерный характер, так как функции отдельных аппаратов могут совмещаться или разделяться в зависимости от их исполнения. Значительная часть аппаратов ЭПС имеет следующие специфические особенности, отличающие их от обычной аппаратуры стационарных установок: высокое рабочее напряжение до 3 000 в, редко применяемое при постоянном токе в промышленных установках; повышенную устойчивость против тряски, ударов и инерционных ускорений, достигающих по величине 2—3 g; ограниченные размеры, что особенно сильно влияет на конструкцию устройств дугогашения и привода; слабую чувствительность к резким температурным изменениям окружающей среды и внешнему загрязнению (запылению, обледенению и т. п.); ограниченную мощность системы управления аппаратами силовой цепи.

ТОКОПРИЁМНИКИ

Токоприёмники предназначены для съёма тока с неподвижной контактной сети движущимся ЭПС. Основные виды токоприёмников приведены в табл. 1. В качестве токоприёмников на магистральных дорогах преимущественно применяются пантографы, а на линиях метрополитена — контактные башмаки. В табл. 2 приведены основные данные пантографов, применяемых на ЭПС дорог Союза.

Общий вид пантографа ДЖ-4 представлен на фиг. 1а, а пантографа ДЖ-5 — на фиг. 2.

Рабочие характеристики и схема подъёмного механизма даны на фиг. 3 и 4.

На фиг. 5 представлен общий вид пантографа П-3 электровоза Н-8.

Пантографы должны обеспечивать по возможности постоянную величину нажатия контактных лыж на контактный провод. Нажатие создаётся подъёмными пружинами. Опускание пантографов осуществляется также пружинами, которые при подъёме пантографа выключаются пневматическим приводом. Разница между нажатием при опускании и подъёме определяется силами внутреннего трения преимущественно в шарнирных соединениях. При небольших скоростях движения ЭПС давление пантографа на контактный провод можно измерять непосредственно по его статическим характеристикам. С повышением скорости движения существенное значение приобретает вертикальное ускорение пантографа при изменении высоты его подъёма:

$$\frac{d^2 h}{dt^2} = \frac{dv_v}{dt},$$

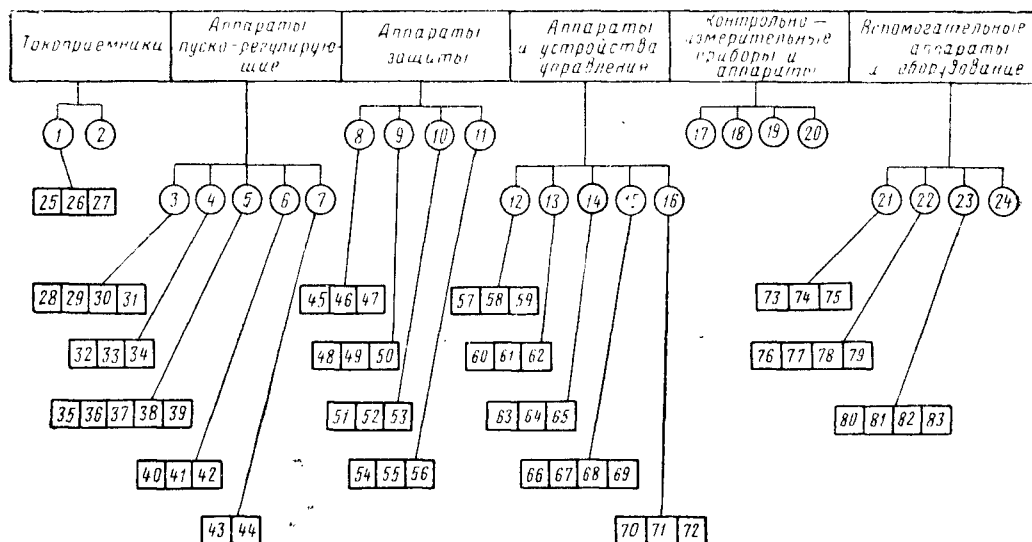
где v_v — вертикальная скорость подъёма или опускания пантографа в процессе движения поезда.

С учётом сил инерции динамическое нажатие пантографа на контактный провод P_d выразится:

$$P_d = P \pm M \frac{dv_v}{dt},$$

где P — статическое давление;

M — масса подвижных частей пантографа, приведённая к контактной лыже, зависящая от высоты подъёма пантографа.



Фиг. 1. Классификация электроаппаратуры, применяемой на ЭПС:

1 — токоприёмники верхнего токосъёма; 2 — токоприёмники рельсовые; 3 — сопротивления и шунты; 4 — аппараты переключения реостатов; 5 — аппараты пересоединения тяговых двигателей; 6 — аппараты аварийных и контрольных пересоединений; 7 — главные выключатели; 8 — аппараты защиты от перегрузок и коротких замыканий; 9 — аппараты потенциальной защиты; 10 — разрядники; 11 — аппараты дифференциальной защиты; 12 — аппараты постов управления; 13 — аппараты поездного управления; 14 — устройства привода силовых аппаратов; 15 — устройства блокировки силовых аппаратов; 16 — аппараты управления пневматическими устройствами; 17 — электроизмерительные приборы силовых цепей; 18 — электроизмерительные приборы служебного тока; 19 — лампы сигнально-контрольные срабатывания защиты; 20 — скоростемеры; 21 — аппараты системы служебного тока; 22 — аппараты управления вспомогательными машинами; 23 — оборудование отопления; 24 — оборудование освещения и сигнализации; 25 — токоприёмники штанговые; 26 — токоприёмники дуговые; 27 — пантографы; 28 — реостаты пусковые и тормозные; 29 — сопротивления переходные; 30 — сопротивления шунтировки поля; 31 — индуктивные шунты; 32 — контакторы реостатные; 33 — контроллеры реостатные; 34 — пускатели коллекторные; 35 — реверсоры; 36 — переключатели тормозные; 37 — контакторы переходные; 38 — переключатели переходные; 39 — переключатели шунтировки

поля; 40 — отключатели тяговых двигателей; 41 — разъединители главные; 42 — розетки вводные; 43 — контакторы линейные; 44 — короткозамыкатели; 45 — быстродействующие автоматические выключатели; 46 — предохранители главные; 47 — реле перегрузки; 48 — реле максимального напряжения; 49 — реле минимального напряжения; 50 — реле изменения напряжения; 51 — разрядники роговые; 52 — разрядники электролитические; 53 — разрядники вентильные; 54 — реле токовое дифференциальное; 55 — реле потенциальное дифференциальное; 56 — реле боксования; 57 — контроллеры управления; 58 — выключатели кнопочные; 59 — выключатели тока управления; 60 — штепсельные соединения МВС; 61 — панели и рейки клеммовые; 62 — разъединители цепей управления; 63 — устройства электродвигательного привода; 64 — устройства электромагнитного привода; 65 — вентили электропневматические; 66 — блокировочные реле; 67 — блокировочные контроллеры; 68 — устройства блокировок силовых аппаратов; 69 — блокировки безопасности; 70 — клапаны дверей, пантографов, песочниц; 71 — регуляторы давления; 72 — блокировки воздушного тормоза; 73 — регуляторы напряжения; 74 — реле обратного тока; 75 — аккумуляторные батареи; 76 — панели пусковые; 77 — сопротивления демпферные; 78 — вспомогательные контакторы; 79 — реле защиты; 80 — электропечи; 81 — терморегуляторы; 82 — стеклообогреватели; 83 — силовые МВС

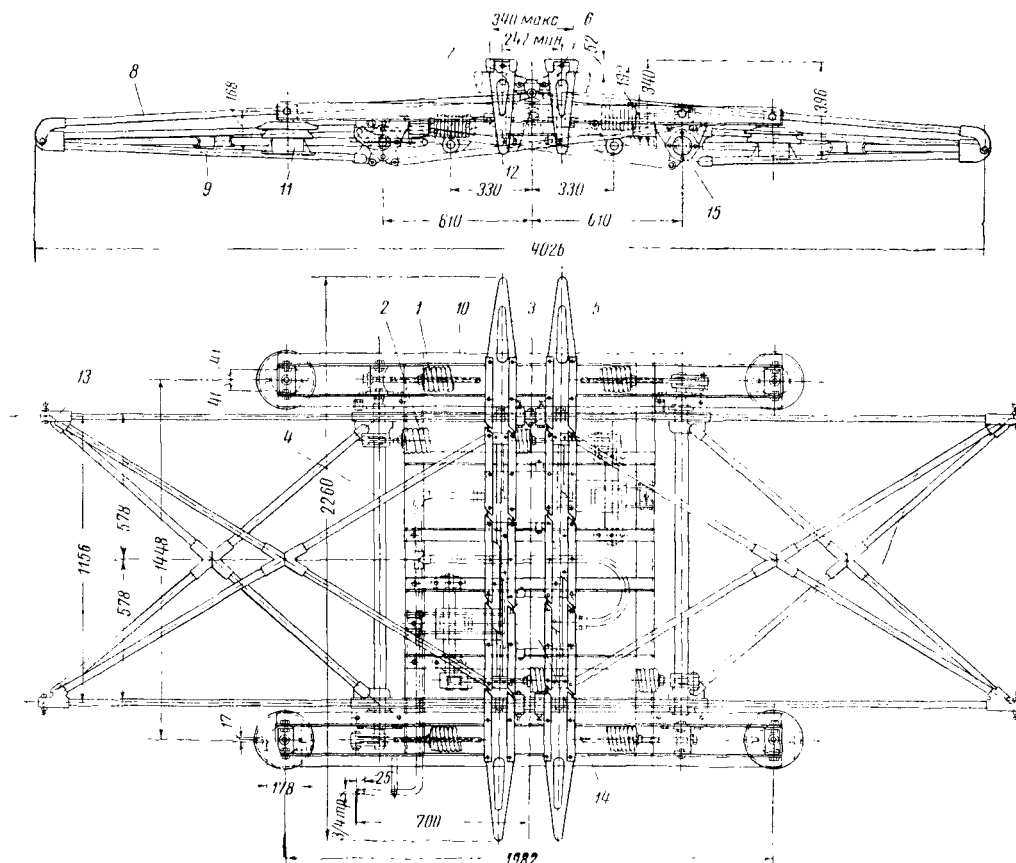
Таблица 1

Токоприёмники подвижного состава

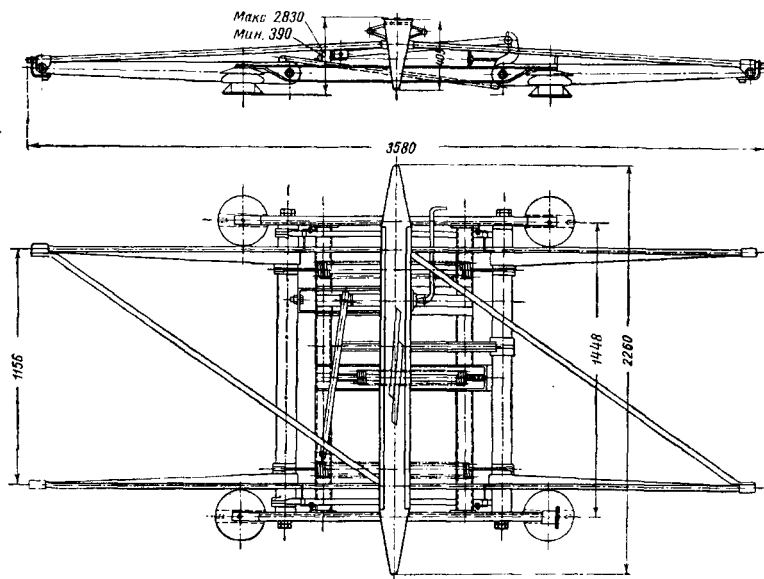
Показатель	Контактные башмаки	Тип токоприёмника		
		штанговые	дуговые	пантографы
Область применения	Все случаи нижнего токосъёма	Городской транспорт	Городской и промышленный транспорт	Все случаи верхнего токосъёма
Наибольшие токи на один токоприёмник в а	2 000	200	350	1 500—3 000
Наибольшие применяемые напряжения в в	900—1 200	550—1 200	550—750	20 000—25 000
Наибольшие допустимые скорости в км/час	120	100	70	Свыше 200

Продолжение

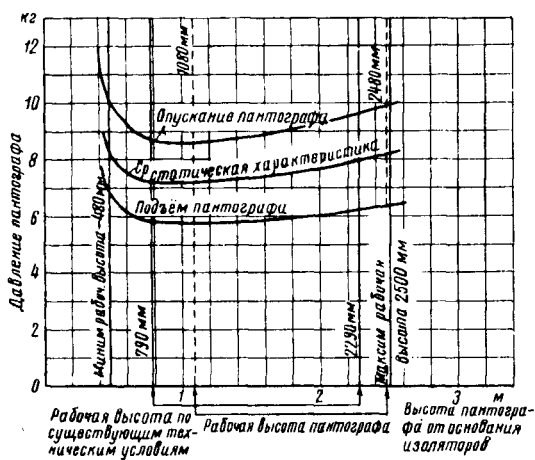
Показатель	Контактные башмаки	Тип токоприёмника		
		шапанные	дуговые	пантографы
Управление	Ручное и дистанционное	Ручное	Ручное	Ручное и дистанционное
Давление на контактную сеть в кг	10—30	6—18	6—8	6—15
Наибольшие допустимые отклонения контактной сети по вертикали в м	0,15	2,6	0,8	1,9
Наибольшие допустимые отклонения контактной сети по горизонтали в м	0,1	3,2	0,3	1,1
Переход с одного направления на другое	При разрыве контактной сети	С применением воздушных стрелок	Без специальных устройств	Без специальных устройств



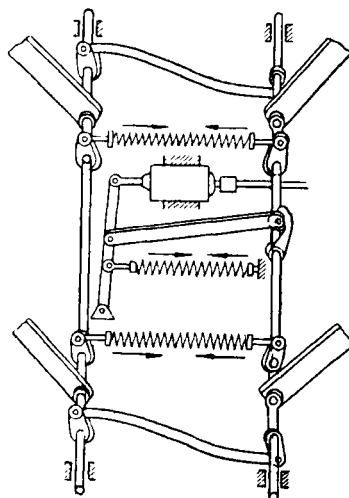
Фиг. 1а. Пантограф ДЖ-4: 1—пружина крайняя; 2—пружина средняя; 3—полос; 4—вал; 5—сменные медные накладки полоса; 6 и 7—шарнирный механизм полосов; 8—верхняя рама; 9—нижняя рама; 10—основание; 11—изоляторы опорные; 12—пружинный амортизатор; 13—шарнир рам; 14—цилиндр воздушного привода; 15—подшипник главного вала



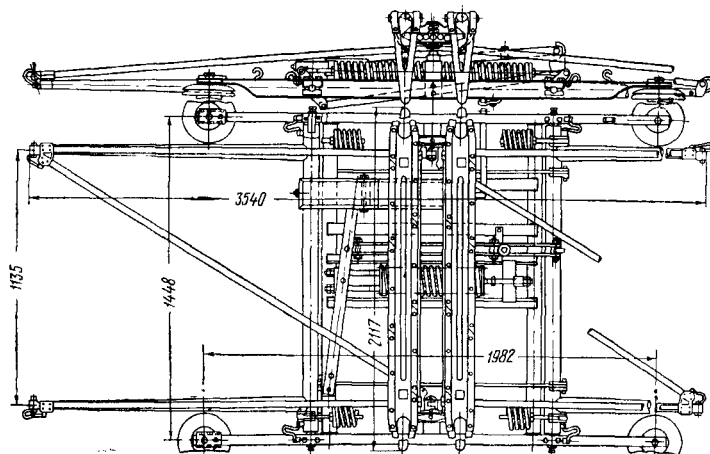
Фиг. 2. Пантограф ДЖ-5



Фиг. 3. Рабочие (статические) характеристики пантографа ДЖ-5

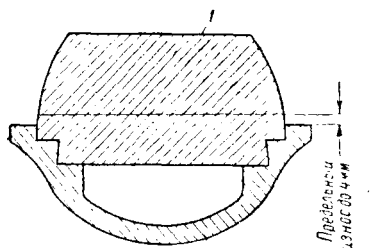


Фиг. 4. Схема механизма подъема пантографа ДЖ-5



Фиг. 5. Пантограф П-3

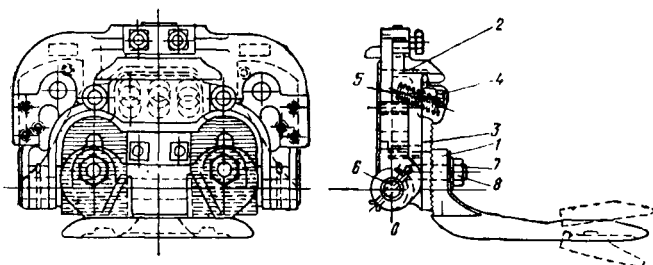
Рельсовые токоприёмники бывают нижнего, верхнего и бокового токосъёма. Иногда один и тот же токоприёмник применяется для токосъёма двух видов



Фиг. 8. Полз пантографа с угольной вставкой: 1 — вставка угольно-графитная; 2 — полз силуминовый

Наиболее широкое распространение имеют токоприёмники нижнего токосъёма. В Союзе они применяются на метрополитене. Установка токоприёмника на подвижном составе должна предусматривать минимальные его перемещения относительно контактного рельса. Наиболее распространённой является установка на специально пропитанных деревянных брусках, закреплённых к буксам колёсных пар.

Устройство токоприёмника вагонов Московского метрополитена показано на фиг. 9. Стальной литой корпус 2 закреплён болтами к брусу подвешивания. В нижней части корпус имеет две проушины, сквозь которые проходит ось б держателя башмака 3. Держатель свободно проворачивается на оси, имеет два овальных отверстия и рифлёную привалочную поверхность для закрепления на различной высоте с помощью болтов 7 и гаек 8, контакт-



Фиг. 9. Токоприёмник вагонов Московского метрополитена

ного башмака 1. Контактная поверхность башмака всё время поднимается вверх, до упора в контактный рельс, поворотом держателя пружинами 5. Один конец пружин упирается в верхний выступ держателя, другой — в съёмный колпак 4, закрепляемый двумя болтами к корпусу. Корпус и башмак соединены четырьмя гибкими медными шунтами.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Основная функция автоматических выключателей — защита от перегрузок, а быстродействующих автоматических выключателей — также и защита от коротких замыканий. Раз-

ница в работе быстродействующих и небыстродействующих автоматических выключателей вытекает из природы развития процесса короткого замыкания.

Изменение тока I_k при коротком замыкании может быть приблизительно определено выражением

$$I_k = \frac{E}{R_k} \left(1 - e^{-\frac{R_k}{L_k} t} \right),$$

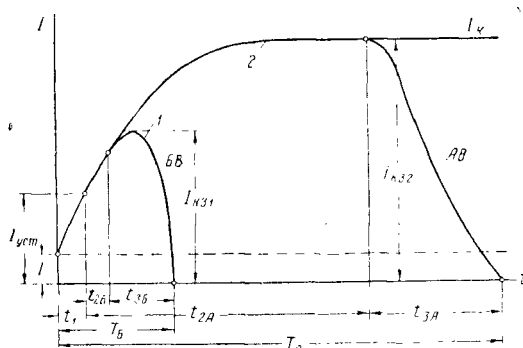
где E — э. д. с. источника питания в короткозамкнутой цепи;

R_k — активное сопротивление короткозамкнутой цепи;

L_k — индуктивность цепи;

e — основание натуральных логарифмов;

t — текущее значение времени.



Фиг. 10. Процесс отключения короткого замыкания

Процесс отключения короткого замыкания представлен на фиг. 10, на которой приведены кривые тока: при работе БВ — 1 и простого автоматического выключателя — 2, имеющих одну и ту же уставку $I_{уст}$.

Общая продолжительность короткого замыкания при работе БВ составляет

$$T_B = t_1 + t_{2B} + t_{3B} \approx 0,01 \div 0,03 \text{ сек.},$$

а при автоматическом выключателе

$$T_A = t_1 + t_{2A} + t_{3A} \approx 0,25 \div 0,50 \text{ сек.}$$

Здесь t_1 — время с момента возникновения короткого замыкания до момента достижения тока уставки автоматического выключателя $I_{уст}$, зависящее от характера нарастания тока короткого замыкания и от разницы токов $I_{уст} - I$, где I — рабочий ток в цепи;

t_{2B} и t_{2A} — собственное время срабатывания выключателя с момента возникновения тока уставки $I_{уст}$ до начала расхождения главных контактов;

t_{3B} и t_{3A} — время дугогашения.

Наибольший ток короткого замыкания $I_{кз1}$ при быстродействующем отключении значительно ниже наибольшего тока $I_{кз2}$ при небыстродействующем отключении. Существеннейшее значение при этом имеет сокращение времени t_2 , так как именно разница между $t_{2Б}$ и $t_{2А}$ вызывает непосредственное снижение тока $I_{кз макс}$. Снижение собственного времени срабатывания возможно за счёт: устранения сил трения при размыкании контактов, снижения инерции (массы) системы подвижного контакта и магнитной инерции выключателя; повышения усилий при размыкании.

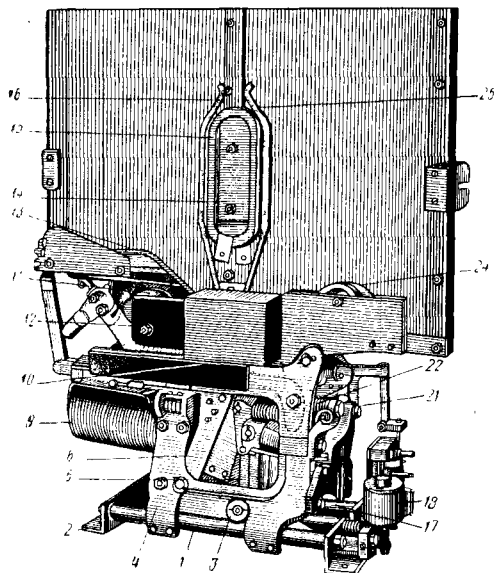
Существенное значение имеет также сокращение времени гашения дуги t_3 , так как им определяется степень ионизации пространства, окружающего выключатель.

Автоматические быстродействующие выключатели применяются на магистральных и тяжёлых промышленных электровазах, а иногда на моторва-

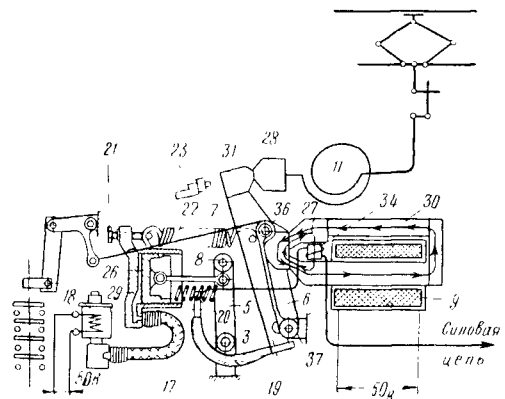
гонах. Основные данные отечественных выключателей типа БВП приведены в табл. 3.

Общий вид выключателя БВП-1А и его схема приведены на фиг. 11 и 12. Основной механизм выключателя размещён между двумя литыми алюминиевыми рамами 4. Рамы изолированы от установочных угольников 2 и укреплены к двум стальным шпилькам 1, покрытым миканитовой изоляцией. На рамах закреплены следующие основные узлы выключателя: магнитная система с удерживающей катушкой и размагничивающим витком; механизм включения с подвижным контактом; механизм восстановления с электровоздушным приводом и клапаном управления 18; неподвижный контакт с дугогасительной системой; дугогасительная камера с дополнительной дугогасительной катушкой; механизм электрической блокировки.

Рычаги 7 якоря в нижней части скреплены медной колодкой, предназначенной одновременно для прикрепления четырёх токоведущих



Фиг. 11. Общий вид быстродействующего выключателя БВП-1А



Фиг. 12. Принципиальная схема выключателя БВП-1А

гибких шунтов 19. Этими шунтами цепь подвижного контакта соединяется с размагничивающим витком 34. Несколько ниже валика 36 сквозь отверстия в листах рычага 7 проходит валик двух выключающих пружин 22, которые с другой стороны через траверсное устройство закрепляются регулировочным болтом 21.

Таблица 3

Основные данные быстродействующих выключателей

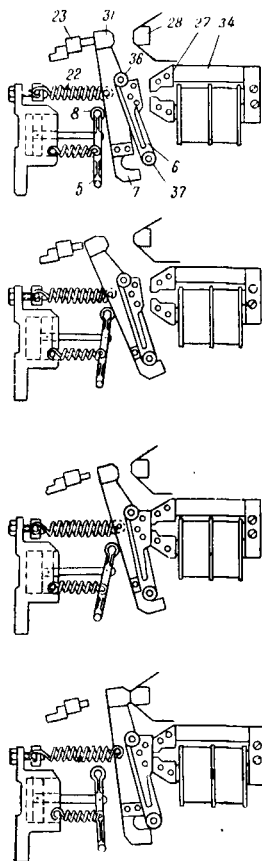
Показатель	Тип выключателей		
	БВП-1А	БВП-1Г	БВП-3
Напряжение номинальное в в	3 000	3 300	3 300
Напряжение максимальное в в	3 800	4 000	4 000
Ток длительный в а	625	625	675/1630*
» часовой в а	1 000	1 000	1 000/2 500
Пределы регулирования в а	900 ÷ 1 500	900 ÷ 1 500	0,001 ÷ 0,0015
Собственное время отключения в сек.	0,003—0,008	0,003—0,008	0,02
Примерное время отключения в сек.	0,02	0,02	19 ÷ 20
Нажатие главных контактов в кг	27—32	27—32	30,5 ÷ 35,5
Расстояние контактов в мм	30,5—40,8	30,5—40,8	—
Напряжение отключающих пружин в кг	115 ÷ 125	115 ÷ 125	—
Сопротивление удерживающей катушки в ом	34,6	36,2	—
Ток удерживающей катушки длительный в а	1,18	1,18	1,18
Испытательное напряжение в в	8 750	10 000	10 000**
Минимальное давление воздуха в атм	3,5	3,5	3,5
Сопротивление катушки восстановления в ом	156	328	328
Вес в кг	186	209	213

* В числителе — для ВЛ22^М, в знаменателе — для Н8.

** Для дугогасительной системы — 15 000 в.

При размыкании БВ в подвижной системе необходимо быстро погасить кинетическую энергию. С этой целью для рычага предусмотрен упругий упор 23 (установленный на раме).

Механизм восстановления состоит из чугунного воздушного цилиндра 29, соединённого гибким изолирующим резиновым шлангом 17 с электропневматическим вентилем 18. Поршень 26 цилиндра своим штоком связан с включающим рычагом 5. Рычаг имеет возможность поворачиваться относительно шарнирного валика 3 в своём нижнем конце. Верхний конец рычага имеет ролик 8, которым он при впуске сжатого воздуха в цилиндр упирается в рычаг 7. При выпуске воздуха из



Фиг. 13. Процесс включения быстродействующего выключателя

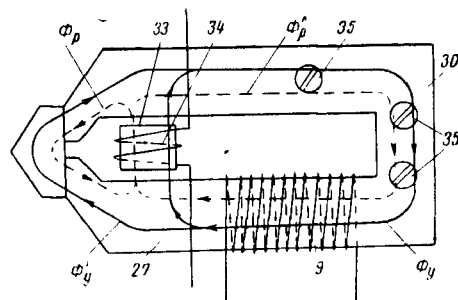
цилиндра механизм восстановления возвращается в исходное положение с помощью пружин 20. Работа механизма восстановления осуществляется, как показано на фиг. 13.

При включении БВ паз в нижней части рычага 7 доходит до упора в валик 37 рычага якоря 6. Дальнейшее перемещение поршня сопровождается поворотом рычагов 6 и 7 относительно валика 37 до тех пор, пока якорь не упрётся в наконечники магнитной системы 27. Если удерживающая катушка возбуждена, якорь в дальнейшем удерживается магнитной системой. Однако нажатие ролика 8 не даёт возможности замкнуться главным контактам 31 и 28. Они замкнутся лишь в том случае, когда прекратится возбуждение вентилем 18 и пружины 20

возвратят механизм возврата в исходное положение. Так как якорь удерживается магнитной системой, положение валика 36 оказывается точно фиксированным и натяжение пружин 22 вызовет поворот рычага 7 относительно этого валика. Контакты 31 и 28 не только войдут в соприкосновение, но и сожмутся со значительным усилием, раздвигаемым пружинами 22. Нижний конец рычага 7 выйдет из соприкосновения с валиком 37. Это положение и является положением окончательного замыкания БВ.

Неподвижный медный контакт 28 укреплен на медной плите, изолированной от корпуса. На ней же укрепляются дугогасительные катушки 11, щёки 12 и рог 24 (см. фиг. 11 и 12).

Для повышения чувствительности к изменениям намагничивающей силы размагничивающих витков магнитная система выключателя, показанная на фиг. 14, имеет разветвлённую форму. Основной магнитопровод 30 с удерживающей катушкой 9 имеет в левой части магнитную перемычку 33, на которой закреплён размагничивающий виток 34. Поток Φ_y удерживающей катушки разветвляется

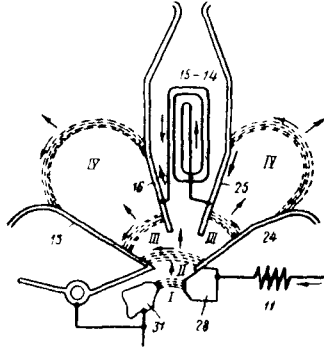


Фиг. 14. Схема магнитной системы быстродействующего выключателя

на два: один протекает по магнитной перемычке 33, а другой (Φ_y') через полюсные наконечники 27. Поток Φ_y' имеет направление, обратное составляющей потока размагничивающего витка Φ_r . При замкнутых контактах БВ поток Φ_r недостаточен для подавления потока Φ_y' . Однако при увеличении тока сверх определённого предела поток Φ_r снизит величину потока Φ_y' настолько, что притяжение якоря, вызываемое этим последним, окажется недостаточным и произойдёт его отрыв от полюсов 27. Усилению действия потока Φ_r размагничивающего витка способствует также и увеличение потока Φ_r за счёт наведения дополнительной индуктивной э. д. с. в катушке 9 при нарастании тока короткого замыкания. Этим повышается степень насыщения магнитной системы 30 и ослабляются потоки Φ_y и Φ_y' .

Дугогасительная камера (фиг. 15) имеет дополнительную дугогасительную катушку 15 со стальным сердечником 14, усиливающую действие основной дугогасительной катушки. Дуга, возникающая в момент размыкания

выключателя между главными контактами 31 и 28 (стадия I), переходит на дугогасительные рога 13 и 24 (стадия II). Если дуга здесь погашена не будет, она разбивается на две части, образующиеся между рогом 13 и вспомогательным рогом 16 и между рогом 24 и

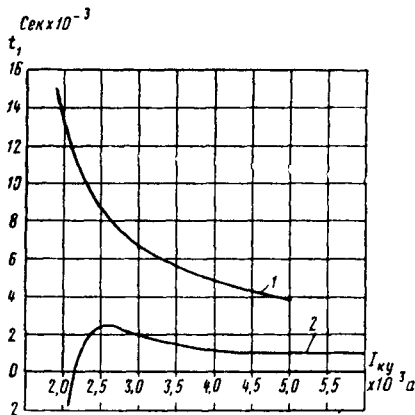


Фиг. 15. Схема дугогашения быстродействующего выключателя БВП-1А

вспомогательным рогом 25 (стадия III). При этом дополнительная дугогасительная катушка 15 ускоряет выдувание дуг и их переход в IV — окончательную стадию разрыва.

Дугогасительная камера, выполненная с двумя промежуточными перегородками, создаёт трёхщелевое пространство для выхода дуги.

Механизм электрической блокировки представляет собой комплект блокировочных контактов мостикового типа, привод которых связан изоляционной тягой и коленчатым рычагом с подвижным рычагом якоря. При выключении БВ рычаг якоря освобождается от этой связи, что способствует снижению инерции подвижной системы.



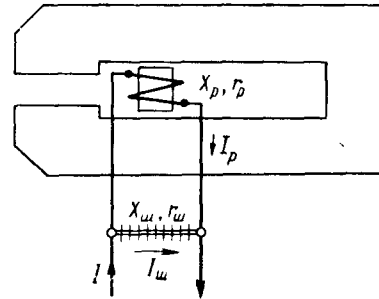
Фиг. 16. Зависимость собственного времени выключателя от величины установившегося тока короткого замыкания $I_{кз}$: 1 — выключатель БВП-1; 2 — выключатель БВП-1 ЦНИИ (начальный ток 800 а)

Исследования ЦНИИ МПС показали, что работа быстродействующих выключателей БВП обладает значительными недостатками, основными из которых являются: зависимость времени срабатывания от величины тока короткого замыкания и в конечном счёте от его установившегося значения $I_{кз}$ (фиг. 16, кривая 1); высокие значения (особенно при

токах короткого замыкания $I_{кз} > 3000$ а) от отношения $\frac{I_{макс}}{I_{кз}}$, характеризующие отсутствие ограничивающего действия выключателя. Это является следствием недостаточной интенсивности дугогашения в первый период времени до достижения током значения $I_{макс}$. Дугогашение действует интенсивно лишь после того, как ток достигнет своего максимального значения, что при размыкании силовой цепи может вызвать высокие перенапряжения. Устранение этих недостатков при одновременном значительном повышении качества работы БВ достигнуто ЦНИИ путём следующих основных мероприятий:

1. Шунтированием индуктивностью размагничивающего витка при одновременном увеличении высоты его сердечника. Схема включения шунта представлена на фиг. 17. При установившемся токе I индуктивность размагничивающего витка и шунта не оказывает влияния на распределение тока $I_{уст}$ в цепях шунта и витка. В этом случае

$$\frac{I_{р.уст}}{I_{ш.уст}} = \frac{r_{ш}}{r_p}$$



Фиг. 17. Схема действия магнитного шунта

Исходя из этого соотношения магнитная система может быть отрегулирована на необходимую уставку. Возникающие короткие замыкания сопровождаются высокой интенсивностью нарастания тока по времени:

$$\frac{dI_{кз}}{dt} \approx (0,1 \div 0,7) \cdot 10^6 \text{ а/сек.}$$

При этом отношения токов $I_{ну}$ будут

$$\frac{I_{р.ну}}{I_{ш.ну}} = \frac{Z_{ш}}{Z_p} = \frac{\sqrt{x_{ш}^2 + r_{ш}^2}}{\sqrt{x_p^2 + r_p^2}}$$

Здесь Z — кажущиеся условные сопротивления;

x — индуктивные условные сопротивления цепей.

То же соотношение токов, что при установившемся режиме, сохранится и при условии, когда

$$\frac{r_{ш}}{r_p} = \frac{x_{ш}}{x_p}$$

Во всяком же другом случае будет иметь место другое отношение токов. Если $x_{ш} > x_p$, то

$$\frac{I_{р.ну}}{I_{ш.ну}} > \frac{I_{р.уст}}{I_{ш.уст}}$$

В этом случае большая часть тока будет протекать в цепи размагничивающего витка, что поведёт к сокращению времени срабатывания БВ. Кривая 2 (см. фиг. 16) представляет время t_1 при $L_{ш} = 9L_p$, $r_{ш} = 0,65 r_p$ и высоте сердечника размагничивающего витка, увеличенной с 9 до 22 мм.

2. Для усиления дугогашения в первый момент размыкания контактов им придаётся форма петли (фиг. 18, линия abc), которая сама по себе способна обеспечить индукцию в зоне первичного зарождения дуги, равную 300—350 гс.

Основная система дугогашения усилена за счёт концентрации магнитного потока в зоне развития дуги и сокращения потоков рассеяния. Сердечник основной дугогасительной системы выполнен в виде тороида, который охватывается двумя параллельно включенными катушками. Такая форма снижает до минимума потоки рассеяния и обеспечивает индукцию до 1 300 гс в нижней зоне дугогасительной камеры. Вспомогательная дугогасительная катушка устранена.

3. Изменена форма и конструкция дугогасительной камеры (фиг. 19) за счёт придания ей формы раструба и применения лабиринтных перегородок. Длина дуги в камере значительно увеличивается. Гашение не сопровождается

большими перенапряжениями, а выхлопы дуги из камеры полностью предотвращаются деионной решёткой, установленной в верхней её части.

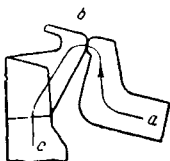
В результате этих усовершенствований качество работы выключателя БВП-1 ЦНИИ резко улучшено. Основные данные этого выключателя приведены в табл. 4.

Основные данные выключателя БВП-1 ЦНИИ соответствуют данным выключателя БВП-3. Общий вид выключателя БВП-3 приведен на фиг. 20.

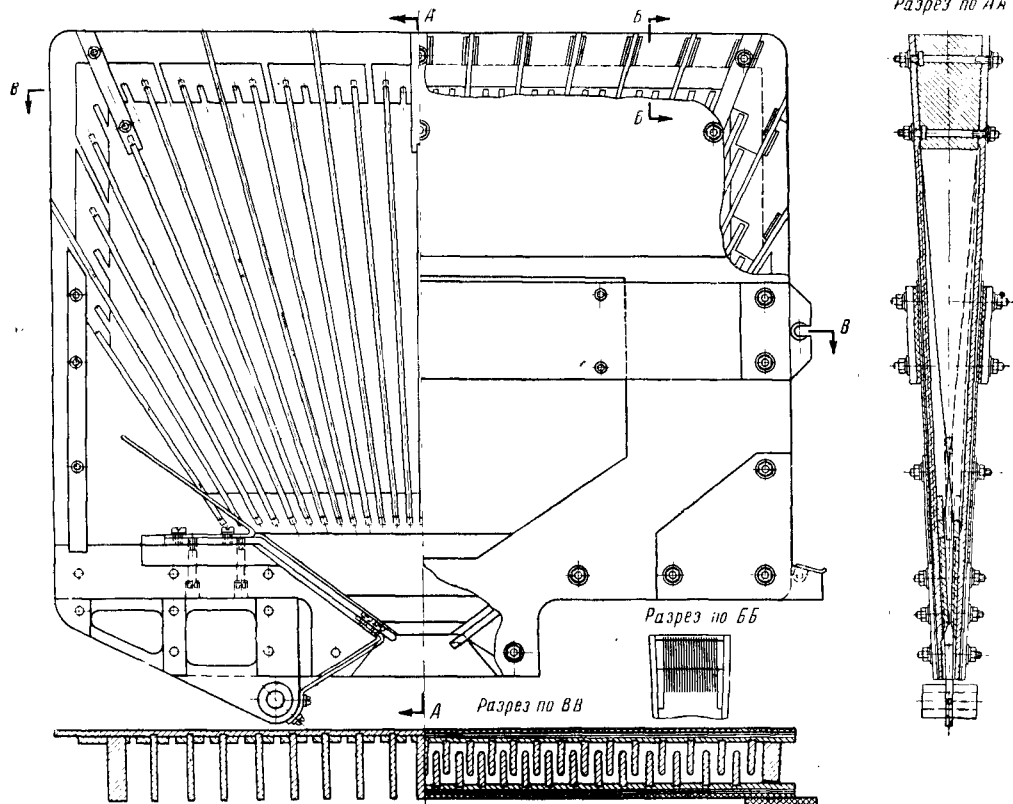
Быстродействующие короткозамыкатели являются одной из разновидностей быстродействующих выключателей. Обладая всеми основными характеристиками, что и последние, они отличаются тем, что не размыкают силовую цепь, а замыкают её на землю, вызывая глухое короткое замыкание в системе. Отключение этого искусственного короткого замыкания производится более мощными быстродействующими выключателями подстанций или постов секционирования.

Короткозамыкатели не имеют дугогасительных устройств, что значительно уменьшает их размеры и вес и делает особенно пригодными для моторных вагонов.

Автоматические выключатели применяются главным образом во вспомогательных цепях ЭПС в качестве аппаратов защиты или аппаратов специального назначения на подвижном составе, работающем при невысоком напряжении сети.



Фиг. 18. Форма контактов для усиленного дугогашения БВП-1 ЦНИИ

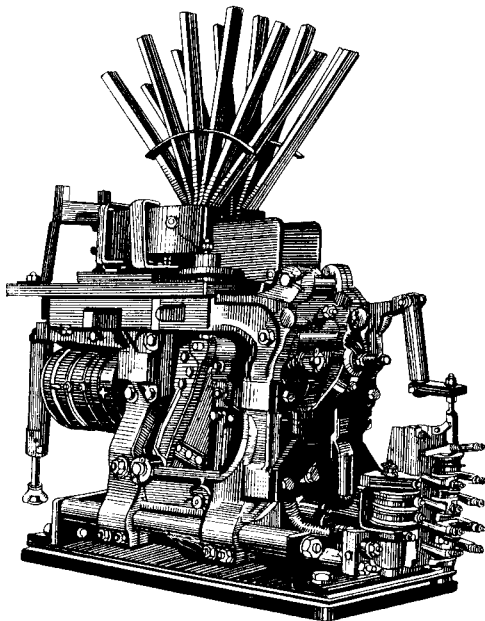


Фиг. 19. Изменённая дугогасительная камера БВП-1 ЦНИИ

Таблица 4

Основные данные быстродействующих выключателей БВП-1 ЦНИИ

Данные	Тип выключателя	
	БВП-1	БВП-1 ЦНИИ
Наибольший отключаемый ток короткого замыкания в а:		
а) при индуктивности 7 мГн	3 500—4 500	> 10 000
б) » 15 »	3 000—3 500	> 10 000
Выхлоп дуги и пламени за пределы камеры при больших токах	Очень большой при всех токах более 2 000 а	Нет
Стабильность процесса отключения	Нестабильный	Стабильный
Наибольшие перенапряжения при $I = 1\,500$ а и индуктивности 15 мГн . . .	Более $2 U_{ном}$	Не более $2 U_{ном}$
Полное время отключения в сек. при токе от 1 500 а и выше:		
а) при индуктивности 7 мГн	0,022—0,05	0,02—0,038
б) » 15 мГн	0,025—0,07	0,03—0,055
Собственное время отключения в сек.	0,008—0,003	0,0015—0,001
Вес дугогасительной камеры в кг	62	52

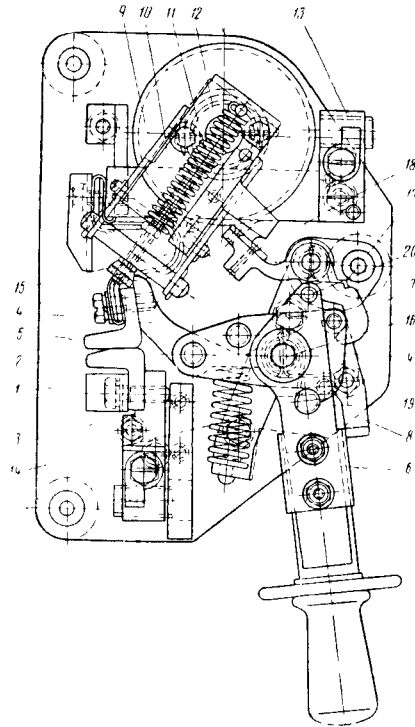


Фиг. 20. Быстродействующий выключатель БВП-3

Автоматический выключатель типа АВ-1Б показан на фиг. 21.

Все основные части выключателя укреплены на изоляционной панели 1. Неподвижный контакт 2 укреплен на держателе 3, подвижной контакт 5 установлен на держателе 4, который шарнирно укреплен на раме подвижной системы 8. На той же раме укрепляются:

рукоятка 6, защёлка 7 и пружина 14. При повороте рукоятки вокруг оси 16 вправо её шпилька 19, скользя по профилю держателя подвижного контакта 4, вызывает его поворот против часовой стрелки и замыкание контактов. Притирание контактов осуществляется пружиной 14.



Фиг. 21. Автоматический выключатель АВ-1Б

В замкнутом состоянии конец держателя подвижного контакта захватывается защёлкой 7 под действием пружины 17. При этом хвостовик защёлки 18 западает за боек якоря 10 магнитной системы, запирая, таким образом, контакты в замкнутом положении.

Магнитная система состоит из катушки 9, включённой последовательно в защищаемую цепь, якоря 10 и пружины 11, препятствующей притяжению якоря к сердечнику катушки 12. Притяжение якоря к сердечнику освобождает выступ 18 защёлки 7 и даёт возможность пружине 14 разомкнуть контакты. Магнитная система одновременно выполняет функции магнитного дутья.

Выключатель имеет следующие основные технические данные: пределы регулирования 100—300 а; расстояние между разомкнутыми контактами 13—16 мм; притирание контактов 8—10 мм; нажатие контактов 9—14 кг; время разрыва тока 1 000 а 0,04 сек.; номинальное напряжение 900 в.

КОНТАКТОРЫ

Контакторы—однополюсные или многополюсные выключатели с электромагнитным дугогашением и индивидуальным или групповым приводом, дающим возможность осуществлять дистанционное управление. На совре-

менном ЭПС контакторы являются основными аппаратами, которыми производится большинство переключений в силовой и вспомогательной высоковольтных цепях как с разрывом мощности, так и без него.

Приводы индивидуальные подразделяются на электропневматические и электромагнитные, а групповые — на электропневматические, электромагнитные, электродвигательные, гидравлические.

Контакты

Основной деталью контактора являются его рабочие контакты.

Одним из условий надёжной работы контактных деталей является уменьшение электрических потерь в месте переходного контакта, так как нагревание ускоряет процесс окисления и приводит к дальнейшему быстрому повышению переходного сопротивления.

Величина контактного сопротивления зависит от материала контактов, качества обработки контактных поверхностей, степени окисления мест контакта, силы нажатия контактов. Контакты характеризуются тем допустимым длительным током, который не вызывает нарастающего ухудшения их состояния.

В тяговой аппаратуре применяются преимущественно контакты из красной меди. Для предупреждения окисления (главным образом блокировочных контактов) производится покрытие контактов оловом или кадмием или же они выполняются из серебра.

В табл. 5 приведены относительные величины переходных сопротивлений для различных материалов по сравнению с парой контактов из красной меди.

Таблица 5

Переходные (относительные) сопротивления контактов из различных материалов

Материалы	Относительное переходное сопротивление	Материалы	Относительное переходное сопротивление
Медь	1,0	Кадмий	0,9
Серебро	0,3	Сплавы серебра	0,2—0,8
Олово	0,7	Оловянный припой	1,0—1,5

Определение необходимых размеров контактных деталей производится из условий невозможности повышения их длительных перегревов $\tau_{\text{дл}}$ выше следующих (в °C):

Сплошные стыковые контакты (кроме серебряных)	75
То же, серебряные или с серебряными напайками	85
Клиновые контакты	50
Щёточные	30
Голые медные шины и их контактные соединения	70
Дугогасительные шинные катушки	90

Все приведённые перегревы — при температуре окружающего воздуха 25°C (те же нормы действуют при температурах окружающего воздуха до 40°C). Определение размеров контакта удобно производить при помощи следующего выражения:

$$I_{\infty}^2 R_k = \alpha S \tau_{\text{дл}}.$$

Здесь R_k — сопротивление контакта;

α — коэффициент теплоотдачи рассеиванием с поверхности S контактной детали.

Для практических целей удобно ввести понятия о постоянной контакта, зависящей от его размеров, условий работы и применяемых материалов, обозначаемой величиной A_k . Эта постоянная является произведением двух удельных плотностей. Для поверхностного контакта

$$A_{k.\text{пов}} = \frac{I}{S} \cdot \frac{I}{F_k} = \text{пост.}$$

и для линейного контакта

$$A_{k.\text{лин}} = \frac{I}{b} \cdot \frac{I}{F_k} = \text{пост.}$$

Здесь $\frac{I}{b}$ — удельная линейная плотность в а/мм.

В тяговой аппаратуре величина поверхностной плотности $\frac{I}{S}$ принимается в пределах $3,5 \div 5,0$ а/см², а величина удельной плотности по давлению $\left(\frac{I}{F_k}\right)$ — $60 \div 90$ а/кг.

В табл. 6 приведены данные рекомендуемых постоянных для медных рабочих контактов, применяемых в различных аппаратах.

Таблица 6

Рекомендуемые плотности и постоянные рабочих медных контактов

Вид аппарата	Линейная плотность в а/мм	Плотность по давлению в а/кг	Постоянная $A_{k.\text{лин}}$ в а/мм·кг
Индивидуальные электропневматические контакторы	25	15	375
Групповые электропневматические контакторы	20	25	500
Индивидуальные электромагнитные контакторы	15	44	680
Реверсоры и тормозные переключатели	11	35	385
Контроллеры непосредственного управления	6	40	240

При использовании немедных контактов или медных, но имеющих покрытие другими металлами, величины линейной плотности для меди должны соответственно делиться на отношение сопротивлений немедных контактов к медным (см. табл. 5).

В табл. 7 приведены фактические данные для главных контактов некоторых контакторов, находящихся в эксплуатации.

Для главных и блокировочных контактов применяется преимущественно линейное контактирование и реже, для блокировочных контактов, точечное.

При разработке конструкции контактов тяговых аппаратов предусматривается их обязательное взаимное притирание, необхо-

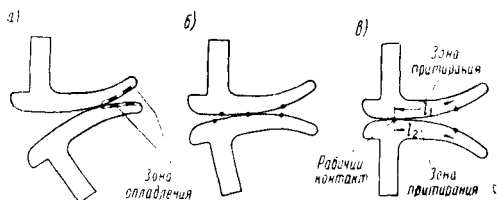
Таблица 7

Характеристики главных контактов контакторов

Тип контактора	Ширина контакта в мм	Номинальный ток в а	Нажатие контакта в кг	Линейное нажатие в кг/мм	Линейная плотность в а/мм	Плотность в а/кг	Постоянная A_K в а ² /мм·кг
ЛК-301	20	350	27	0,35	17,5	50	875
ЛК-151А	32	750	11,5	0,36	23,5	65,1	1 530
МК-310	16	75	2,7	0,17	4,7	27,8	1 300
МК-604	16	20	2,3	0,14	1,35	8,7	10,9
МКП	20	40	1,8	0,09	2,0	22,2	44,4
ЛК-550-16	25	550	12	0,48	22,0	46,7	1 030
ЛК-551	20	525	12,5	0,63	26,2	42,0	1 100
КЭ-2	19	350	23	1,22	18,5	15,2	280

димое по соображениям разделения места постоянного контакта от места размыкания контактов, повреждаемого дугой, и самоочистки контактов, обеспечивающей частичное удаление с их поверхности пыли, окислов и оплавлений.

На фиг. 22 представлен рабочий цикл главных контактов контактора. Концы контактов, не участвующие в процессе замыкания, предназначены для отвода дуги при их размыкании.



Фиг. 22. Рабочий цикл главных контактов контактора: а — начало замыкания или конец размыкания; б — притирание; в — окончательное замыкание

Поверхность контакта от точки первоначального соприкосновения до точки рабочего контакта носит название зоны притирания. Профиль рабочих поверхностей и радиус поворота подвижных контактов должны быть подобраны так, чтобы при включении происходило не только взаимное перекатывание контактов, но и проскальзывание подвижного контакта по неподвижному. Рабочие поверхности контактов выполняются обычно по профилю цилиндрических образующих. Величина притирания определяется разностью $l_1 - l_2$.

В табл. 8 представлены основные типы рабочих контактов контакторов, применяемых в тяговой аппаратуре магистрального электроподвижного состава Союза.

Принцип линейного контакта применяется также в конструкции блокировочных пальцевых контактов тяговой аппаратуры. В этом случае притирание возникает при проскальзывании контакта по замыкающему сегменту или перемычке. Профиль контактной поверхности или контактного сухаря пальцевого контакта предусматривает обычно выкружку сравнительно небольшого радиуса с тем, чтобы не было возможности защемления пыли, инея и прочих посторонних включений между контактными поверхностями пальца и сегмента.

Контакты точечного типа применяются в тяговых контакторах редко, так как ток,

проводимый ими, сравнительно невелик. Неприменимость они имеют в качестве контактов в цепях управления.

Дугогашение

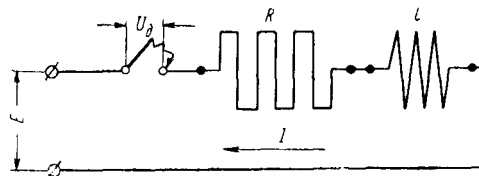
Размыканию контактов предшествует снижение нажатия между ними, что значительно увеличивает переходное сопротивление. Этот процесс сопровождается местным поверхностным перегревом в точке контактирования и образованием катодного пятна, выделяющего поток ионов. Интенсивная ионизация окружающей среды способствует возникновению дуги между размыкающимися контактами.

Возникновение и развитие дуги зависят от интенсивности ионизации окружающего пространства и количества выделяемой в нём энергии A_d .

Всякий контур может быть представлен в виде эквивалентного (фиг. 23), к которому приложена внешняя э. д. с. E и в котором содержатся эквивалентное омическое сопротивление R и индуктивность L . Кроме того, при размыкании контактов возникает дуга с падением напряжения в ней U_d . При изменении тока уравнение напряжения и э. д. с. контура будут иметь вид:

$$E = U_d + IR \pm L \frac{dI}{dt}.$$

Соответственно уравнение элементарной энергии выразится при умножении напряжений на Idt .



Фиг. 23. Эквивалентный контур цепи с электрической дугой

Энергия A_d , выделяющаяся в дуге за время её горения T , определяется при интегрировании этого произведения:

$$A_d = \int_0^T IU_d dt = (E - IR) IT \pm \frac{LI^2}{2}.$$

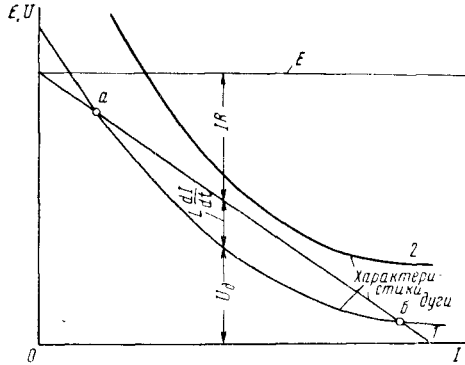
Первый член уравнения зависит от времени; второй член, выражающий запас индуктивной (электромагнитной) энергии, от

Основные типы рабочих контактов контакторов

[illegible]

времени не зависит и является постоянным. Путём повышения интенсивности дугогашения время T возможно значительно сократить. Влияние же индуктивности цепи сократить не представляется возможным.

Дуга может быть охарактеризована вольт-амперными статическими характеристиками, которые представлены на фиг. 24 кривыми 1 и 2. Кривая 2 соответствует горению дуги при большем расстоянии между электродами,



Фиг. 24. Характеристики электрической дуги в эквивалентной схеме

чем в случае характеристики 1. Величина э. д. с. не зависит от тока, а величина падения напряжения в омическом сопротивлении IR прямо пропорциональна току. Разность между E и IR даёт значение напряжения, приходящегося на дугу. Длительная работа системы возможна в том случае, когда прямая, выражающая зависимость $E - IR$, совместится с вольт-амперной характеристикой дуги. Для характеристики 1 это будет иметь место в точках a и $б$. Условием устойчивого горения дуги будет отвечать режим, соответствующий точке $б$, так как здесь внезапное уменьшение тока даёт возможность индуктивной составляющей $L \frac{dI}{dt}$ повысить напряжение дуги, а увеличение тока -- наоборот. Система не обладает устойчивостью при режиме, соответствующем точке a .

Возможны следующие основные меры снижения вредного влияния дуги, применяемые в аппаратостроении: сокращение размеров катодного пятна и уменьшение выделения ионов из него; деионизация газов дуги; удлинение дуги и в первую очередь за счёт применения искусственного дутья, действующего на дугу. Для сокращения выделения ионов из катодного пятна необходимо его охлаждение. Этому способствует применение массивных деталей, на которых развивается дуга (дугогасительных рогов), выполняемых из материалов с высокой тепло- и электропроводностью. Форма рогов должна быть такой, чтобы дуга в процессе своего развития вызвала быстрое перемещение катодного пятна по поверхности рога на пенетрирующие его части, чем вызывалось бы интенсивное охлаждение пятна.

Основные меры по деионизации дуги сводятся к охлаждению её газов, причём наиболее эффективно для этого увеличение длины дуги,

растягивающее столб газов. Существенное значение имеет конструкция дугогасительных камер, выполняемых из асбодемента или теплоустойчивой керамики. Наличие продольных перегородок в камере (фиг. 25, a) или применение радиальных изоляционных перегородок (фиг. 25, $б$) разбивает дугу на несколько частей, усиливает охлаждение образующихся газов и их деионизацию.

Естественное дугогашение с применением дугогасительных камер для контакторов и других аппаратов ЭПС, разрывающих мощность, недостаточно и применение принудительных дугогасительных устройств обязательно. К ним относятся воздушные и электромагнитные устройства. Первые с применением для гашения дуги струи сжатого воздуха не нашли ещё достаточного применения на ЭПС постоянного тока; вторые являются основными дугогасительными устройствами для аппаратов всех видов.

Принцип магнитного дугогашения основывается на взаимодействии между дугой (как легко растягивающимся проводником) и магнитным потоком, направленным перпендикулярно плоскости дуги. При этом элемент дуги длиной dl будет испытывать элементарное усилие

$$dF = IB dl \sin \alpha,$$

где I -- ток дуги;

B -- индукция дугогасительного поля;

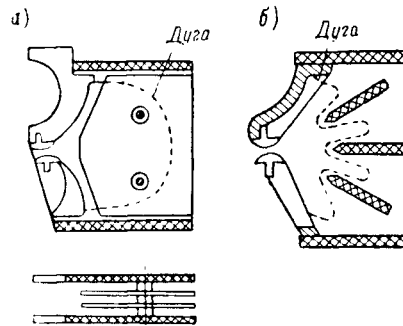
α -- угол между направлением потока и нормалью к направлению тока.

Усилие F , действующее на дугу длиной L , определится интегрированием уравнения элементарных усилий:

$$F = \int_0^L IB \sin \alpha dl.$$

При однородном поле, перпендикулярном направлению тока, для прямолинейного участка дуги длиной l_n усилие выразится соотношением:

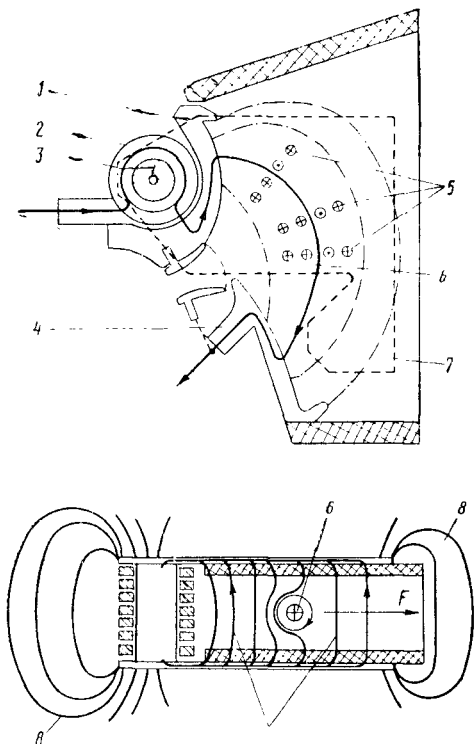
$$F = IB l_n.$$



Фиг. 25. Дугогасительные камеры

Это усилие вызовет перемещение частиц дуги в необходимом направлении, что усиливает её и способствует гашению. Для получения магнитного поля используется электромагнитная дугогасительная система, возбуждаемая обычно током в цепи дуги. Принципиальная схема устройства электромагнитного дугогашения контактора представлена на фиг. 26. Катушка дугогасительного устройства,

как правило, включается последовательно в цепь неподвижного контакта. Для контакторов, работающих в тяжёлых условиях дугогашения (линейные контакторы), применяются иногда двойные дугогасительные катушки: главная — в цепи неподвижного контакта и

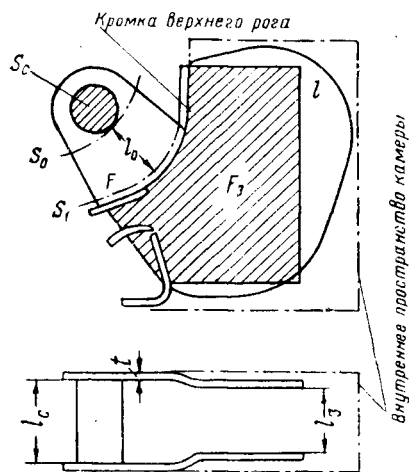


Фиг. 26. Устройство электромагнитного дугогашения контактора: 1—рог верхний; 2—катушка; 3—сердечник; 4—рог нижний; 5—магнитный поток полюсов; 6—направление дуги; 7—полюс; 8—поток рассеяния

вспомогательная, включаемая в цепь только во время гашения дуги. К зоне дуги магнитный поток подводится от стального сердечника дугогасительной катушки с помощью стальных щёк (полюсов), заделанных в стенку дугогасительной камеры. Как правило, для получения эффективного дугогашения в воздушном зазоре дугогасительной камеры создаётся средняя индукция в пределах 100—170 гс.

Основные данные дугогасительных систем, отмеченных на фиг. 27, приведены в табл. 9.

Денонизация в дугогасительной камере зависит также от материала внутренних сте-



Фиг. 27. Основные данные дугогасительных систем: l_3 —расстояние между полюсами; F —общая площадь полюса; F_3 —полезная площадь полюса; S_1 и S_0 —сечения промежуточных частей полюса; l_0 —длина промежуточных частей полюса; S_c —сечение сердечника; l_c —длина сердечника; l —толщина щеки полюса; l —длина дуги

Таблица 9

Основные данные дугогасительных систем

Тип контактора	$I \infty a$	Число витков дугогасительной катушки n	Средняя индукция в воздушном зазоре B_3	Полезная площадь полюса в $см^2$	Сечение полюса сердечника S_0 в $см^2$	Сечение полюса при переходе в щеки S_1 в $см^2$	Длина нерабочих частей полюса l_0 в $см$	Сечение сердечника S_c в $см^2$	Длина сердечника l_c в $см$	Толщина стали полюса t в $мм$	κ_n^*	α^{**}
Электромагнитный МК-310-А/Б5	50	40	105	195	3,4	3,5	5,4	11,3	5	5	1,3	6
Электропневматический ПК-301	350	5	160	390	4,8	8,0	5,8	11,3	4,4	5	1,2	3
Электропневматический ПК-750	500	6	135	200	4,6	5,6	6,2	13,8	6,1	5	1,5	4,9
Электропневматический ПК-152	350	5	115	340	6,4	9,6	6,2	11,3	4,4	5	1,4	4,5
Электропневматический ЛК-550	350	6	130	315	8,2	12,7	6,6	15	8,4	6,8	1,3	4,4

* $\kappa_n = \frac{F}{F_3}$ — коэффициент использования полюса, равный отношению общей его площади F к полезной площади F_3 .

** $\alpha = \frac{I \infty n}{a w_3}$ — коэффициент полезного использования НС дугогасительной системы, равный отношению НС дугогасительной катушки $I \infty n$ к падению магнитного потенциала в воздушном зазоре: $a w_3 = 0,8 B_3 l_3$.

лок камеры, размеров выходных отверстий из нее и др. Материал камер и перегородок должен выдерживать высокие температуры без сильного обгорания и не быть источником выделения газов, способствующих понижанию. Как правило, внутренние части дугогасительных камер облицовываются непроводящим абсорбентом или дугоустойчивой керамикой.

Номинальная намагничивающая сила HS дугогасительной катушки 0 определяется

$$0 = I_{\infty} n,$$

где n — число витков дугогасительной катушки;

I_m — длительный ток контактора.

Эта HC должна быть равна:

$$\theta = \alpha a w_3 = 0,8 \alpha B_3 l_3,$$

где $\Delta\varphi_3$ — падение магнитного потенциала в воздушном зазоре;

α — коэффициент полезного использования *НС* дугогасительной системы, учитывающий влияние магнитного рассеивания и равный

$$\alpha = \frac{I_{\infty} n}{a\omega_2} \approx 3 \div 6,$$

где B_2 и l_2 — индукция и длина воздушного зазора.

Условиями дугогашения определяется величина воздушного зазора между главными контактами аппарата (раствора контактов в разомкнутом состоянии). Обычно эти расстояния принимаются: при напряжениях до 1 000 в — в пределах 12—22 мм; при 1 500 в — 18—33 мм и 3 000 в — 24—42 мм.

Приводы индивидуальные

Приводы индивидуальные выполняются двух видов: электропневматические и электромагнитные. Наибольшее распространение имеет электропневматический привод, обладающий меньшими размерами и более благоприятными тяговыми характеристиками.

Принципиальная схема контактора с татким приводом представлена на фиг. 28, а статическая тяговая характеристика — на фиг. 29.

Усилие, развиваемое давлением воздуха на поршень цилиндра,

$$F_6 = p \frac{\pi d_6^2}{4} \kappa_2,$$

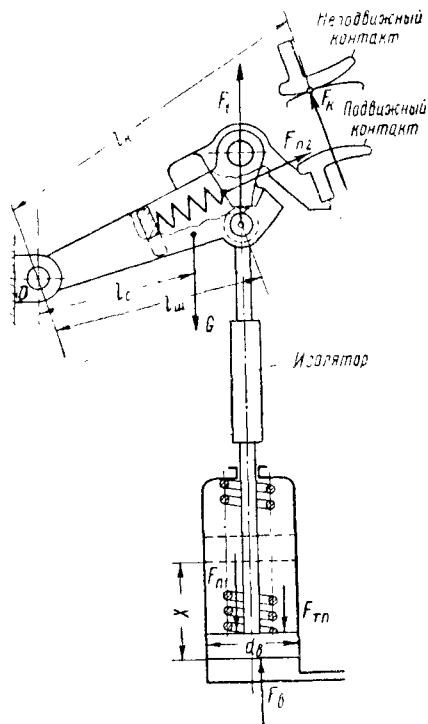
где p — давление сжатого воздуха в кг/см^2 ;
 d_s — диаметр цилиндра привода в см .

Часть усилия F_6 поглощается силой трения поршня и штока о стенки цилиндра F_{Tn} . Величина F_{Tn} зависит от состояния пневматической части привода и особенно от ее смазки. При диаметре цилиндра 45 мм средняя сила трения колеблется в пределах 10 — 15 кг; при диаметре 58 мм — 15 — 20 кг и при диаметре 90 мм — 25 — 32 кг.

Вторым фактором, противодействующим усилию привода, является приведённая сила трения в подвижной системе контактора F'_{tm} , определяющаяся соотношением

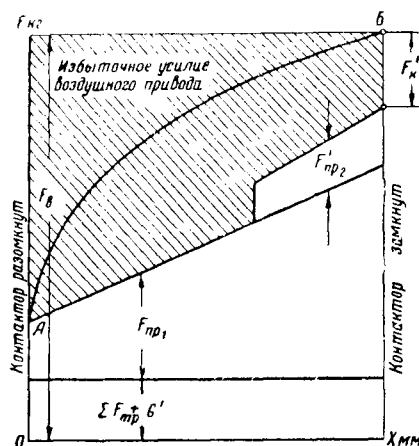
$$F'_{m\mathcal{M}} = \frac{\sum F_{m\mathcal{M}} l}{l_{m\mathcal{M}}} \kappa_2.$$

Здесь $\sum F_{т.и} l$ — сумма моментов сил трения в соединениях подвижной системы относительно точки поворота подвижной системы;
 $l_{ш}$ — плечо штока привода относительно точки O .



Фиг. 28. Схема электропневматического привода контактора

По направлению с силой $F_{m.m}$ совпадает и сила тяжести G подвижной системы контактора. Эта сила приложена к центру тяжести



Фиг. 29. Статическая тяговая характеристика индивидуального контактора с пневматическим приводом и также должна быть приведена к штоку привода:

$$G' = \frac{Gl_c}{l_{yu}} \kappa \varrho.$$

Сумму сил трения и веса можно рассматривать, как постоянную, составляющую сопротивление включению контактора:

$$\Sigma F_{mp} + G'.$$

Здесь

$$\Sigma F_{mp} = F_{Tn} + F_{Tm} \text{ кг.}$$

Переменными составляющими сопротивления являются давление размыкающей пружины F_{n1} и приведённое давление притирающей пружины F'_{n2} . Величина общего давления пружин ΣF_n принимается в следующих пределах:

$$\Sigma F_n = F_{n1} + F'_{n2} \approx (0,3 \div 0,5) F_s \gg (1,5 + 2,0) F_{Tn},$$

где F'_{n2} — определяется отношением давления притирающей пружины F_{n2} к штоку воздушного привода, так же как это делается для приведённых сил трения.

Разница

$$F_s - (\Sigma F_{mp} + G') - \Sigma F_n = F_y$$

создаёт избыточное усилие привода F_y , вызывающее ускорение подвижной системы. Действие силы F'_{n2} будет иметь место лишь после соприкосновения главных контактов контактора. По завершении замыкания контактора, соответствующего ходу поршня X , между главными контактами устанавливается давление F_k , приведённое значение которого F'_k заменит избыточное усилие привода F_y в уравнении равновесия сил. В этом случае

$$F'_k = \frac{F_k l_k}{l_{ш}} = F_s - (\Sigma F_{mp} + G') - \Sigma F_n.$$

Усилие, размыкающее контактор, может быть определено из следующего соотношения:

$$F_{разм} = \Sigma F_n - (\Sigma F_{mp} - G').$$

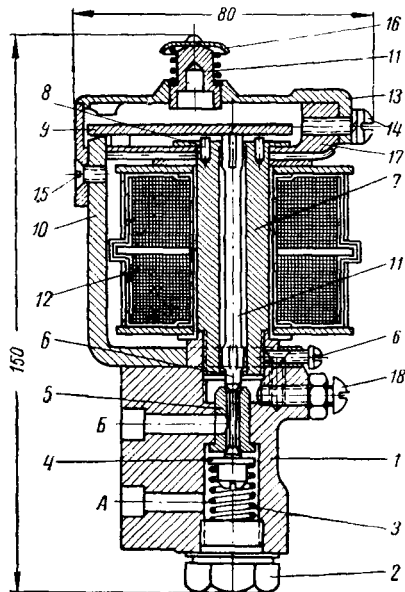
Фактически избыточные усилия привода не будут соответствовать постоянной величине F_n , так как цилиндр сообщается с резервуарами сжатого воздуха через воздухопроводы, имеющие ограниченное сечение. Нарастание давления в цилиндре происходит постепенно по кривой AB (см. фиг. 29), форма которой зависит от сечения и длины воздухопроводов. Иногда для снижения ускорения подвижной системы в патрубки, подводящие воздух к контакторам, вводятся специальные насадки с калиброванными отверстиями, ограничивающими интенсивность нарастания давления в цилиндре. Процесс размыкания индивидуального контактора с электропневматическим приводом протекает в течение 0,02—0,06 сек.

Управление пневматическими приводами осуществляется, как правило, с помощью электропневматических вентилей.

По принципу работы вентили подразделяются на включающего типа ВВ и выключающего типа ВКВ. Вентиль ВВ впускает сжатый воздух в цилиндр аппарата при возбуждённой катушке. При прекращении питания катушки вентиль прекращает сообщение цилиндра аппарата с источником сжатого воздуха и открывает доступ для выхода воздуха из цилиндров аппарата в атмосферу.

Наоборот, включение катушки вентиля ВКВ сопровождается сообщением цилиндра аппарата с атмосферой при его одновременном отключении от сжатого воздуха.

Конструкция включающего вентиля представлена на фиг. 30. Здесь 1 — корпус вентиля, 2 — пробка, 3 — пружина клапана, 4 — клапан, 5 — седло клапана, запрессованное в литой чугунный корпус, 6 — стопорный винт сердечника 7, 8 — медные штифты в сердечнике 7, предотвращающие прилипание к нему якоря 9. Якорь 9 вместе с ярмом 10, корпусом 1 составляет магнитную цепь вентиля.

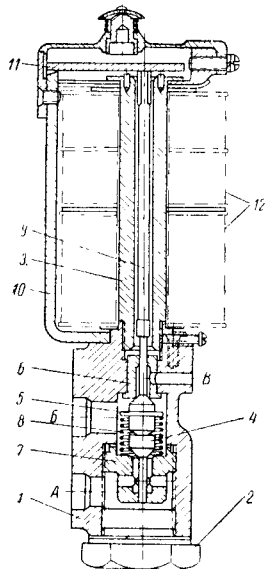


Фиг. 30. Конструкция включающего вентиля

При невозбуждённой катушке 12 якорь 9 опирается на ствол клапана 11, на другой конец которого посредством клапана 4 оказывает давление пружина 3. Сверху вентиль закрыт крышкой 13, закреплённой к коробке 17 винтами 14 и 15. В верхней части крышки 13 имеется пружинная кнопка 16 ручного включения. Отверстие A соединяет внутреннее пространство корпуса вентиля со сжатым воздухом, отверстие B — с цилиндром аппарата. Винт 18 служит для регулировки сечения выпускного отверстия вентиля.

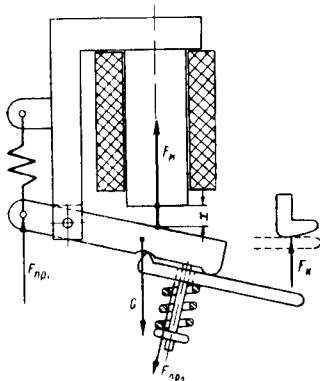
На фиг. 31 представлено устройство выключающего вентиля ВКВ. Корпус вентиля 1 имеет внутреннюю вертикальную цилиндрическую камеру, закрытую снизу пробкой 2 и сверху сердечником 3. Во внутреннем пространстве корпуса расположены клапаны 4 и 5 с седлами 6 и 7. Клапан 5 прижимается к своему седлу 6 с помощью пружины 8. Клапан 4 прижимается к своему седлу 7 при возбуждённой катушке собственным весом, а также под давлением якоря 11 на стержень 9 и клапан 5. Магнитная цепь вентиля составляется сердечником 3, ярмом 10, якорем 11. Магнитный поток возбуждается двумя катушками 12. В остальном конструкция не отличается от конструкции включающего вентиля. Возбуждение катушек 12 вызы-

вает нажатие якоря 11 на стержень клапана 9, отжимающий клапан 5 от седла 6 и прижимающий клапан 4 к своему седлу 7. Отверстие А в корпусе сообщается со сжатым воздухом,



Фиг. 31. Конструкция выключающего вентиля
отверстие Б — с цилиндром аппарата и В — с атмосферой.

Основные конструктивные данные вентиля приведены в табл. 10.



Фиг. 32. Схема привода электро-
магнитного контактора

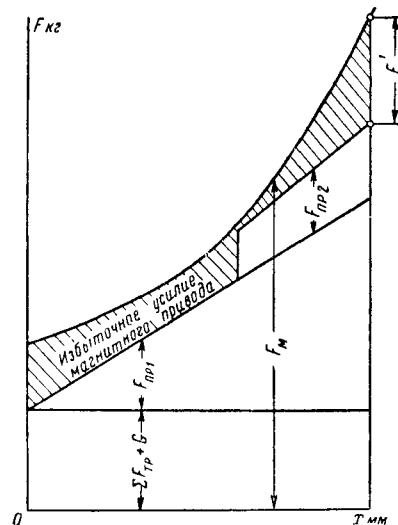
На фиг. 32 и 33 представлены принципиальная схема и тяговая характеристика индивидуального контактора с электромагнитным приводом. Характер основных сил и соотношения, определяющие их величины, здесь такие же, как и при пневматическом приводе, за исключением тягового усилия F_m . Характер его изменения в значительной степени зависит от формы и исполнения основных магнитопроводов, а также от условий рассеяния магнитного потока. Характеристика $F_m = f(x)$ может быть получена расчетом или испытанием выполненной магнитной системы. Как правило, она может быть выражена зависимостью

$$F_m \approx \left(\frac{c + x}{c + x_{\max}} \right)^2 F_{m \max}$$

Здесь c — постоянная, зависящая от величины первоначального зазора между сердечником и якорем;

$F_{m \max}$ — наибольшее усилие в том случае, когда якорь притянут к сердечнику магнитной системы.

Тяговая характеристика электромагнитного привода значительно менее благоприятна, чем тяговая характеристика пневматического



Фиг. 33. Тяговая характеристика индивидуального
контактора с электромагнитным приводом

Таблица 10

Основные конструктивные данные электропневматических вентилях

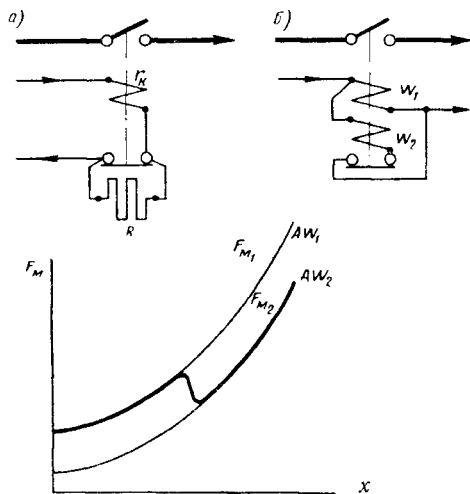
Показатель	Вентили включающего типа			Рентили выключающего типа
	ВВ-1	ВВ-2	ВВ-3	В КВ-1
Номинальное давление в ат	5	5	5	5
Максимальное » » »	7	7	7	7
Зазор между якорем и сердечником в мм	2,2	2,2	2,2	2,6
Не возбужденный	1,3±0,1	1,3±0,1	1,3±0,1	1,3±0,1
Возбужденный	0,9±0,05	0,9±0,05	1,3±0,05	0,9±0,05
Ход клапана в мм	800	800	800	800
Испытательное напряжение в в	800	800	9 500	800
Рабочее напряжение в в	30—75	30—60	30—60	30—60
Ток срабатывания в а	0,085	0,085	0,21	0,092

привода. Величину F'_K приходится принимать большей, чем это необходимо по условиям нормального нажатия контактов для получения достаточного тягового усилия в начальный момент (при $x=0$).

Избыточное усилие магнитного привода

$$F_y = F_m - (\Sigma F_m + G) - \Sigma F_{np},$$

ускоряющее подвижную систему контактора, в момент замыкания контактов быстро парастает, создавая жёсткий удар рабочих контактов.



Фиг. 34. Саморегулирование тягового усилия электромагнитных контакторов

При значительной массе подвижной системы это может сопровождаться последующим размыканием контактов по закону упругого удара твёрдых тел. Для устранения такого явления необходимо снижение массы деталей подвижной системы, а иногда саморегулирование тягового усилия подъёмной катушки. Последнее применяется в крупных электромагнитных контакторах. На фиг. 34 представлены обычно применяемые схемы саморегулирования тягового усилия электромагнитных контакторов; так схема *a* представляет включение в цепь подъёмной катушки последовательного сопротивления R блокировкой самого контактора.

В этом случае намагничивающая сила привода изменится в следующем отношении:

$$\frac{Aw_2}{Aw_1} = \frac{r_K}{R + r_K},$$

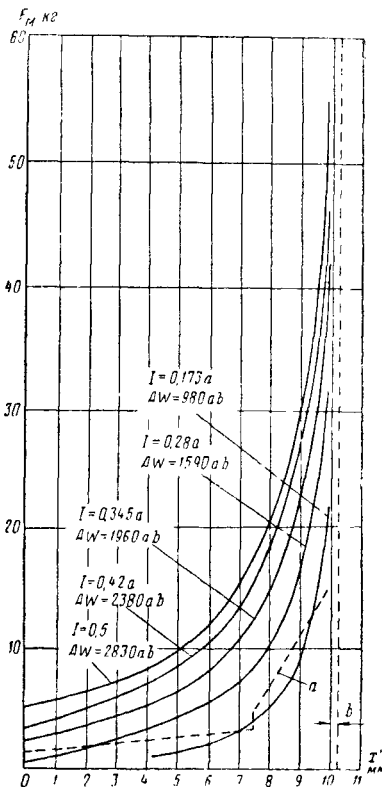
где Aw_1 и Aw_2 — намагничивающая сила до и после включения в цепь катушки сопротивления R ; r_K — сопротивление катушки.

Меньшей HC в данной магнитной системе соответствуют и меньшие значения F_{m_2} при тех же значениях x , как это представлено на диаграмме. Так как размыкание блокировочных контактов происходит где-то посередине хода X , работа магнитной системы начинается по характеристике F_{m_1} , дающей более высокие значения тягового усилия, и заканчивается по характеристике F_{m_2} . Схема *b* представляет

другой способ саморегулирования путём отключения блок-контактом одной из частей обмотки подъёмной катушки контактора, разделённой в этом случае на две части. При этом соотношение HC будет

$$\frac{Aw_2}{Aw_1} = \frac{w_1}{w_1 + w_2} \approx \frac{r_1}{r_1 + r_2},$$

где w_1 , r_1 и w_2 , r_2 — числа витков и соответственно сопротивления частей обмотки 1 и 2. В этом случае переход с одной тяговой характеристики на другую происходит так же, как показано на диаграмме. В качестве примера на фиг. 35 представлены тяговые характеристики контактора МК-310 при различных токах подъёмной катушки.



Фиг. 35. Тяговые характеристики контактора МК-310: x' — ход якоря; a — суммарные силы сопротивления движению; b — диамагнитная прокладка толщиной 0,3 мм

Электропневматические индивидуальные контакторы

Электропневматические индивидуальные контакторы на магистральном ЭПС имеют преимущественное распространение перед электромагнитными. Основные конструктивные данные их приведены в табл. 11 и 12.

В качестве примера на фиг. 36 представлен контактор ПК-301. Здесь 1 — кронштейн неподвижного контакта 2 с дугогасительной катушкой 3, имеющей стальной сердечник 4. Кронштейн 1, так же как и кронштейн 5 подвижного контакта, укреплен на изолированном стержне 6 с помощью зажимных болтов 7.

Таблица 11

Основные конструктивные данные электропневматических контакторов

Показатель	Тип контактора					
	ПК-301, 302, 303	ПК-305	ПК-306	ПК-304	ПК-151А	ПК-750
Номинальное напряжение в в	3 000	3 000	3 000	3 000	1 500	825
Длительный ток в а	350	400	220	350	750	500
Часовой ток в а	525	600	320	525	1 100	—
Раствор контактов в мм	24—27	24—27	24—27	24—27	24—27	15—17
Притирание контактов в мм	4,0—5,5	4,0—5,5	4,0—5,5	4,0—5,5	4,0—6,0	8—11
Нажатие контактов при давлении воздуха 5 ат в кг	27—32	39—42	4,2—5	27—32	56	56
Диаметр цилиндра в мм	45	45	58	58	58	58
Вес контактора в кг	27	—	—	26	32	28
Ширина контакта в мм	20	20	20	20	32	—
Давление воздуха в цилиндре для касания контактов в ат	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Давление воздуха для притирания контактов в ат	3,2	3,5	3,6	3,2	3,5	3,4
Давление воздуха при оттирании контактов в ат	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,6
Отключение контактов при давлении в ат	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
Испытательное напряжение в в	8 750	8 750	8 750	8 750	8 750	2 500

Таблица 12

Основные конструктивные данные электропневматических контакторов завода НЭВЗ

Показатель	Типы контакторов			
	ПК06-ПК11	ПК14-ПК19	ПК21-ПК26	ПК31-ПК36
Номинальное напряжение в в	3 000	3 000	3 000	3 000
Напряжение испытательное в в	9 500*	9 500*	9 500*	9 500*
Номинальное давление в кг/см ²	5	5	5	5
Минимальное давление в кг/см ²	3,5	3,5	3,5	3,5
Длительный ток в а	350	350	500	500
Раствор контактов в мм	24—26	24—26	24—27	24—27
Притирание контактов в мм	10—12	10—12	10—12	10—12
Нажатие контактов рабочее в кг	13—15	13—15	13—15	13—15
Нажатие контактов начальное в кг	4—5	4—5	4—5	4—5

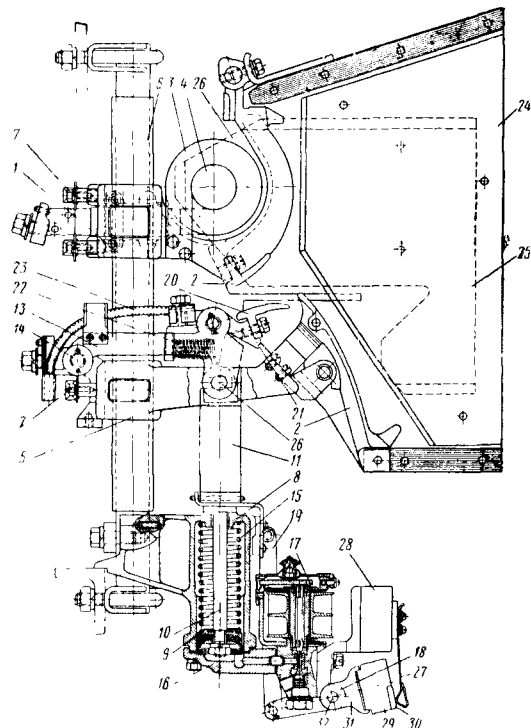
* Испытательное напряжение между контактами 4 500 в.

В нижней неизолированной части стойки 6 к ней прикреплён литой чугунный цилиндр воздушного привода контактора 8. Шток 10 поршня 9 этого цилиндра с помощью изоляционной тяги 11 и валика 12 связан с рычагом подвижного контакта 13. При выходе штока поворот рычага осуществляется относительно валика 14.

Размыкается контактор с помощью возвратной пружины 15.

Нижняя часть воздушного цилиндра 8 закрыта крышкой 16, к которой крепятся электропневматический вентиль 17 и механизм электрической блокировки 18. Привод этого механизма осуществляется от штока 10 с помощью шарнирной тяги 19. Главный подвиж-

ный контакт 20 укреплен на держателе 21, который в свою очередь поворачивается на валике относительно рычага 13 при воздействии притирающей пружины 22. Держа-



Фиг. 36. Контактор ПК-301

тель 21 соединён электрически с зажимом на кронштейне 5 посредством гибких шунтов 23. Дугогашение происходит в съёмной дугогасительной камере 24, магнитное поле в которой создаётся полюсными щеками 25. Верх-

ний дугогасительный рог является составной частью кронштейна 1. Нижний дугогасительный рог 26 является составной частью дугогасительной камеры 25.

Собственное время замыкания электропневматического контактора определяется с момента подачи напряжения на катушку вентилля до момента полного замыкания контактов и зависит от давления сжатого воздуха. Время размыкания определяется с момента прекращения питания катушки вентилля до момента полного размыкания контактора и от давления воздуха не зависит.

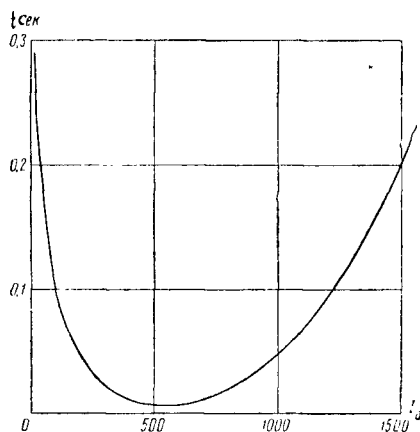
В табл. 13 показано время замыкания и размыкания при различных давлениях воздуха для контактора ПК-301.

Таблица 13

Время замыкания и размыкания для контактора ПК-301

Давление в цилиндре в кг/см ²	Время замыкания в сек.	Время размыкания в сек.
5	0,12	0,2
3,5	0,57	0,2

Диаграмма дугогашения для контактора ПК-301, полученная опытным путём, представлена на фиг. 37.



Фиг. 37. Диаграмма дугогашения контактора ПК-301, $U_c = 1750$ в с индуктивностью в размыкаемой цепи

Электропневматические контакторы, как правило, используются в качестве линейных, работа которых особенно тяжела при отсутствии в силовой цепи быстродействующей защиты, что обычно свойственно моторвагонному ЭПС. Для того чтобы обеспечить в этом случае размыкание очень больших мощностей короткого замыкания или перегрузки, в цепь вводятся последовательно два контактора и более.

При напряжении контактной сети до 1 000 в разрыв электрической дуги осуществляется двумя контакторами, при напряжении до 2 000 в — тремя и 3 000 в — четырьмя.

При этом каждый из последовательно включённых контакторов должен быть в состоянии разомкнут, без участия других, ток перегрузки при номинальном напряжении.

Электромагнитные индивидуальные контакторы

Электромагнитные индивидуальные контакторы применяются на ЭПС преимущественно для управления вспомогательными цепями.

Основные конструктивные данные некоторых контакторов приведены в табл. 14 и 15. Электромагнитные контакторы характеризуются большим разнообразием конструктивных форм, в ряде случаев повторяя соответствующие контакторы с электропневматическим приводом.

Таблица 14

Основные конструктивные данные электромагнитных контакторов

Показатель	Тип контактора			
	МК-310	МК-604	ДБ-928	КВЦ-2*
Номинальное напряжение в в	3 000	600	1 500	3 000
Длительный ток в а	50	100	40	75
Часовой ток в а	75	125	60	—
Расстояние контактов в мм	30—34	14—17	17,5—20,5	10÷13
Притирание контактов в мм	7—9	5—6,5	5—7	4—6
Начальное нажатие контактов в кг	0,8—1,3	0,7—1,1	0,6—1,0	2—3
Конечное нажатие в кг	1,8—2,7	1,6—2,3	1,5—2,2	3,5—4,5
Вес контактора в кг	20	5	3	47
Ширина контактов в мм	16	16	13	—

* Контактор двойной

Таблица 15

Основные данные подъёмных катушек электромагнитных контакторов

Тип контактора	Марка провода	Диаметр по меди в мм	Число витков	Сопротивление при 20°С в ом
ДБ-928А-6	ПЭЛ	0,41	5 000	95
МК-310Б	ПЭЛ	0,53	4 750	61
МК-300	ПЭЛ	0,53	2 800	33,7
МК-604Б-5	ПЭЛ	0,41	4 500	83

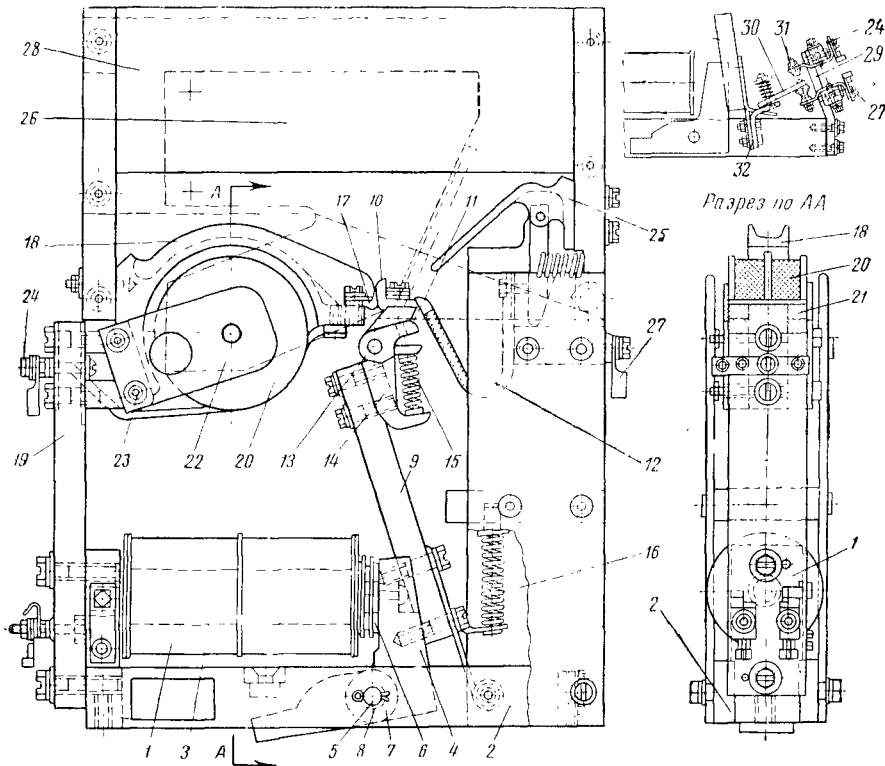
На фиг. 38 изображен распространённый контактор типа МК-310. Магнитная цепь его привода включает стальное основание 2, сердечник 3 и якорь 4, поворачивающийся вокруг оси 5. Подъёмная катушка 1 насажена на сердечник 3. Для предотвращения прилипания якоря на нём закреплена медная прокладка 6 и, кроме того, ось 5 проходит в латунных втулках 8, а между якорем 4 и стенками основания 2 установлены латунные шайбы 7. К якорю болтами закреплён текстолитовый рычаг 9 подвижного контакта, на конце которого болтами закреплён кронштейн 14

подвижного контакта 10. Контакт 10 установлен в держателе 11, поворачивающемся на пальнике 13. Держатель 11 поджимается притирающей пружиной 15. Рычаг подвижного контакта отжимается выключающей пружиной 16.

Неподвижный контакт 17 укреплен на литом латунном дугогасительном роге 18, являющемся одновременно держателем контакта. Держатель укреплен на изоляционной текстолитовой стойке 19. Дугогасительная

двигательная (0,11 сек.); t_2 — с момента начала движения контактов до момента их соприкосновения (0,07 сек.), t_3 — с момента выключения напряжения питания подъемной катушки до начала расхождения контактов (0,1 сек.), t_4 — с момента начала расхождения контактов до момента полного размыкания контактора (0,036 сек.).

В табл. 16 приведены некоторые данные по дугогашению контактора МК-310Б, полученные опытным путем.



Фиг. 38. Электромагнитный контактор МК-310

катушка 20 и сердечник катушки 21 прикреплены к рогу 18 полюсными щеками 22 и болтами 23. Дугогасительная камера 28, имеющая магнитные полюсные щеки 26, снабжена рогом подвижного контакта 25. В зависимости от назначения контактора камеры выполняются одно- и трёхщелевыми. Контакторы МК-310 выполняются как без блокировки, так и с блокировками цепей управления.

На фиг. 38 устройство блокировки контактора представлено отдельно. Здесь 29 — колодка блокировочных пальцев, обычно с серебряными контактами 31. Замыкание блокировочных контактов осуществляется молотком 30, пружинно закрепленным на кронштейне 32 рычага 9 якоря 4. Внешние провода присоединяются к контактору через наконечники 24 и 27.

Процесс замыкания и размыкания контакторов МК-310 определяется в среднем следующими собственными временами: t_1 — с момента подачи напряжения на подъемную катушку контактора до начала движения по-

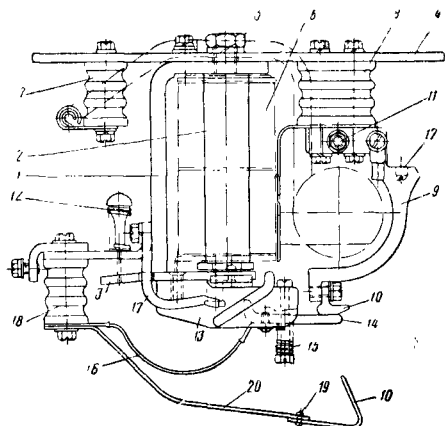
На фиг. 39 представлена конструкция электромагнитного контактора типа ДБ-928. Магнитная система контактора состоит из стального ярма 1, сердечника 2 и якоря 3. Сердечник скреплен с ярмом и стальной планкой 4, на которой собирается весь контактор, болтом 5. Затяжкой этого болта также закрепляется подъемная катушка 6. Кроме того, к планке с помощью болтов прикреплены ребристые пластмассовые изоляторы 7 и 8, первый из которых служит для расположения вывод-

Таблица 16

Данные дугогашения контактора МК-310Б

Ток в силовой цепи в а	Время горения дуги в сек.	Наличие индуктивности в цепи
25	0,2	Имеется
80	0,098	»
250	0,078	Не имеется

ного зажима контактора, а второй является опорой держателя 9 неподвижного контакта 10. Держатель служит не только для укрепления контакта, но одновременно выполняет роль дугогасительного рога. Во внутренней части



Фиг. 39. Контактёр ДБ-928 (без дугогасительной камеры)

держателя располагается прикрепляемая болтом 11 дугогасительная катушка. Якорь входит в вырез кронштейна 17 и оттягивается от сердечника выключающей пружины 12. На якорь укреплен изолятор 13, являющийся держателем подвижного контакта 14 с притирающей пружины 15. Подвижной контакт включается в силовую цепь с помощью гибкого шунта 16, конец которого прикреплен к изолятору 18. К этому же изолятору прикреплен дугогасительный рог 19 подвижного контакта, состоящий из латунного дугонаправляющего наконечника 10 и пружины 20. Последняя служит также для закрепления съемной дугогасительной камеры.

В табл. 17 приведены основные данные дугогасительных катушек некоторых электромагнитных контакторов.

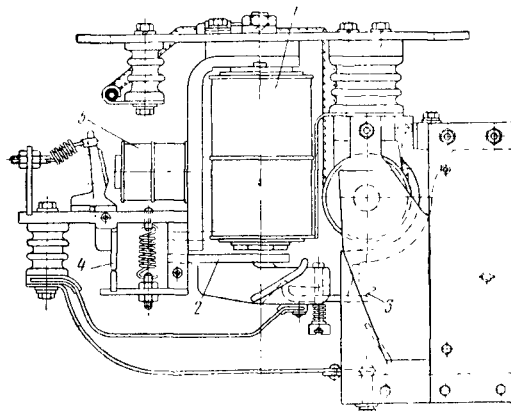
Таблица 17

Основные данные дугогасительных катушек электромагнитных контакторов

Тип контактора	Номинальный ток в а	Размеры голого провода в мм	Число витков	Сопротивление при 20°C в ом
МК-310Б/А-3	7	∅ 1,63	252	0,415
МК-301Б/А-4	12	∅ 2,26	160	0,143
МК-300А-1	50	4,2×4,2	23	0,0048
МК-300А-2	20	∅ 2,83	54	0,03
МК-300А-3	2	∅ 0,93	450	2,26
МК-300А-4	8	∅ 1,63	150	0,239
МК-300А-5	1,5	∅ 0,69	736	7,12
МК-310А-1	25	8,5 мм ²	76	0,032
МК-310 А/В-2	50	16,2 »	40	0,0085
МК-310А Б-5	3	0,91 »	300	2,42
МК-604Б-5	20	∅ 2,1	36	0,015

Одной из разновидностей электромагнитных контакторов являются контакторы импульсного действия, не требующие постоянного питания подъемных катушек для поддержания контактора в замкнутом положении. Это имеет особенно существенное значение для моторвагонных секций, работающих по системе многих единиц.

В качестве примера такого контактора на фиг. 40 представлен контактор МКИ-150. Этот контактор по своему устройству сходен с контактором ДБ-928. При кратковременном возбуждении подъемной катушки 1 притягивается якорь 2, что вызывает замыкание контактов 3. Притянутый к сердечнику якорь запирается в этом положении защелкой 4. При этом контакты остаются замкнутыми после того, как прекратится возбуждение подь-



Фиг. 40. Контактёр МКИ-150 и импульсного действия

емной катушки. Для размыкания контактора необходимо кратковременное возбуждение выключающей катушки 5. При этом притягивается её якорь, связанный с защелкой, и последняя освобождает якорь 2.

Групповой привод

Применение индивидуальных контакторов связано со значительным усложнением электрической схемы управления. При них единственным методом осуществления определенной последовательности работы схемы является применение большого числа электрических блокировок. Там, где возможно, стремятся заменить электрические блокировки более надёжными и простыми механическими связями. Такие связи обеспечиваются системами с групповым приводом контакторов.

В системах с групповым приводом замыкание и размыкание отдельных контакторов или переключающих устройств осуществляется одним общим кулачковым валом или барабаном. Этим достигается необходимая последовательность в работе контакторов. Упрощается и конструкция самих контакторов, но усложняется конструкция привода.

По характеристикам своей работы приводы групповых переключателей подразделяются на двухпозиционные, трёхпозиционные и многопозиционные, а по видам движущей энергии — на механические, приводимые в действие вручную или от каких-либо устройств ЭПС с помощью механической передачи; электропневматические, приводимые в действие сжатым воздухом при электрическом дистанционном управлении; гидравлические, сходные с электропневматическими по принципу работы, но с применением жидкости в

движущих органах; электродвигательные, приводимые в действие электродвигателем управления; электромагнитные, приводимые в действие электромагнитными устройствами.

По направлению вращения и обратимости приводы (особенно многопозиционные) подразделяются на односторонние и двусторонние. Принцип работы современных групповых приводов тяговой аппаратуры основывается на придании вращательного движения валу, связанному с переключающими элементами аппарата. Для аппаратов, не производящих размыкания силовой цепи при наличии тока, вал привода зачастую непосредственно связывается с барабаном пальцевого переключателя. Наиболее широкое распространение имеют групповые приводы с кулачковыми валами, снабжёнными профильными кулачковыми шайбами. Мощность привода и развиваемый им вращающий момент или усилие определяются исходя из нагрузок, создаваемых контакторами (контакторными элементами).

Возможны три различных режима работы в процессе переключения контакторного элемента:

1) набегание включающего ролика контакторного элемента на подъём кулачковой шайбы, что соответствует обычно замыканию рабочих контактов;

2) поворот кулачка при включённом контакторном элементе (перекатывание включающего ролика по поверхности кулачковой шайбы);

3) сбегание включающего ролика контакторного элемента по сходящей поверхности кулачковой шайбы, что обычно соответствует размыканию контактов контакторного элемента.

При первом режиме будут действовать два момента:

$$M_k \text{ и } M_{тр}.$$

Здесь M_k — момент включения контакторного элемента,

$M_{тр}$ — момент трения, зависящий от μ_p — коэффициента трения между роликом и кулачком.

Таким образом, на первой фазе момент контакторного элемента, который должен преодолевать привод, равен

$$M_{пк} = M_k + M_{тр}.$$

Во второй фазе будет иметь место лишь момент от силы трения ролика по поверхности кулачковой шайбы:

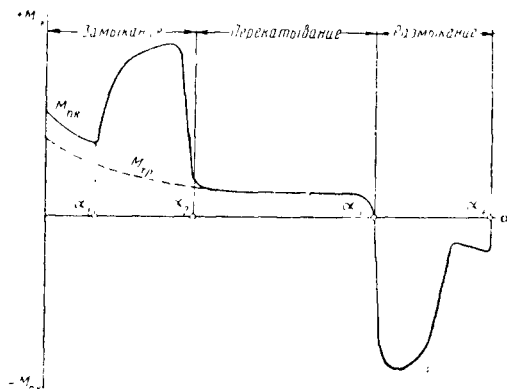
$$M_{пк} = M_{тр}.$$

Наконец, на третьей фазе будет иметь место то же соотношение, что и в первой, той лишь разницей, что в связи с изменением угла наклона первый член уравнения примет отрицательное значение:

$$M_{пк} = M_{тр} - M_k.$$

Величины $M_{тр}$ и M_k не являются постоянными; их текущее изменение зависит от конструкции контакторного элемента и принятого профиля кулачковой шайбы. В качестве примера на фиг. 41 приведён график изменения величины $M_{пк}$ в течение всех трёх фаз работы контакторного элемента. Здесь учтены следующие

участки поворота кулачковой шайбы: $0 - \alpha_1$ — от момента соприкосновения ролика с профильной поверхностью кулачка до момента касания главных контактов контакторного элемента; $\alpha_1 - \alpha_2$ от момента соприкосновения главных контактов до момента окончательного замыкания контакторного элемента; $\alpha_2 - \alpha_3$ — перекатывание ролика по цилиндрической поверхности кулачковой шайбы; $\alpha_3 - \alpha_4$ — размыкание контакторного элемента.



Фиг. 41. Диаграмма момента сопротивления контакторного элемента

Общий момент от нескольких контакторных элементов будет:

$$M_{пс} = K_z \sum M_{пк}.$$

Здесь K_z — коэффициент запаса, принятый обычно не ниже 1,5;

$\sum M_{пк}$ — сумма моментов сопротивления отдельных контакторных элементов при любом угле поворота кулачкового вала.

Для снижения величины необходимого усилия или момента привода и повышения чёткости его работы рекомендуется предусматривать, по возможности, постоянную их величину. Это достигается за счёт включения и выключения одинакового числа контакторных элементов на каждой позиции и, в случае необходимости, за счёт некоторого смещения включения отдельных контакторов в пределах одной позиции. Пример такой группировки контакторных элементов представлен на фиг. 42. В частности, при переходе с позиции $n + 1$ на позицию $n + 2$ смещено включение контактора 4 относительно контактора 3, хотя оба контактора окончательно включаются на одной и той же позиции $n + 2$. В результате этого вращающий момент M_n между позициями $n + 1$ и $n + 2$ сглаживается. При этом, конечно, должна предусматриваться невозможность возникновения вредных паразитных контуров в электрической цепи при неодновременном переключении контакторов.

Для определения необходимого вращающего момента приводов в расчёт должно приниматься наибольшее значение момента группового переключателя. В данном случае такой величиной будет значение $M_{п макс}$. Привод должен развивать момент, превышаю-

щий момент $M_{n \text{ макс}}$. Так, например, в случае пневматического привода с зубчатой передачей между кулачковым валом и воздушными цилиндрами усилие, приложенное к зубчатому колесу вала F_{np} , определится:

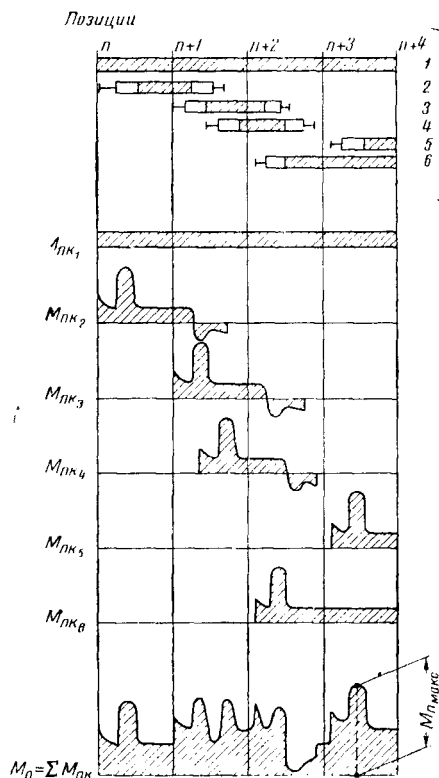
$$F_{np} = F_a - F_{mц} = p \frac{\pi d^2}{4} - F_{mц},$$

где F_a — усилие, развиваемое воздушным цилиндром привода;

p — давление сжатого воздуха в кг/см^2 ;

d — диаметр цилиндра привода в см ;

$F_{mц}$ — сила трения в системе воздушных цилиндров.



Фиг. 42. Диаграмма момента вращения группового привода

Момент M_n , приложенный от привода к кулачковому валу, определяется из следующего соотношения:

$$M_n = \frac{D_3}{2 \cdot 10} F_{np} = \frac{D_3}{20} (F_a - F_{mц}) \text{ кг/см},$$

где D_3 — диаметр зубчатого колеса (или условный диаметр зубчатого сектора) на кулачковом валу привода в мм .

При этом должно иметь место также соотношение

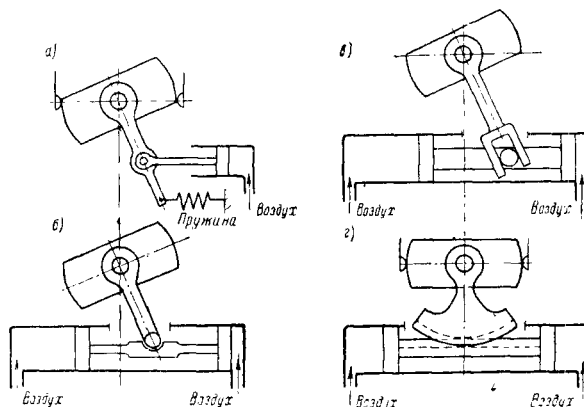
$$M_n > M_{nc} = K_3 \sum M_{пк} \text{ кг/см}.$$

Как правило, M_n должно несколько превышать M_{nc} с тем, чтобы обеспечить первоначальное ускорение системы.

Однако это превышение должно быть сравнительно невелико, так как значительная ве-

личина угловых ускорений не способствует четкой фиксации группового контактора на позициях. Кроме того, наличие больших угловых ускорений, которые вызывают значительные неуравновешенные инерционные усилия, в конечном счете приводит к разрегулировке и быстрому износу деталей и узлов системы. Необходимая величина ускорения, обеспечивающая четкую работу, не поддается точному расчету и, как правило, устанавливается регулировкой.

На фиг. 43 представлены принципиальные схемы двухпозиционных пневматических приводов для групповых контакторов и переключателей. Привод *a* с цилиндром одностороннего действия. Перемещение поршня осуществляется под действием сжатого воздуха, а возврат, при прекращении подачи воздуха, — усилием пружины.



Фиг. 43. Схемы двухпозиционных пневматических приводов

Приводы *б*, *в* и *г* имеют двусторонние цилиндры, отличающиеся соединением поводка кулачкового вала или барабана со штоком поршней. Исполнения *б* и *в* обладают некоторым непостоянством момента.

Преимущество двухцилиндровых приводов по сравнению с одноцилиндровыми состоит в том, что они не требуют постоянного питания сжатым воздухом, а их поршни не преодолевают усилия возвратной пружины.

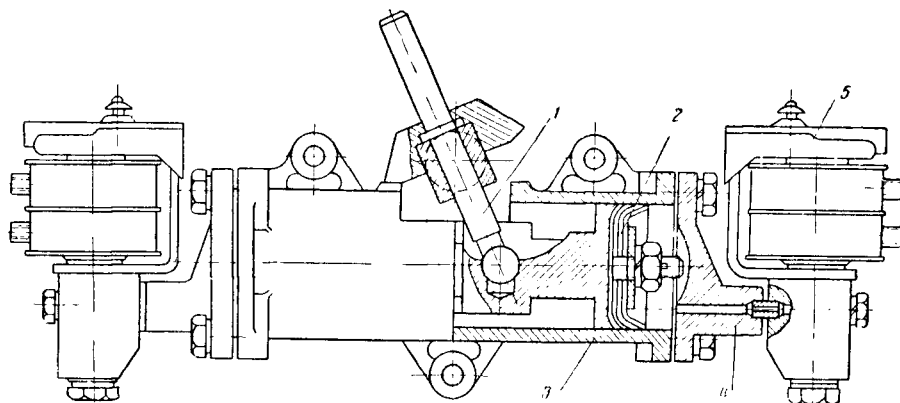
Привод исполнения *a* применяется из-за своей неуравновешенности сравнительно редко. Остальные типы приводов имеют почти одинаковое распространение. В качестве конструктивного примера выполнения варианта *б* на фиг. 44 представлен привод реверсора и переключателя напряжения типа ПКГ-321А-1 моторвагонов серии СР.

На фиг. 45 дан двухпозиционный электромагнитный привод. Для получения одной из двух позиций включения необходимо возбуждение одного из двух электромагнитов. Электромагнитные приводы этого типа применяются сравнительно редко в связи с тем, что для создания необходимого усилия переключения при достаточном повороте кулачкового вала или барабана, требуется очень высокая намагничивающая сила катушек.

Трёхпозиционные приводы выполняют или со специальной системой цилиндров или аналогично многопозиционным приводам. На более широкое распространение имеют си-

циальные воздушные системы цилиндров. В качестве примера на фиг. 46 представлена схема привода группового контактора ПКГ-305 шен-

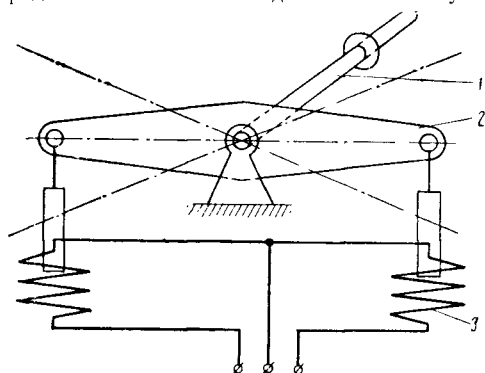
В качестве пневматического многопозиционного привода двустороннего вращения может быть рассмотрен привод типа ПКГ-162 мотор-



Фиг. 44. Привод реверсора и переключателя напряжений ПКГ-321 А-1: 1 — поводок; 2 — поршень; 3 — цилиндр; 4 — крышка цилиндра; 5 — электропневматический вентиль

стных электровозов. Привод состоит из четырёх цилиндров и управляется четырьмя электропневматическими вентилями. Оба крайних положения привода I и III достигаются впуском сжатого воздуха в один из цилиндров верхней пары. Поршни этой пары (А или Г) связаны между собой жёсткой зубчатой рейкой. Среднее положение II достигается впуском

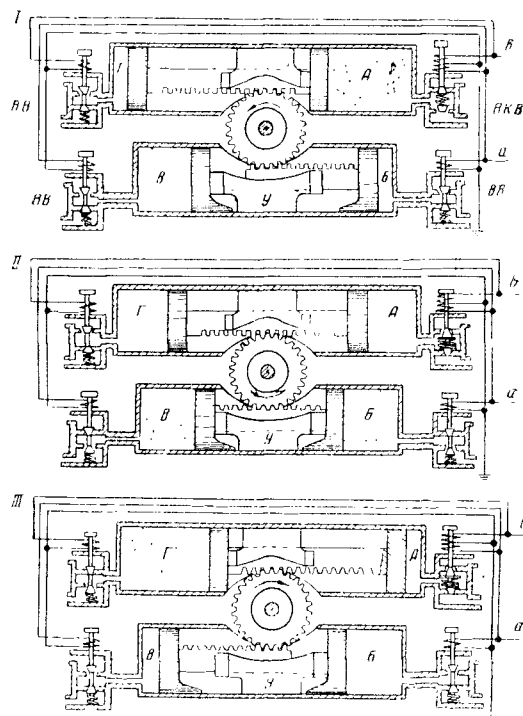
ных вагонов серии Сд. Работа привода (фиг. 47) основывается на принципе постоянного уравнивания давлений в двух механически



Фиг. 45. Схема двухпозиционного электромагнитного привода: 1 — кулачковый вал; 2 — балансир; 3 — электромагниты

воздуха в оба нижних цилиндра Б и В. Поршни этих цилиндров не связаны между собой жёстко. Рейка этой пары цилиндров лежит на упоре У. Её фиксация в среднем положении осуществляется поршнями Б и В, упирающимися в упор У.

Многопозиционные приводы групповых переключателей бывают двустороннего и одностороннего вращения (действия). Приводы одностороннего вращения более распространены при автоматических системах управления и, в частности, системах управления моторными вагонами. Приводы двустороннего вращения применяются как для моторных вагонов, так и для электровозов. Наиболее широко используются два вида многопозиционных групповых приводов: пневматические и электродвигательные.



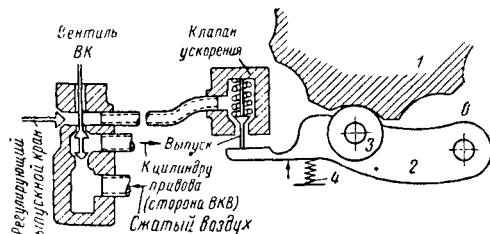
Фиг. 46. Схема действия трёхпозиционного привода ПКГ-305

связанных (общим штоком) пневматических системах. Кроме самого пневматического привода, на схеме представлены развёртки барабана управления контроллера машиниста, и блокировочного барабана группового контроллера. Один из вентиля привода — включающего действия ВВ, другой — выключающего ВКВ. Применение таких вентиля обеспечивает автоматический переход

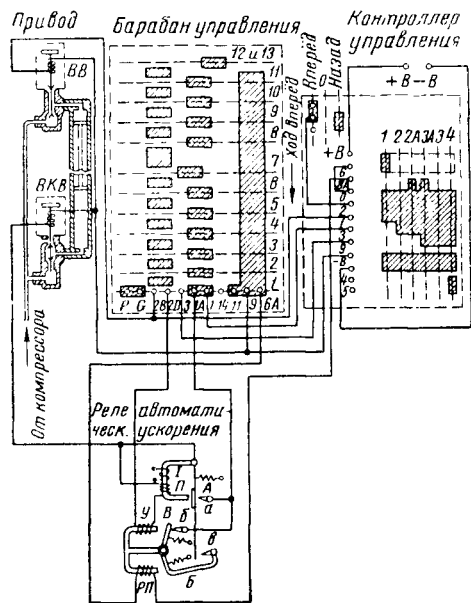
системы в нулевое положение при снятии тока управления. В этом положении сжатый воздух, проходя в цилиндр через невозбуждённый клапан ВКВ, удерживает переключатель в исходном положении. Если контроллер машиниста переводится в первое положение, будет осуществляться питание по проводу 2 катушки ВВ. Однако это не вызовет движения привода, поскольку здесь будет обеспечено лишь уравнивание воздушных давлений с обеих его сторон. При переводе контроллера машиниста на вторую позицию возбуждается провод 1, и катушка вентиля ВКВ вызывает выпуск воздуха из цилиндра, а следовательно, вращение привода в сторону включения системы. В промежутке между позициями 1 и 2

к поверхности кулачковой шайбы 1, даёт возможность рычагу 2 осуществлять нажатие на выпускной золотник клапана ускорения.

На фиг. 49 приведена схема воздушного привода с масляным демпфером реостатного



Фиг. 48. Клапан ускорения ПКГ-162А



Фиг. 47. Схема действия привода группового контроллера ПКГ-162А

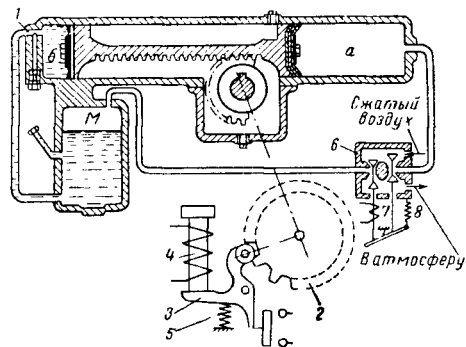
замыкаются блокировочные пальцы 2В-2Д и вслед за тем размыкаются пальцы 1-1А. Этим в цепь питания катушки ВКВ включаются последовательно катушки реле автоматического пуска П и У. Происходящее при этом снижение тока катушки не вызывает выключения вентиля ВКВ, но недостаточно для того, чтобы включить его вновь. Возбуждение обмотки П prepares к работе магнитную систему реле ускорения, в частности, вызывает размыкание его контакта.

При размыкании пальцев 2В-2Д цепь тока катушки ВКВ полностью разрывается, что вызывает торможение привода.

Недостатком подобной системы является возможность нарушения в ней равновесия усилий, что повлечёт нечёткую фиксацию позиций. В качестве меры улучшения фиксации позиций в групповом переключателе ПКГ-162А применяется клапан ускорения (фиг. 48), предназначенный для ускорения выпуска воздуха из цилиндра привода. Это достигается тем, что при переходе позиций ролик 3 рычага 2 под воздействием пружины 4, прижимаясь

контроллера ПКГ-754 моторных вагонов типа Г Московского метрополитена.

Привод имеет два цилиндра: а и б, поршни которых связаны зубчатой рейкой. Цилиндр б заполняется маслом, поступающим из камеры М, в которую подводится сжатый воздух. Скорость подачи масла в цилиндр, а следовательно, и скорость работы привода регулируется с помощью винта 1 в калиброванном отверстии цилиндра. Для перемещения зубчатой рейки привода влево сжатый воздух подаётся в цилиндр а. Масло при этом вытесняется из цилиндра б в резервуар М, воздух из которого уходит в атмосферу. Для обратного направления перемещения привода сжатый воздух подаётся в камеру М, а из камеры а выпускается в атмосферу. Управление приводом осуществляется с помощью двойного электропневматического клапана б.



Фиг. 49. Схема гидравлического привода реостатного контактора ПКГ-754

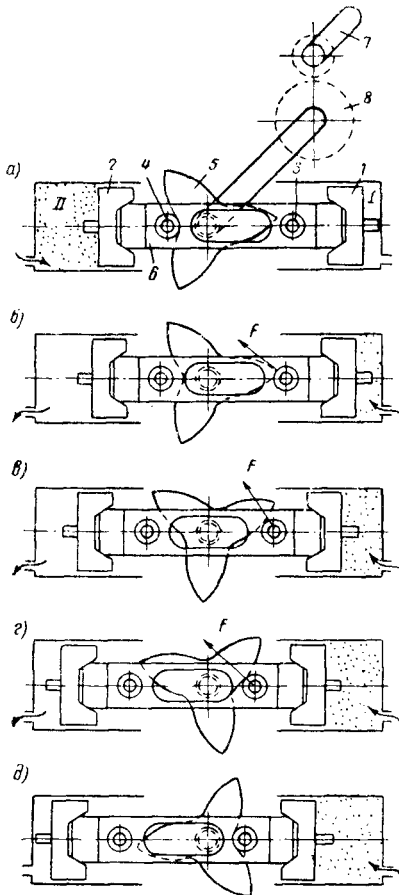
Перемещения двух золотников клапана происходят под действием одной подъёмной катушки 7 и возвратной пружины 8.

Фиксация привода выполняется электромагнитным стоп-механизмом, состоящим из храпового колеса 2 на главном валу, рычага 3 с фиксирующим роликом, электромагнита 4 и пружины 5. Привод фиксируется заклиниванием храпового колеса 2 роликом рычага 3 под воздействием электромагнита 4.

Преимущество гидравлического привода в том, что несжимаемая жидкость способствует более чёткой фиксации положений и имеется

возможность более точного регулирования скорости вращения вала. Вместе с тем приводу свойственны и значительные недостатки, такие, как трудность создания уплотнений для жидкости, изменение вязкости жидкости с изменением её температуры и некоторые другие.

На фиг. 50 представлен привод одностороннего вращения, предложенный проф. Л. Н. Решетовым. Каждой позиции группового контроллера соответствует один полный ход поршней 1 и 2 в цилиндрах I и II. Поэтому для



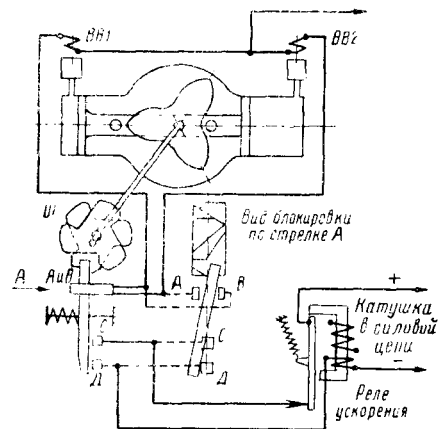
Фиг. 50. Схема действия многопозиционного привода Л. Н. Решетова

работы 4 привода, необходим попеременный пуск воздуха в цилиндр I или II при одновременном выпуске его из другого цилиндра.

Как ясно из схемы, звезда 5 под действием роликов 3 и 4 на штоке-планке 6 в продолжение каждого хода поворачивается на угол $\alpha = 60^\circ$. Одностороннее вращение привода определяется асимметрией лучей его основного рамового механизма — звезды. Углы поворота α_n между позициями кулачкового вала 7 должны быть точно равны между собой. Они определяются передаточным отношением зубчатой передачи между валом привода 8 и кулачковым валом 7:

$$i = \frac{\alpha}{\alpha_n} = \frac{60}{\alpha_n}.$$

Конструкция привода требует обязательного целого числа позиций в полной окружности поворота кулачкового вала. Чёткость фиксации позиций достигается как применением полного хода привода на одну позицию, так и тем, что звезда 5 фиксируется в крайних положениях поршней 1 и 2 западанием роликов 3 или 4 во впадины между её лучами. Последовательность включения электропневматических вентилей обоих цилиндров привода обеспечивается применением специальной электромеханической блокировки, показанной на фиг. 51. Профильная шайба III при каждом ходе привода переключает цепь тока управления, замыкая попеременно контакт C с контактом A или B и включая то катушку вентилей ВВ1, то катушку ВВ2. Для включения вентилей, кроме замыкания соответствую-



Фиг. 51. Схема действия блокировки вентилей привода Л. Н. Решетова

ющих блокировочных контактов, необходимо ещё отпадение якоря реле ускорения, что выполняет та же блокировочная система.

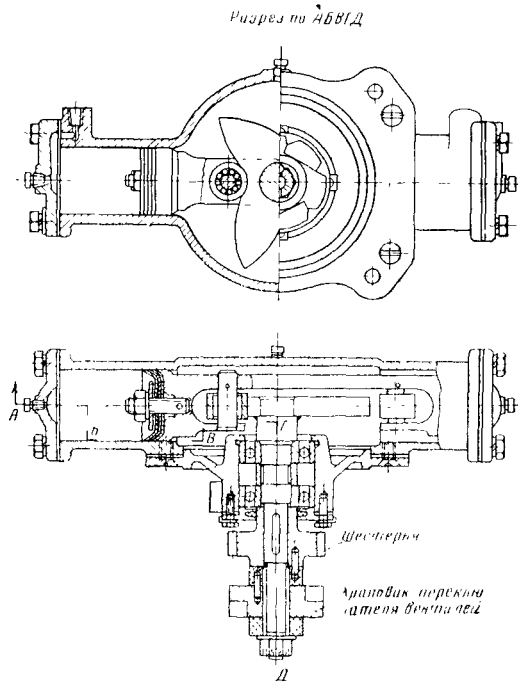
Конструкция привода проф. Л. Н. Решетова представлена на фиг. 52. Для снижения потерь трения в приводе и повышения точности взаиморасположения отдельных его деталей вал звезды вращается в шариковых подшипниках. Для роликов звезды применены игольчатые подшипники. Звезда находится в литом кожухе, заполненном смазкой.

В системах с плавным межпозиционным регулированием получают большое распространение электродвигательные приводы и приводы с быстроходными пневматическими двигателями. Электродвигательные приводы выполняются как с односторонним, так и с двусторонним вращением.

В связи с высокой скоростью вращения двигателя величина передаточного отношения весьма значительна (до 150). Это затрудняет фиксацию положений привода на позициях.

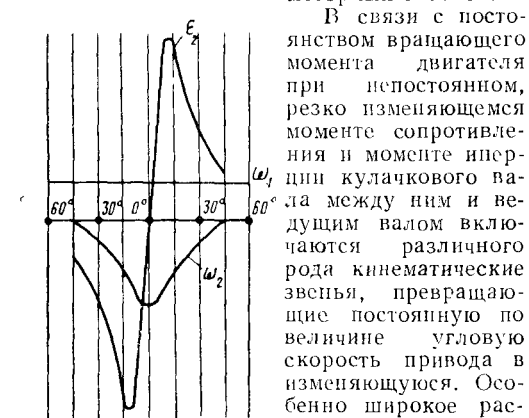
Для обеспечения фиксации положений привода при небольших (до 25) передаточных отношениях и преимущественно двустороннем вращении приводы выполняются с выключением двигателя на каждой позиции. При значительных передаточных отношениях и преимущественно одностороннем вращении приводы осуществляются с непрерывно включённым

двигателем, но с переключениями специальной муфтой, которая или соединяет передачу с кулачковым валом или отъединяет от него.



Фиг. 52. Привод Л. Н. Решетова для многопозиционного группового контактора

По характеру действия приводы первого типа более пригодны для систем управления электровозами, приводы второго типа — для моторных вагонов.

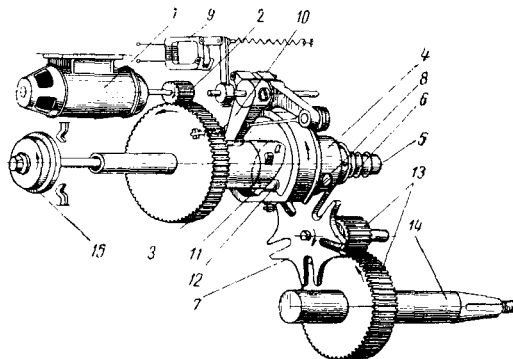


Фиг. 53. Диаграмма угловой скорости и углового ускорения одного цикла зацепления четырёхлучевого кулачкового привода (мальтийский крест): ω_1 — угловая скорость ведущего вала; ω_2 и ϵ_2 — угловая скорость и ускорение ведомого вала

на диаграмма угловой скорости ω и углового ускорения ϵ одного цикла зацепления четырёхлучевого кулачкового привода. При постоянной по величине угловой скорости

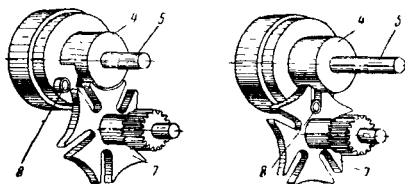
привода ω_1 угловая скорость ведомого вала ω_2 меняется в очень широких пределах. Ещё характернее изменение углового ускорения ϵ_2 ведомого вала при нулевом ускорении ведущего.

На фиг. 54 приведена схема электродвигательного привода с непрерывно вращающимся двигателем. Двигатель управления 1 малым зубчатым колесом 2, насаженным на конец его вала, и зубчатым колесом 3 приводит во вращение барабан 4, имеющий скользящую в продольном направлении посадку на валу 5, который жёстко связан с зубчатым колесом 3. Барабан 4 отжимается пружиной 6 от конца



Холостой ход привода

Переключение



Фиг. 54. Схема электродвигательного привода

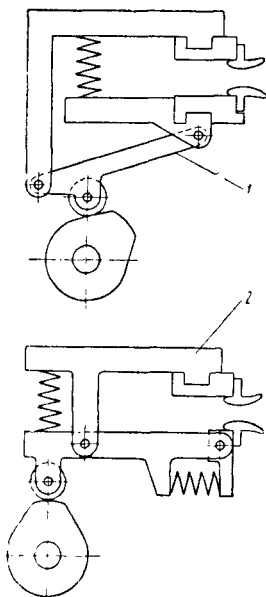
вала таким образом, что звёздчатая шайба 7 не может войти в зацепление с поводком 8 на барабане 4. Большую часть времени в продолжение периода пуска барабан 4 вращается вхолостую, не сцепляясь с шайбой 7 и в то же время точно фиксируя её положение за счёт охвата барабана скруглённой поверхностью луча шайбы между пазами. Срабатывание привода произойдет лишь в том случае, когда специальный электромагнит управления 9 под воздействием реле ускорения притянет свой якорь, чем будет вызван поворот защёлки 10. Защёлка, сцепившись с выступом a профильной шайбы 11, свободно вращающейся вместе с валом 5, застопорит её вызвав нажатие профильной поверхности шайбы через ролик 12 на барабан 4. Сжимая пружину 6, барабан 4 под давлением профильной шайбы 11 сместится так, что шайба 7 вступит в зацепление с поводком 8. Это вызовет один цикл зацепления передачи и поворот на одну позицию вала привода. Переключение на следующую позицию произойдет лишь в том случае, если защёлка 10 будет удерживать шайбу 11.

Смещение барабана 4 сопровождается прс

дольным в осевом направлении перемещением контактного диска 15, который, замыкая контакт, форсирует возбуждение, а следовательно, и вращающий момент двигателя 1.

Контакторные элементы

Контакторные элементы — основные части аппаратов с групповым приводом, осуществляющие непосредственные переключения



Фиг. 55. Кинематические схемы контакторных элементов: 1 — контакторный элемент, работающий на замыкание; 2 — контакторный элемент, работающий на размыкание

тока. Контакторные элементы приводятся в действие кулачковыми шайбами главного вала привода. Последовательность их замыкания и размыкания определяется профилем и взаимным расположением кулачковых шайб на главном валу. Контакторные элементы нашли применение не только в групповых переключателях, но и в ряде других аппаратов, когда необходима чёткость операций переключения и надёжное контактирование (контроллеры машиниста, реверсоры и пр.).

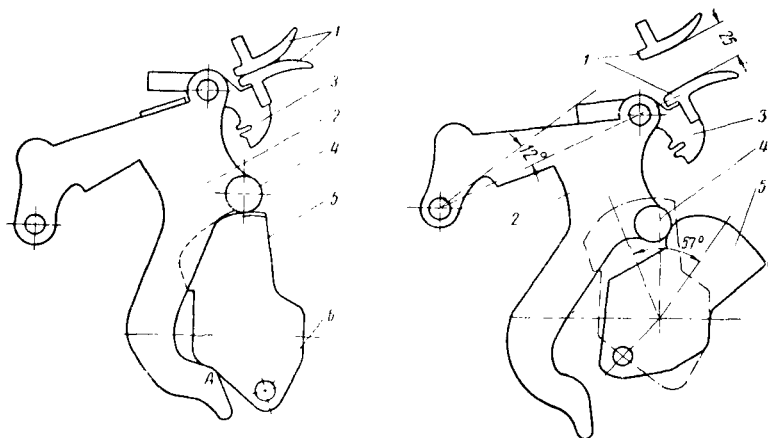
По принципу действия контакторные элементы бывают работающими на замыкание и работающими на размыкание.

Кинематические схемы элементов обоих типов представлены на фиг. 55. Хотя оба типа имеют приблизительно одинаковое распространение, второй тип обладает некоторыми преимуществами. К ним относятся постоянство нажатия контактов, что зависит лишь от усилия пружин, большее усилие в случаях аварийного размыкания и некоторые другие. Даже когда кулачковая шайба окажется не в состоянии разомкнуть сварившиеся контакты, неисправность будет обнаружена по заклиниванию кулачкового вала.

Силовые контакторные элементы, разрывающие мощность, а также некоторые элементы низковольтных цепей управления имеют дугогашение.

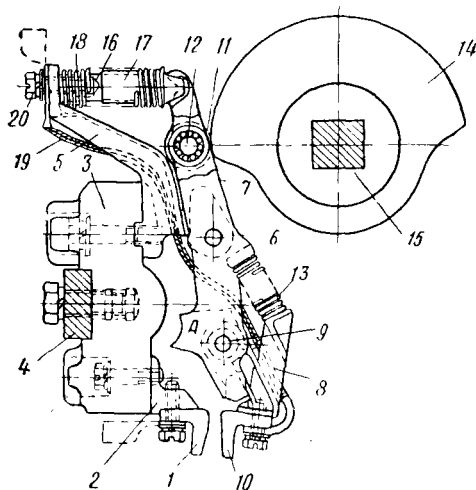
Конструктивные формы контакторных элементов в ряде случаев напоминают индивидуальные контакторы. Примером может служить контакторный элемент КЭ-1 групповых переключателей электровозов. Все основные его детали одинаковы с электропневматическим контактором ПК-301; близки и основные характеристики. Отличие составляет лишь привод. Схема замыкания и размыкания контакторного элемента КЭ-1 представлена на фиг. 56. Работая на замыкание, этот контакторный элемент обладает сравнительно слабой притирающей пружиной. Для обеспечения принудительного размыкания контактов на кулачковых шайбах предусмотрены специальные выключающие ролики. Нажимая на профильный выступ рычага контактора 4, ролик заставляет разомкнуться контакты, если даже они сварятся.

На фиг. 57 представлен контакторный элемент типа КЭ-4, работающий на размыкание. Неподвижный контакт 1 укреплен с помощью кронштейна 2 на пластмассовом основании 3, которое в свою очередь укрепляется к установочной планке 4. На том же основании с помощью сквозного болта крепится кронштейн подвижного контакта 5. Рычаг 7 подвижной системы может поворачиваться относительно шарнирного валика 6. На нижнем плече рычага 7 с помощью шарнирного валика 9 закреплен держатель 8 подвижного контакта, несущий на себе контакт 10. Держатель отжимается вниз притирающей пружиной 13. На верхнем конце рычага 7 с помощью валика 12 закреплен нажимной ролик 11, представляющий собой небольшой шарикоподшипник. Контакты размыкаются при нажатии на ролик 11 пластмассовой кулачковой шайбы 14, установленной на валу привода 15, а замыкаются, когда ролик 11 свободен от нажатия кулачковой шайбы 14, под действием замыкающей пружины 16. Пружина 16 упирается своими концами в рычаг 7 и кронштейн неподвижного контакта 5. Для правильного её действия предусмотрены направляющие 17 и 18. Подвижный контакт соединяется с зажимом 20 гибким шунтом 19.

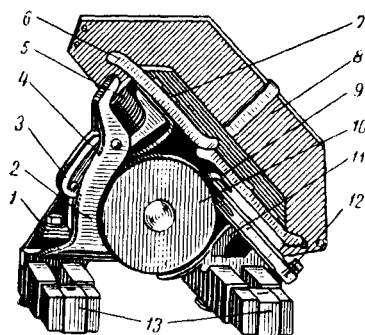


Фиг. 56. Схема замыкания и размыкания контакторного элемента КЭ-1: 1 — контакты; 2 — рычаг; 3 — держатель подвижного контакта; 4 — ролик; 5 — чугунный кулачок; 6 — выключающий ролик

Контакторные элементы этого типа не имеют дугогасительных устройств и широко



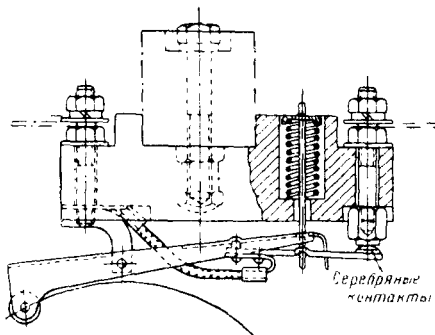
Фиг. 57. Контакторный элемент КЭ-4



Фиг. 58. Контакторный элемент группового переключателя: 1—силовой зажим; 2—кронштейн подвижного контакта; 3—нажимной ролик; 4—держатель подвижного контакта; 5—замыкающая пружина; 6—подвижной контакт; 7—щетка дугогасительной системы; 8—камера дугогасительная; 9—неподвижный контакт; 10—дугогасительная катушка; 11—кронштейн неподвижного контакта; 12—силовой зажим; 13—установочные рейки

распространены в групповых контакторах и переключателях мотор-вагонов C^P и C_3^P и в ряде других систем.

Своеобразная конструкция контакторного элемента, работающего на размыкание, представлена на фиг. 58. Здесь за счёт применения торцовых контактов с встречным притиранием удаётся сократить число пружин до одной. Замыкающая пружина выполняет при этом одновременно функции и притирающей.



Фиг. 59. Контакторный элемент цепей управления КЭ-35

Некоторые характерные данные распространённых контакторных элементов приведены в табл. 18.

Контакторные элементы цепей управления в конструктивном отношении напоминают контакторные элементы силовой цепи. Аналогичную конструкцию имеет контакторный элемент типа КЭ-30.

Несколько отлична конструкция контакторного элемента КЭ-35, показанная на фиг. 59.

Групповые переключатели

Групповые переключатели с кулачковым валом применяются на ЭПС для самых различных назначений.

Наиболее широкое распространение имеют следующие переключатели: двухпозиционные — переключатели группировки тяговых двигателей (групповые переключатели), реверсоры, тормозные переключатели, переключатели напряжений и др.;

Таблица 18

Основные конструктивные данные контакторных элементов

Показатель	Тип контакторного элемента				
	КЭ-1А	КЭ-1Б	КЭ-2	КЭ-4А КЭ-4Д	КЭ-30А
Применение	ПКГ-305, ПКГ-309, ПКГ-310, ПКГ-312, ПКГ-323	ПКГ-307	ПКГ-162 ПКГ-162Р ПШ-245-16	ПКГ-320А ПКГ-321А ПКГ-330Р	ПКГ-330А ПКГ-321А ПКГ-330Р
Напряжение номинальное в в	3 000	1 500	1 500	3 000	825
Ток длительный в а	350	410	240	220	35
Ширина контактов в мм	20	20	19	19	10
Раствор контактов в мм	24—27	24—27	12,5—15	8—10	8,5—10,5
Притирание контактов в мм	11—14	11—14	11—16	8,5—9,5	4—5,5
Нажатие контактов в кг	16—20	30	16—23	4,2—5,0	0,45—0,8
Дугогашение	Есть	Есть	Есть	Нет	Нет

Таблица 19

Показатель	Групповые переключатели с кулачковым валом									
	Тип переключателя									
	ПКГ-303	ПКГ-323	ТК-8	ПК-8	ПКГ-5	ПКГ-6	ПКГ-102А	ПКГ-162Р	ПШ-245-10	ПКГ-320А
Область применения	Электровагоны магистральные			Моторные вагоны			Вагоны метрополитена			
Число положений (позиций)	3	3	2	2	2	2	12	12	2	10
Число силовых контактных элементов	18	14	10 × 2	6 × 2	5	6	11	11	4	20
Число блокировочных пальцев или элементов цепи управления	25	12	8	6	20	16	11	16	2	10
Тип силового контактного элемента	КЭ-1А	КЭ-1А	—	—	—	—	КЭ-2	КЭ-2	КЭ-2	КЭ-4А
Вес в кг	650	510	136,5	104,3	217,5	237,5	500	536	150	280
										220
										210
										10
										(КЭ-30А)
										КЭ-4А
										200

трёх- и четырёхпозиционные — переключатели группировки тяговых двигателей (групповые переключатели), тормозные переключатели; многопозиционные переключатели — групповые, пусковые переключатели, реостатные контроллеры и др.

Некоторые характерные данные групповых переключателей отечественного производства представлены в табл. 19.

Кулачковые валы групповых переключателей изготавливаются с металлическими (чугунными или стальными) шайбами (фиг. 60) и с пластмассовыми кулачковыми шайбами (фиг. 61).

В первом случае применяются стальные гранёные (преимущественно шестигранные) валы, опрессованные изоляцией; во втором случае — неизолированные валы.

Контакторные элементы, привод и подшипники кулачкового вала укрепляются на общем каркасе.

Конструкции каркасов весьма разнообразны. Как правило, они состояются из концевых литых или сварных рам, соединённых продольными профильными планками, к которым крепятся контакторные элементы. В качестве примера современного группового переключателя кулачкового типа на фиг. 62 представлен тормозной переключатель типа ТК-8 электровагона Н8. Характерным является выполнение рамы сварной конструкции. Контакторные элементы в нем с двухсторонними контактами. Замыкаются и размыкаются они кулачковыми шайбами. Каркасы групповых переключателей, располагаемых под вагонами, выполняются с защитными кожухами.

Групповые переключатели барабанного типа применяются преимущественно в качестве двухпозиционных переключателей, реверсоров, тормозных переключателей. Необходимые переключения осуществляются соединениями неподвижных контактов (контактных пальцев) медными или латунными перемычками, выполненными в виде сегментов главного поворотного барабана аппарата.

Имеются два способа выполнения контактных барабанов переключателей: закреплением сегментов с помощью винтов на изоляционном барабане, выполненном из изоляционного материала (дерева, гетинакса или текстолита); закреплением металлических сегментодержателей непосредственно на валу барабана, опрессованного изоляцией. Расположение пальцедержателей и пальцев относительно барабана носит различный характер.

Переключатели барабанного типа

Таблица 20

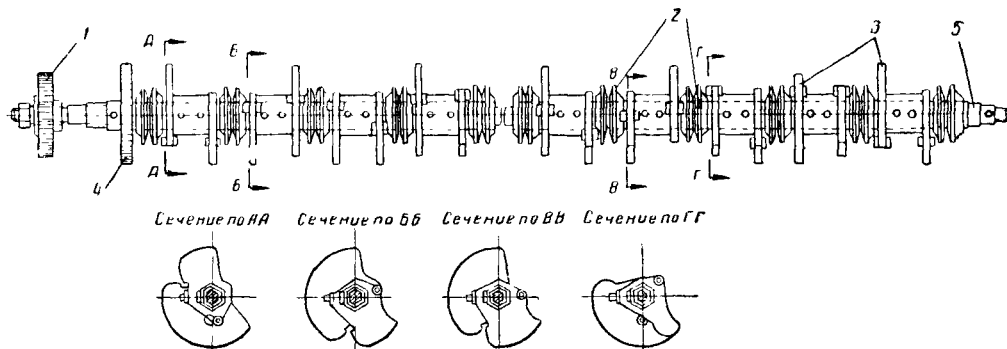
Показатель	Тип переключателя						
	ПР-151А	ПР-151Д	ПКГ-162	ПР-750Б	ПШ-2А	ПТК-153А	ПТК-153Б
Область применения	Электровагоны магистральные		Моторные вагоны	Вагоны метрополитена		Электровагоны промышленные	
Число пальцедержателей силовой цепи	16	16	8	16	12	9	9
Ток длительный в а	350	400	240	270	270	350	400
Число блокировочных пальцев цепи управления	8	4	6	6	2	20	20
Вес в кг	76	82,5	78	80	85	80,5	90

Наиболее широкое распространение получило взаимное расположение, представленное на фиг. 63.

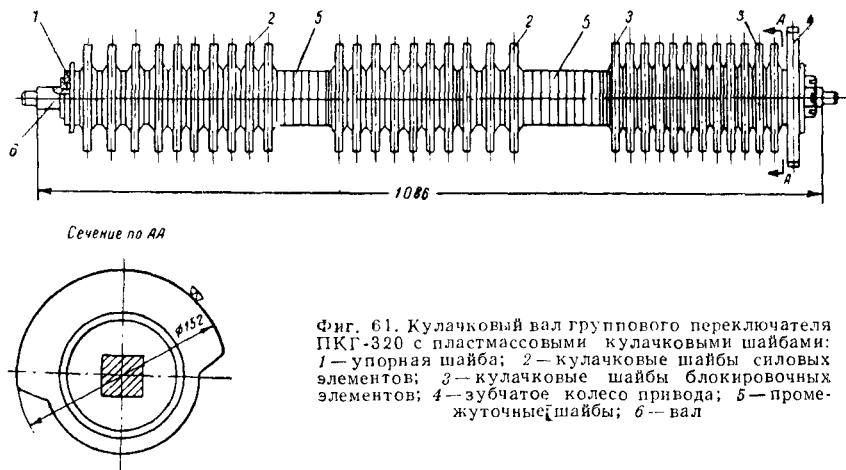
Переключение цепей управления осуществляется, как правило, таким же образом, как и переключение силовых цепей.

В табл. 20 приведены основные данные барабанных переключателей, применяемых на магистральном ЭПС.

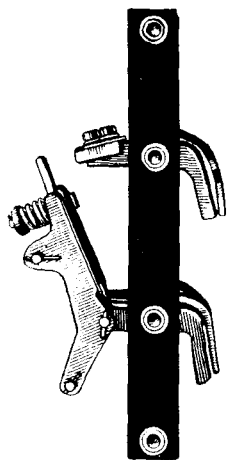
В последнее время наметилась тенденция к переходу от барабанных переключателей к переключателям контакторного типа. Это



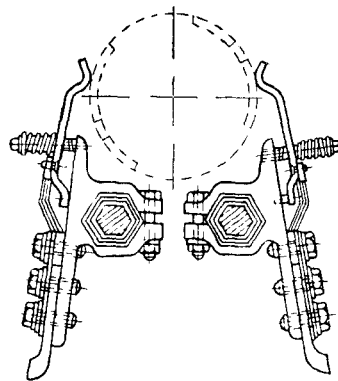
Фиг. 60. Кулачковый вал группового переключателя ПКГ-305 с литыми кулачковыми шайбами: 1—зубчатое колесо привода; 2—промежуточные шайбы; 3—кулачковые шайбы; 4—зубчатое колесо блокировочного барабана; 5—вал



Фиг. 61. Кулачковый вал группового переключателя ПКГ-320 с пластмассовыми кулачковыми шайбами: 1—упорная шайба; 2—кулачковые шайбы силовых элементов; 3—кулачковые шайбы блокировочных элементов; 4—зубчатое колесо привода; 5—промежуточные шайбы; 6—вал



Фиг. 62. Контактный элемент тормозного переключателя типа ТК-8



Фиг. 63. Расположение пальцедержателей реверсора ПР-151

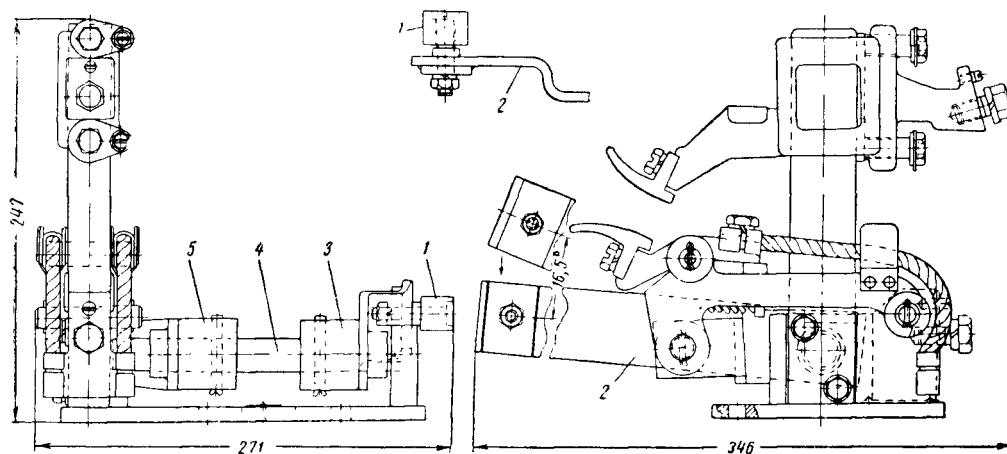
связано с большей приспособленностью контакторных переключателей к условиям крупносерийного производства, простотой их регулирования и большей устойчивостью в условиях эксплуатации.

Специальные контакторы

Специальные контакторы отличаются от обычных контакторов по типу привода. К ним относятся: контакторы заземления с механическим приводом, электромагнитные контакторы пусковых панелей; электромагнитные контакторы импульсного действия.

могательных машин ЭПС осуществляется при постоянном последовательно включённом в их цепь сопротивлении или же путём частичного его выведения в процессе пуска. Последний способ применяется чаще всего для мощных вспомогательных машин, имеющих редкие пуски, при этом он происходит автоматически. Существуют три основных способа автоматического выведения пусковых сопротивлений: в зависимости от времени, напряжения на коллекторе (скорости вращения машины), изменения тока при пуске машины.

Устройства для осуществления выдержки времени проще всего выполняются у контак-



Фиг. 64. Контактёр заземления КН-7А

Контакторы заземления носят также название короткозамыкателей; их назначение — защитить обслуживающий персонал от поражения током при входе, например, в высоковольтные камеры при поднятом пантографе путём заземления всего высоковольтного оборудования ЭПС. По условиям назначения контакторов их привод должен быть или механическим или воздушным — без участия тока управления. Контактёр заземления с механическим приводом типа КН-7А показан на фиг. 64; он выполнен из основных деталей электропневматических контакторов типа ПК, дугогашения не имеет.

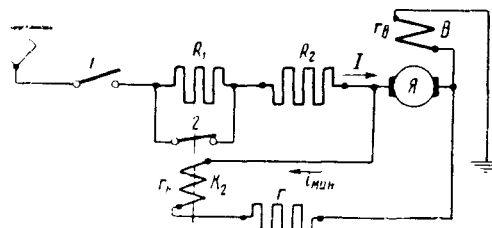
Привод контактора осуществляется от ролика 1 рычагом 2. Этот рычаг с приваренной к нему втулкой 3 насажен на ось 4 и закреплён на ней штифтом. На другой конец оси также насажена и заштифована втулка 5, соединённая с поводком подвижного контакта. Поворот рычага вызывает полное замыкание главных контактов.

Контактёр имеет следующие основные данные: расстояние между контактами в разомкнутом состоянии 24—27 мм; притирание 4,0—5,5 мм; нажатие на контакт 10—12 кг; наибольший подъём рычага привода около 58 мм; вес аппарата 7,65 кг; изоляция неподвижного контакта на 3 000 в.

Электромагнитные контакторы пусковых панелей предназначаются главным образом для пуска вспомогательных машин. Пуск вспо-

могательных машин ЭПС осуществляется при постоянном последовательно включённом в их цепь сопротивлении или же путём частичного его выведения в процессе пуска. Последний способ применяется чаще всего для мощных вспомогательных машин, имеющих редкие пуски, при этом он происходит автоматически. Существуют три основных способа автоматического выведения пусковых сопротивлений: в зависимости от времени, напряжения на коллекторе (скорости вращения машины), изменения тока при пуске машины.

При пуске, в зависимости от э. д. с. машины, обычно применяется схема, представленная на фиг. 65. Здесь в цепь машины включены

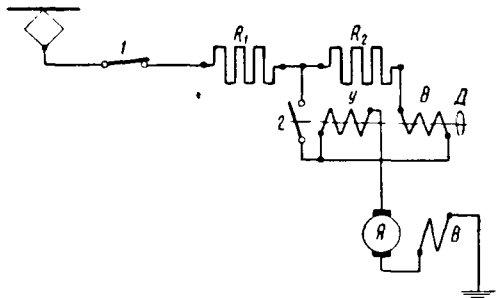


Фиг. 65. Схема автоматического выключения пусковых сопротивлений в зависимости от напряжения на коллекторе для вспомогательных машин

два последовательных сопротивления R_1 и R_2 , причём сопротивление R_1 закорачивается контактором 2, подбёртая катушка которого включена параллельно якорю Я машины.

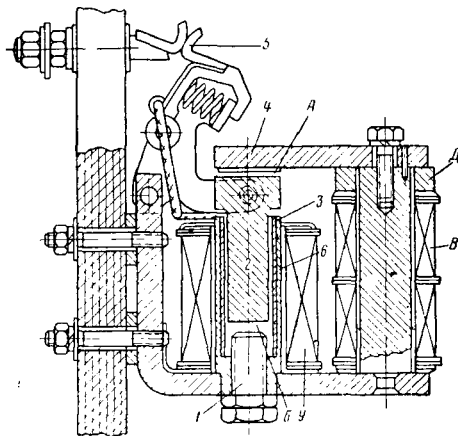
В случае схем с зависимостью от изменения тока машины (фиг. 66) закорачивание сопротивления R_2 осуществляется замыканием электромагнитного контактора типа МКП-23, кине-

матическая и магнитные схемы которого представлены на фиг. 67.



Фиг. 66. Принципиальная схема пуска вспомогательной машины с пусковой панелью ПП-3Б-1

Магнитопровод контактора имеет двойные воздушные зазоры A и B , из которых зазор B можно регулировать болтом I . Включающая



Фиг. 67. Схема контактора МКП-23

катушка B (см. фиг. 66 и 67) работает только при пуске, закорачиваясь далее контактом контактора. Удерживающая катушка $У$, создавая поток, согласный с потоком катушки B , остаётся включённой в продолжение всего периода работы машины. Сердечник этой катушки полый; внутри его помещён якорь 2, который может перемещаться в направляющей латунной втулке 3. Для замыкания контактов необходимо, чтобы якорь притянулся к верхнему яруму магнитной системы 4. Это произойдёт в том случае, когда поток в зазоре A значительно больше потока в зазоре B . Изменение соотношения потоков может иметь место за счёт насыщения тела полого сердечника 6 катушки $У$.

Индукция в зазоре B возрастает при насыщении полого сердечника 6, т. е. при высоких $НС$ катушек, так как в этом случае сердечник имеет значительное магнитное сопротивление и большая часть магнитных силовых линий пойдёт через зазор B . Перемещение якоря 2 вверх будет иметь место в том случае, когда ток катушек и их $НС$ снижается. При этом насыщение сердечника и его магнитное сопро-

тивление также снижаются, что изменит соотношение потоков, протекающих через зазор B и сердечник.

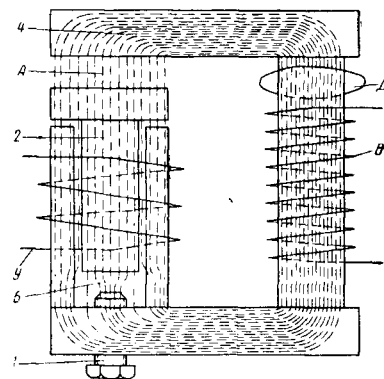
Притяжение якоря 2 сопровождается замыканием контактов 5, которые шунтируют сопротивление R_2 и катушки B .

Прекращение питания катушки B исключает повторное отпадение якоря 2 при последующих толчках тока.

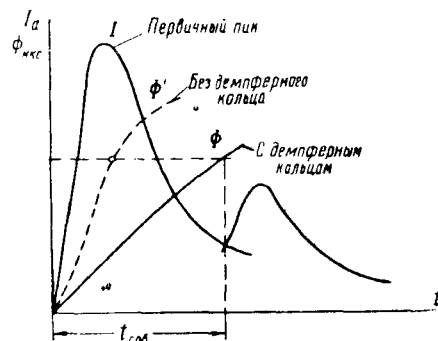
Для того чтобы предотвратить замыкание контактора в момент первичного толчка тока при включении, контактор снабжён устройством для выдержки времени. Этим устройством является массивное замкнутое кольцо D (см. фиг. 66 и 67).

В результате этих свойств контактора изменение тока и потока проходит по зависимости, показанной на фиг. 68.

Контактор МКП-23 имеет следующие основные данные: расстояние между контактами при разомкнутом контакторе 11—14 мм, притирание контактов 4,5—6,5 мм, начальное нажатие контактов 0,6—1,2 кг, конечное на-



жатие контактов 1,0—1,8 кг, воздушный зазор A якоря при разомкнутом контакторе



Фиг. 68. Диаграмма пуска вспомогательной машины с контактором МКП-23

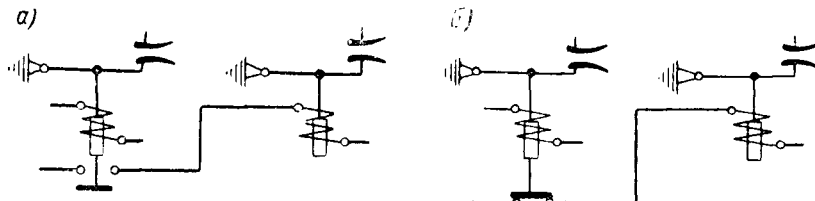
10,5—11,5 мм, при замкнутом контакторе 2,5—4,0 мм, регулировка срабатывания контактора в пределах 25—50 а.

Блокировочные контакты аппаратов и блокировки

Назначением блокировок является обеспечение правильной последовательности работы отдельных аппаратов системы управления и предотвращение нарушения этой последовательности при различных режимах работы ЭПС. Электрические блокировки осу-

тора. Она состоит из неподвижных контактных пальцев 27, укрепленных на фибровом или текстолитовом держателе 28.

Подвижная часть блокировки состоит из изоляционной колодки 29 и медных контактных пластин (сегментов) 30. Пластины врезаются в тело колодки так, что их контактная поверхность находится в одной плоскости с её поверхностью. Колодка укреплена



Фиг. 69. Принцип действия электрических блокировок: а — нормально разомкнутая блокировка; б — нормально замкнутая блокировка

ществляются вспомогательными контактами аппаратов. По характеру назначения в схемах управления блокировки подразделяются: на нормально разомкнутые (прямые), или включающие замыкаемые при включении аппарата и нормально замкнутые (обратные), или выключающие, т. е. размыкающиеся при включении аппарата. Принцип действия блокировок обоих типов показан на фиг. 69.

Классификация основных видов электрических блокировок приведена в табл. 21.

На фиг. 36 дана блокировка скользящего типа Б-1 электропневматического контак-

та на рычажном держателе 31, имеющем возможность поворачиваться на оси 32. Поворот рычага осуществляется в зависимости от выхода штока пневматического привода контактора, с которым он связан тягой 19. Блокировки этого типа особенно удобны для аппаратов, имеющих поступательное перемещение деталей подвижной системы.

Блокировка типа Б-1 имеет следующие основные данные: допустимое напряжение на блок-контактах до 150 в; длительный ток при применении стальных контактных пальцев 5 а; при применении бронзовых пальцев с медными контактными сухарями — 20 а; наибольший ток при напряжении 125 в — 1,5 а; притирание 2—3 мм; нажатие контакта 1,0—2,5 кг.

На фиг. 70 представлена мостиковая блокировка типа Б-9. Здесь 1 — кронштейн неподвижных контактов с держателями контактов 2, укрепленными на изоляционных колодках 3. Сами контакты 4 представляют собой серебряные пластинки, припаянные к держателям 2. Держатель 6 контактного мостика подвижного контакта с помощью штифта 5, пружины 7 и шайбы 8 упруго прикреплен к кронштейну 9, связанному с подвижной системой аппарата. На конце изоляционного держателя 6 приклепан контактный мостик 10 с припаянными к нему серебряными контактными пластинами 11.

Блокировки этого типа особенно удобны в тех случаях, когда они связаны с аппаратами, имеющими поворотные детали подвижной системы.

Блокировка Б-9 имеет следующие основные данные: наибольшее напряжение 150 в; наибольший ток при напряжении 125 в и индуктивности в цепи 1,5 а; расстояние между подвижным и неподвижным контактами в разомкнутом состоянии при односторонней блокировке 16 мм; расстояние между подвижным и неподвижным контактами в разомкнутом состоянии при двусторонней блокировке 11 мм; притирание 5 мм; нажатие замкнутых контактов 0,15—0,25 кг.

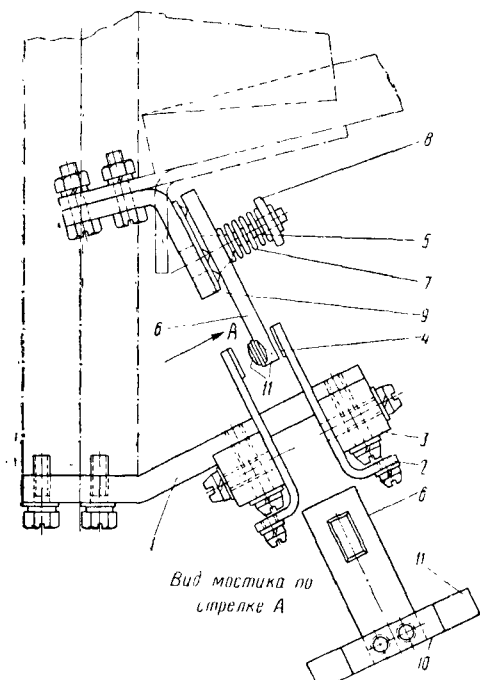
На фиг. 71 показана многоконтактная мостиковая блокировка типа БД-9А быстродействующего автоматического выключателя. Она имеет четыре пары блокировочных неподвижных контактов, держатели которых ле-

Таблица 21
Классификация основных видов электрических блокировок

Конструкция блокировки	Обозначения в схемах		
	Прямая нормально разомкнутая (замыкается при включении аппарата)	Обратная нормально замкнутая (размыкается при включении аппарата)	Смешенная или комбинированная
Скользящая (пальцевая)			
Мостиковая или дисковая			
Контакторная (в виде контакторного элемента кулачкового типа)			
Все прочие конструкции с одним разрывом			
С пневматическим приводом			

вые 3 и правые 4 собраны и закреплены винтами 1 на изоляционном основании 2. Неподвижные контакты 5 в виде латунных угольников прикреплены к держателям винтами и гайками 7. Цепь неподвижных контактов замыкается контактными мостиками 6, состоящими каждый из латунной пластинки 15, запрессованной в изоляционный диск 16.

К концам пластинки 15 приклепаны цилиндрические контакты 17. Контактные мостики 6 собираются на блокировочной стальной оси 12, причём их проворачивание на оси невозможно, так как оси и отверстие мостика придана прямоугольная форма. В зависимости от схемы мостики располагаются или над держателями контактов 3 и 4 (контакты а, б, в)



Фиг. 70. Блокировка типа Б-9

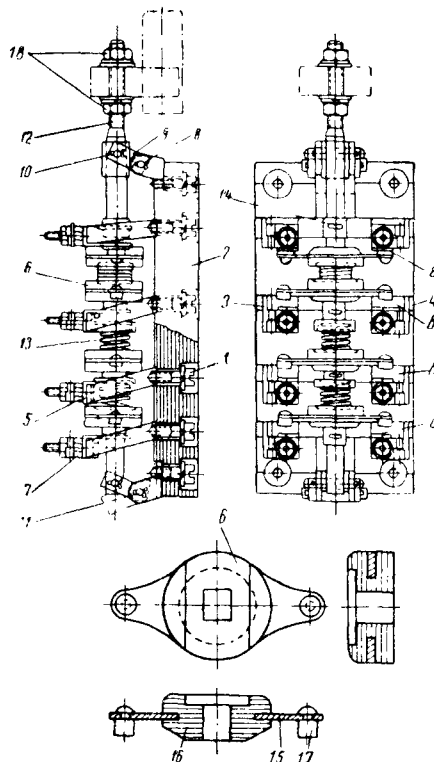
или под ними (контакт г). Ось 12 закреплена шарнирно к основанию 2 с помощью проушин 8 и тяг 9, соединённых валиками 10 и 11. Правильная фиксация мостиков 6 и притирание контактов 17 осуществляются за счёт применения пружин 13, которые с одной стороны опираются на мостики 6, а с другой посредством шайб и втулок упоров — вшплинты 14 оси 12. Ось 12 с помощью регулировочных гаек 18 связана с подвижной частью аппарата.

Блокировка имеет следующие основные характеристики: рабочее напряжение 50 в; длительный ток на пару контактов 2 а; притирание контактов 4,5—5,5 мм; расстояние от неподвижного контакта до подвижного в разомкнутом состоянии 5,5—6,5 мм.

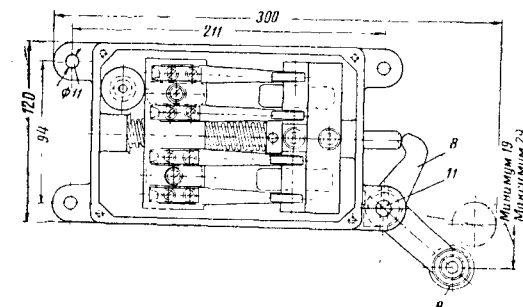
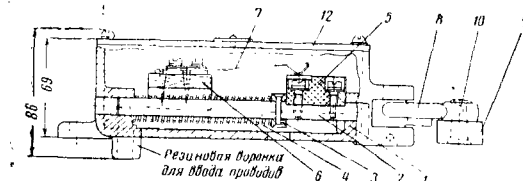
Контакторные блокировки в виде контакторных элементов применяются почти исключительно в аппаратах с групповыми приводами.

Наряду с механическими и воздушными блокировками электрические блокировки довольно широко используются в качестве за-

щитных устройств безопасности, препятствующих непроизвольному попаданию под высокое напряжение. В этих случаях блокировки связываются с дверями или щитами высоковольт-



Фиг. 71. Блокировка типа БД-9А быстродействующего автоматического выключателя



Фиг. 72. Блокировка двери высоковольтной камеры типа Б-22-01

ных камер, лестницами на крыши ЭПС, кожухами высоковольтной аппаратуры и т. д.

В качестве примера на фиг. 72 представлена блокировка типа Б-22-01 высоковольтной камеры. Чугунный корпус 1 закрыт крышкой 12; из него выступает ось 2. Под действием

пружины 4, упирающейся в кольцо 3, подвижная колодка 5 отжимается в крайнее правое положение. При этом контактные пальцы 7, установленные на деревянном пальцедержателе 6, попарно замыкаются перемычками колодки 5. Размыкание цепей происходит в том случае, когда при открывании двери высоковольтной камеры осуществляется нажатие на ролик 9, укрепленный на оси 10 двуплечего рычага 8. Рычаг поворачивается на оси 11, преодолевая давление пружины 4. Конец рычага нажимает на конец оси 2 и смещает её вместе с колодкой 5 влево, размыкнув цепь управления.

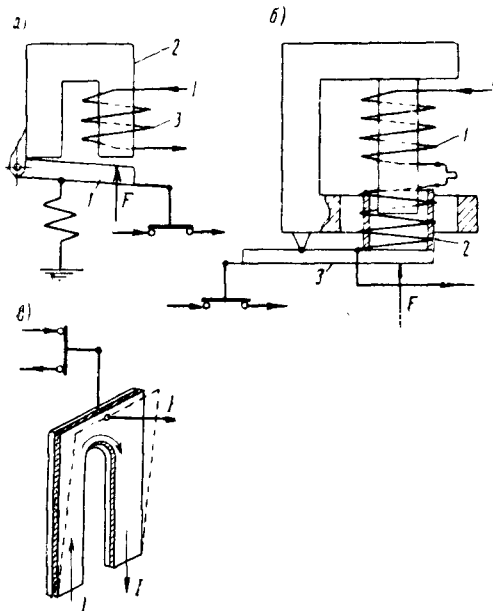
РЕЛЕ

Реле, являющиеся аппаратами косвенного действия, находят широкое применение в системах управления ЭПС, преимущественно выполняя функции защиты и автоматизации процессов управления. При всём разнообразии реле и видов их применения возможно их подразделение по назначению, принципу действия и конструкции.

По назначению реле можно подразделить на защитные, регулирующие, сигнальные, промежуточные (блокировочные).

По принципу действия различают реле токовые (максимальные и минимальные), потенциальные (максимальные и минимальные), дифференциальные, тепловые, комбинированные.

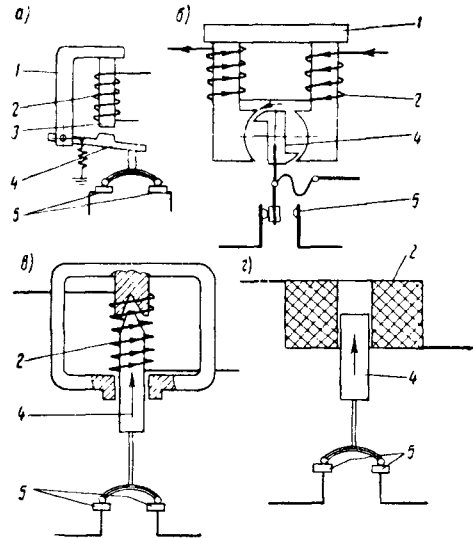
Классификация по конструкции в основном определяется характером привода подвижной системы реле. Может быть установлено три основных типа привода реле, применяемых на ЭПС, которые показаны на фиг. 73.



Фиг. 73. Типы приводов реле

Здесь а — электромагнитное реле, действие которого основывается на притяжении стального якоря 1 к сердечнику 2 магнитным полем, создаваемым катушкой 3; б — электро-

динамическое реле, действие которого основано на взаимодействии магнитных потоков двух катушек 1 и 2, из них: одна (катушка 1) неподвижна, а другая (катушка 2) установлена



Фиг. 74. Схемы магнитных систем электромагнитных реле: 1 — магнитное ядро; 2 — катушка; 3 — сердечник; 4 — якорь; 5 — блокировочные контакты

на подвижном диамагнитном якоря 3; в — тепловое, биметаллическое реле, основанное на деформации (изгибе) биметаллической пластинки, нагреваемой протекающим рабочим током.

Особенно широкое распространение имеют электромагнитные реле — наиболее простые и устойчивые в работе. Существует большое разнообразие конструктивных исполнений этих реле, отличающихся в части устройства магнитной системы.

Схемы различных систем электромагнитных реле приведены на фиг. 74. Здесь на схеме а представлен тип электромагнитного реле с поворотным якорем, наиболее распространённый в тяговой аппаратуре. Наибольший угол поворота якоря обычно не превышает 10—15°. Реле этого типа отличаются простой конструкцией и достаточно устойчивы в работе. На схеме б дано реле также с поворотным якорем, но на значительно больший угол (до 60—90°). Такая система менее устойчива и используется преимущественно для дифференциальных и регулирующих реле. На схеме в представлено плунжерное реле с замкнутой магнитной системой, а на схеме г — плунжерное реле с разомкнутой магнитной системой. Реле этого типа применяются в установках ЭПС довольно часто. При этом система реле схемы в предусматривается преимущественно в тех случаях, когда требуется замедленное действие аппарата. Наоборот, система схемы г, обладающая минимальной магнитной инерцией, особенно удобна в том случае, когда требуется кратковременно повторное действие реле, чему может препятствовать магнитная инерция системы.

Выбором конструкций можно предусмотреть определённую выдержку времени в ра-

боте реле. Повышение скорости достигается обычно за счёт снижения механической и магнитной инерции системы, а также устранением в ней элементов трения.

Наилучшие данные в этом отношении имеют электродинамические реле и электромагнитные реле плунжерного типа с разомкнутой магнитной системой (не имеющие стального ярма). Вместе с тем реле этих типов требуют обычно большой HC для приведения в действие. Сочетание различных факторов магнитной инерции, определяемой индуктивностью цепи катушки и вихревыми токами массивной части реле, трением в шарнирах и инерцией масс могут сильно изменять характеристики реле. Выявить эти процессы удобнее всего из диаграммы включения и выключения реле.

Рассматривая процесс включения и выключения для потенциального реле, можно в равной мере перенести основные выводы и на токовое реле.

Предполагая, что индуктивность реле L — постоянная величина, возможно определить изменение тока i по времени при включении реле:

$$i = I \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right).$$

Здесь e — основание натуральных логарифмов; R — омическое сопротивление катушки реле;

I — установившаяся величина тока:

$$I = \frac{U}{R},$$

где U — напряжение, приложенное к зажимам катушки.

Время t , по истечении которого будет достигнут ток срабатывания реле $I_{ср}$, возможно определить из приведённого выше уравнения, подставив $I_{ср}$ вместо i :

$$t = \frac{L}{R} \ln \frac{I}{I - I_{ср}}.$$

Отношение $\frac{L}{R}$, имеющее размерность времени, носит название постоянной времени реле:

$$\frac{L}{R} = \tau.$$

Отношение $\frac{I}{I_{ср}} = \kappa$ является коэффициентом запаса тока по срабатыванию.

Обозначив через t_1 собственное время срабатывания реле, т. е. время, необходимое с момента начала срабатывания реле до момента замыкания контактов, и учитывая через дополнительную постоянную времени $\tau_{вих}$ задерживающее влияние вихревых токов в магнитной системе реле, получим окончательно время включения реле $t_{вкл}$ равным

$$t_{вкл} = (\tau + \tau_{вих}) \ln \frac{\kappa}{\kappa - 1} + t_1.$$

Процесс выключения реле связан со следующей зависимостью изменения тока по времени:

$$i = I e^{-\frac{R + r_k}{L} t},$$

где, кроме определённых ранее величин, r_k — электрическое сопротивление контакта, осуществляющего размыкание.

Движение якоря начнётся при токе $I_{омн}$.

Время с начала размыкания цепи до начала отпадания якоря $t_{омн}$ можно определить из следующего соотношения:

$$t_{омн} = \frac{L}{R + r_k} \ln \frac{I}{I_{омн}}.$$

Полное время выключения $t_{вык}$ с учётом влияния вихревых токов и собственного времени выключения якоря t'_1 будет определяться

$$t_{вык} = \left(\frac{L}{R + r_k} + \tau_{вих} \right) \ln \frac{I}{I_{омн}} + t'_1.$$

В большинстве случаев можно считать, что размыкание цепи катушки реле протекает мгновенно. При этом отношение $\frac{L}{R + r_k}$ практически равно 0. Соответственно время выключения будет равно

$$\tau_{вык} = \tau_{вих} \ln \frac{I}{I_{омн}} + t'_1.$$

Анализ уравнения для $t_{вкл}$ и особенно для $\tau_{вык}$ показывает, что для снижения $t_{вкл}$ или $t_{вык}$ имеются следующие основные пути:

1) снижение постоянной времени вихревых токов $\tau_{вих}$ применением сердечников, набранных из листов электротехнической стали. В некоторых случаях применяются системы без магнитных сердечников;

2) снижение τ , т. е. $\frac{L}{R}$, при снижении индуктивности катушек реле;

3) снижение собственного времени срабатывания t_1 и t'_1 за счёт уменьшения масс подвижной системы, сил трения в сочленениях и т. д. Выводы, полученные здесь для потенциального реле, могут быть почти полностью распространены и на все другие виды реле.

В зависимости от назначения реле в ряде случаев необходимо замедленное их действие. На фиг. 75 приведены два способа такого замедления

Способ *a* предусматривает, наряду с массивным стальным сердечником реле, применение специальной обмотки (демпферного кольца T). Кольцо, имеющее вид массивного замкнутого витка, обладает большой индуктивностью L_T и ничтожным омическим сопротивлением R_T . Отсюда постоянная времени

$$\tau_T = \frac{L_T}{R_T} \text{ витка}$$

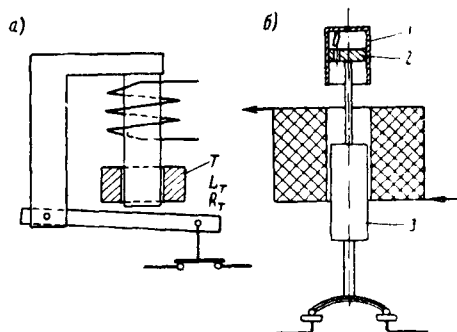
получается относительно высокой. Вызывая повышение магнитной инерции системы реле, короткозамкнутый виток затягивает процесс его срабатывания за счёт магнитных связей с основной обмоткой.

Для этого случая

$$t_{вык} = (\tau_T + \tau_{вих}) \ln \frac{I}{I_{омн}} + t'_1.$$

Выдержка времени в реле этого типа не превышает долей секунды.

Способ 6 предусматривает применение в качестве замедляющего устройства для реле плунжерного типа — воздушного демпфера, состоящего из цилиндра 1 с точно пригнанным к нему поршнем 2, механически связан-



Фиг. 75. Устройства выдержки времени реле

ным с якорем реле 3. Вход воздуха под поршень 2 и выход его из верхней камеры цилиндра 1 может осуществляться только через калиброванное отверстие 0 в поршне. Собственное время t_1 или t'_1 будет определяться скоростью истечения воздуха через это отверстие.

В тепловых реле время выдержки устанавливается обычно за счёт определённой теплоёмкости биметаллического рабочего элемента.

Принципы работы электромагнитного привода реле подобны принципам приводов контакторов, рассмотренных ранее. Однако механизм реле имеет некоторые особенности.

На фиг. 76 представлены кривые намагничивания реле при непритянutom и притянutom якорь. Включение реле сопровождается нарастанием HC до величины AW_1 , соответствующей моменту начала перемещения якоря по кривой намагничивания «выкл.». При этом магнитный поток достигнет определённого значения Φ_1 , а накопленная магнитная энергия будет

$$A_{M_1} = 0,1 \int_0^{\Phi_1} AW d\Phi.$$

Графически эта энергия может быть выражена площадью заштрихованной фигуры $OB\delta_1$.

Перемещение якоря, начавшееся при $HC = AW_1$, будет продолжаться до того момента, пока HC не достигнет величины AW_2 , но уже по кривой намагничивания «включ.». Реализованная при этом магнитная энергия A_{M_2} выразится:

$$A_{M_2} = 0,1 \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} AW d\Phi,$$

определяясь площадью фигуры $OB\delta_1 - OB\delta_2$.

Запас магнитной энергии A_{M_2} , накопленной в системе по завершении процесса включения,

можно охарактеризовать площадью фигуры OB_1B , выражающейся зависимостью:

$$A_{M_2} = 0,1 \int_0^{\Phi_2} AW d\Phi.$$

Включение реле сопровождалось накоплением магнитной энергии $A_{M_1} + A_{M_2}$, причём в конце процесса включения эта энергия достигает величины A_{M_2} . Очевидно, оставшаяся часть энергии $A_{\delta\delta}$ превращена в механическую энергию движения (преодоление сил трения в механизме), т. е.

$$A_{\delta\delta} = A_{M_1} + A_{M_2} - A_{M_2}.$$

Так как элементарное усилие F , действующее на якорь на протяжении элемента длины воздушного зазора δ , будет определяться элементарным изменением энергии в воздушном зазоре dA_{δ} , то

$$F = \frac{d^2}{8\pi} \cdot \frac{d}{d\delta} \left(\frac{1}{\lambda} \right).$$

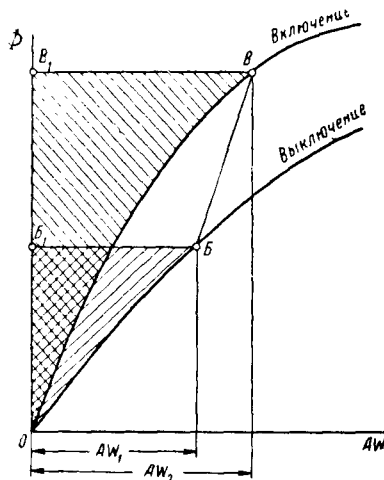
Магнитная проводимость λ в основном зависит от магнитной цепи и формы воздушного зазора, однако при небольших зазорах δ , плоских полюсах и якоре можно достаточно точно величину проводимости выразить следующим образом:

$$\lambda = \frac{S}{\delta},$$

где S — сечение воздушного зазора.

Тогда

$$F = \frac{d^2}{8\pi S \cdot 981} \cdot z.$$



Фиг. 76. Кривые намагничивания реле

Коэффициент 981 дан для перевода силы в систему CGS.

Условия подверженности тряске и другие особенности работы на подвижном составе заставляют применять реле с мощными магнитными системами, обеспечивающими высокие значения запасов магнитной и механической энергии. В связи с этим реле, как правило, не обладают высокой чувствительностью.

Регулировка уставки защитных реле осуществляется изменением натяжения пружины

или величины воздушного зазора. После регулировки защитные реле пломбируются.

Электродинамические реле применяются преимущественно в качестве регулирующих для регуляторов напряжения, а иногда и для реле автоматического пуска. Тепловые реле применяются преимущественно для автоматического регулирования работы установок электрического отопления и иногда для защиты вспомогательных машин.

За последнее время имеется стремление к унификации реле не только на ЭПС, но и с промышленной аппаратурой.

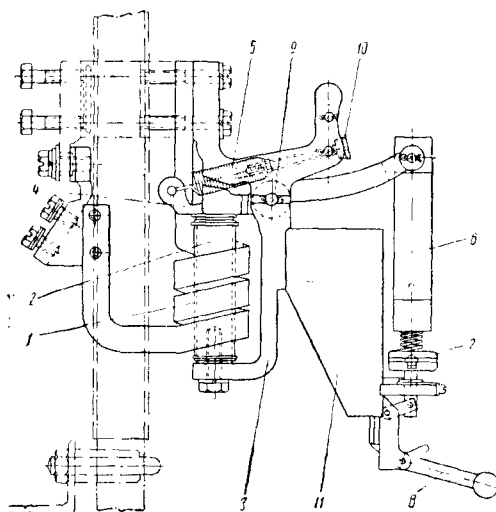
Реле перегрузки

Реле перегрузки являются максимальными токовыми реле и выполняются на ЭПС как с восстанавливающим механизмом, так и без него. Основные данные их приведены в табл. 22.

Характерным реле перегрузки силовых цепей электровозов является простейшее реле мгновенного действия, без восстанавливающего механизма типа РП-1А, представленное на фиг. 77.

Магнитная система реле состоит из ярма 3, сердечника 2 и якоря 4. Катущка 1 выполнена из голый меди прямоугольного сечения. Якорь 4 оттягивается от сердечника пружиной 5, поворачиваясь на шарнире 9. При при-

тяжении к сердечнику якорь преодолевает усилие пружины, регулируемое винтом 10. Конец якоря соединен изоляционной тягой 6 с контактами 7 мостикового типа. Контакты



Фиг. 77. Реле перегрузки РП-1А

Таблица 22

Данные реле перегрузки

Показатель	Т и п р е л е										Р П-14А
	РП-1А-1	РП-5Б-1	РП-5В-1	РП-5Д-1	РМ-165-1	РП-3Б-2	РП-5А	РП-5Е-1	РП-5Н	РП-5К-1	
Область применения	Электровозы				Моторные вагоны						Вагоны метрополитена
Катушка выключающего механизма: число витков	4,75	40	19,75	40	2,5	6,5	2,5	5,5	150	40 132	500
Ток длительный в а	220	30	60	30	500	350	200	150	8	14	450
Пределы регулировки в а	400—700	30—75	60—150	30—75	850—1800	330—700	400—1000	200—500	8—20	30—75	700—1500
Напряжение номинальное в в	3 000	3 000	3 000	3 000	1 500	1 500	3 000	3 000	3 000	3 000	825
Контакты (шт.): нормально замкнутые	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
нормально разомкнутые	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1
Ток длительный контакта в а	0,4 при напряжении 600 в 2 при напряжении 50—125 в	1	1	1	0,4—0,5	0,4—0,5	1	1	1	1	0,3
Катушка восстановления: число витков	—	2 900	2 900	2 900	2 200	2 200	2 900	2 400	2 900	2 900	3 400
сопротивление в ом (отклонение +8—5%)	—	21,5	21,5	21,5	64	64	21,5	21,5	21,5	21,5	122
Минимальный ток восстановления реле в а	—	1,05	1,05	1,05	0,4	0,4	1,05	1,05	1,05	1,05	0,25
Вес реле в кг	4,5	8,8	8,8	5,6	—	—	6,7	6,7	5,6	5,8	—

укреплены на ярме 3 с помощью изолирующей колодки 11, выполненной из пропитанного дерева. При устранении перегрузки реле самовосстанавливается. Имевшее место срабатывание реле отмечается отпаданием сигнального индикатора 8. Контакты имеют расстояние в разомкнутом состоянии 6,25 мм и притирание 4,75 мм.

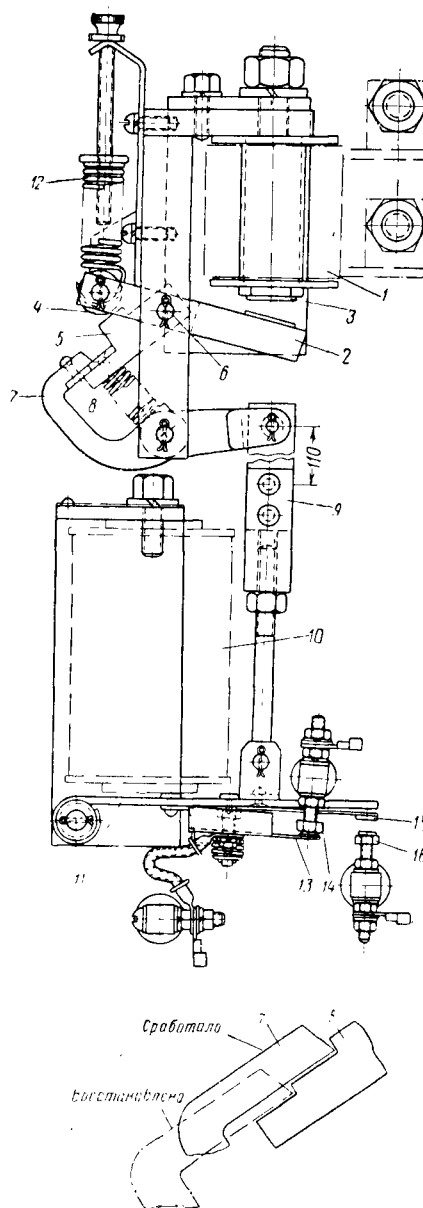
Широко распространённым типом реле перегрузки с механизмом восстановления является реле типа РП-5. Оно применяется как в силовых цепях (моторвагоны), так и во вспомогательных (электровагоны и моторвагоны). Конструкция реле представлена на фиг. 78. Токовая катушка 1 включается последовательно в защищаемую цепь. При превышении тока уставки сердечник 3, противодействуя пружине 12, притягивает якорь 2. Поворачиваясь на оси 6, якорь роликом 4, находящимся на его конце, ударяет по выступу защёлки 5, также поворачивающейся относительно оси 6. Преодолевая давление пружины 8, защёлка отходит вниз, в результате чего конец рычага 7 срывается с нижнего уступа защёлки и переходит в положение, представленное на эскизе сплошными линиями. При этом на рычаг 7 действует сила веса связанной с ним изоляционной тяги 9 якоря 11 восстанавливающей системы. Снижение тока в катушке 1 до пределов ниже тока уставки не вызывает восстановления реле. Для этого необходимо изменить положение рычага 7. Восстановление осуществляется возбуждением катушки 10, притягивающей якорь 11 и возвращающей рычаг 7 изоляционной тягой 9 в исходное положение.

Реле имеет необходимое число блокировочных контактов 13—16, связанных с якорем восстанавливающей катушки 10. Уставка реле осуществляется регулировочным винтом. Контакты имеют следующие основные данные: наименьшее расстояние при разомкнутом положении 3 мм, притирание наименьшее 2,5 мм, нажатие контактов 0,3—0,4 кг.

Реле перегрузки РП-14А-3 вагонов типа Г Московского метрополитена, сходное с ним по конструкции реле РП-3Б-2 моторвагонов С_д и ряд других характерны ударным действием якоря на блокировочные контакты. Устройство реле РП-14А-3 показано на фиг. 79. Две магнитные системы — собственно реле перегрузки с одной последовательной катушкой 7 и реле заземления с двумя параллельными катушками 16 — действуют на одну систему контактов. Магнитопровод реле 1 представляет собой Г-образную стальную отливку, скреплённую с сердечником 2. Стальной литой якорь 3, поворачиваясь на оси 4, замыкает магнитную цепь. При этом ему противодействует регулировочная пружина 6. Расположение пружины относительно оси 4 таково, что при начавшемся повороте якоря сопротивление пружины быстро падает. Это обеспечивает ударное действие концевой изоляционной колодки 5 на механизм блокировок. Силовая катушка 7 выполнена из полосовой меди и укреплена своими концами к шпилькам 8, являющимся одновременно и зажимами в электрической цепи.

Блокировочный механизм укреплён на пластмассовом изоляторе 9 и имеет блок-контакты 10 мостикового типа с серебряными

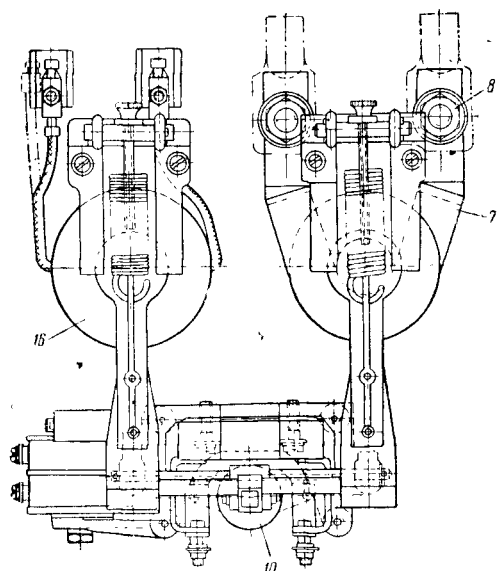
контактными пластинками. При срабатывании любого из двух реле его колодка 5 ударяет по рычагу 11, осуществляя необходимое переключение блок-контактов. Одновременно механизм блокировки запирается в этом поло-



Фиг. 78. Реле перегрузки РП-5

жении якорем 12 катушки восстановления 14, который отжимается своей пружиной 13. После срабатывания реле блок-контакты восстанавливаются в исходное положение при кратковременном возбуждении катушки 14. Притяжение якоря 12 освобождает рычаг 11, и блокировки восстанавливаются пружиной 15.

Расстояние между разомкнутыми контактами реле 4,0—6,0 мм, притирание контактов 2—3 мм, нажатие 0,2 кг, ток контактов 0,3 а.



Фиг. 79. Реле перегрузки РП-14А-3

Наименьший ток действия катушки заземления — 6,5 а и катушки восстановления — 1,5 а.

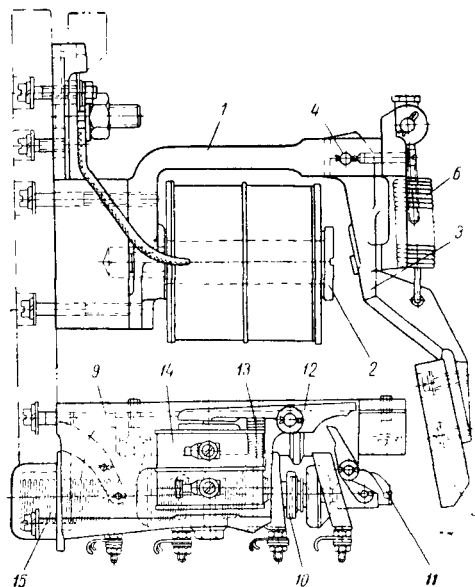
Потенциальные реле

Потенциальные реле (реле напряжения) подразделяются на реле максимального (повышенного) и реле минимального (пониженного) напряжения; последние известны также под названием нулевых реле.

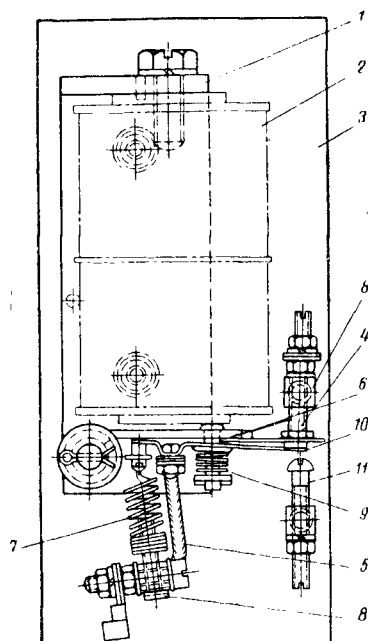
В табл. 23 приведены основные данные реле напряжения ЭПС, а в табл. 24 — типовых реле, преимущественно используемых в качестве реле напряжения.

На фиг. 80 приведено реле типа Р-5, которое используется на магистральных электровазах в качестве реле минимального напряжения. Реле имеет магнитную систему, состоящую из ярма 1, катушки 2 и якоря 6. Магнитная система и контакты реле установлены на изоляционной плите 3 из пропитанного асбоцемента. Блокировочные контакты 4 и пружина 7, оттягивающие якорь, укреплены в стойках 8, которые представляют собой специальные болты с высокими четырёхгранными головками. Контактные винты 4, а также контактная пластинка якоря 10 имеют припаянные серебряные контакты. Контактная пластинка якоря 10, кроме того, выполнена с притирающей пружиной 9. Реле минимального напряжения имеют упорный винт 11, регулирующий положение подвижного контакта и якоря 6 относительно сердечника магнитной системы 1 в непритянутом состоянии. Для того чтобы предотвратить магнитное прилипание якоря к сердечнику, между ними во включённом состоянии создаётся воздушный зазор за счёт упора в сердечник головки штифта притирающей пружины 9. Ток к якорю подводится через гибкий провод 5.

На ЭПС в качестве потенциальных промежуточных и вспомогательных находят широкое распространение реле типа Р-3000 и Р-3150, выполняемые на базе типовых про-



мышленных аппаратов. Конструкция их ясна из общего вида, представленного на фиг. 81. В отличие от реле типа Р-5 магнитная система здесь располагается в плоскости, перпендикулярной к поверхности установочной панели.



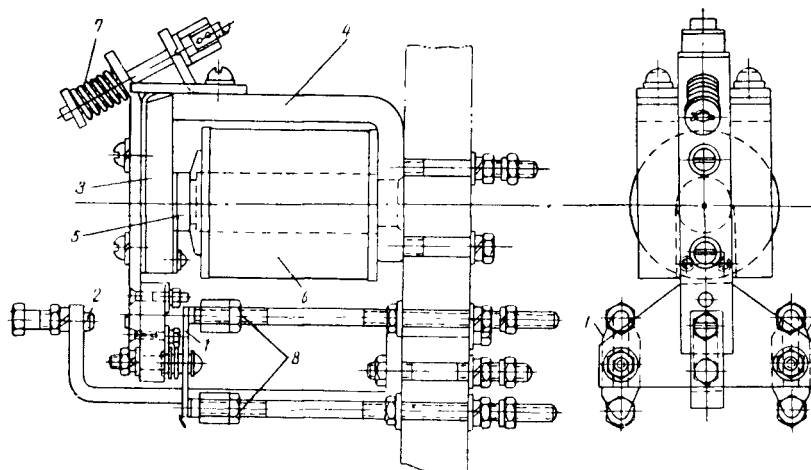
Фиг. 80. Реле минимального напряжения Р-5

Ярмо имеет Г-образную форму и замыкает магнитную цепь через цилиндрический сердечник и пластинчатый якорь. Особенностью реле является ножевая опора якоря, дающая ему возможность при небольшой величине силы трения правильно устанавливаться от-

Таблица 23

Реле напряжения

Показатель	Тип реле			
	РН-2А-2	РН-2Б-1 РН-2Д-5	РН-165Б-1	РН-165Г-4
Область применения	Вагоны метро		Моторные вагоны серии С _д	
Назначение	Реле нулевое высокого напряжения		Реле нулевое низкого напряжения	
Число витков	15 000	17 000	17 000	17 000
Сопротивление катушки в ом	690 ^{+8%} _{-5%}	927 ^{+8%} _{-5%}	927 ⁺⁷⁴ ₋₄₁	927 ⁺⁷⁴ ₋₄₁
Ток, при котором реле включается, в а	0,105	0,091	0,063±0,081	0,063±0,081
» » » выключается » »	0,042-0,046	0,0256±0,0284	0,029±0,037	0,027±0,036
Напряжение, при котором реле включается, в в	450 (в контактном рельсе)	80	56±79,5	56±79,5
Напряжение, при котором реле выключается, в в	264±290 (в контактном рельсе)	42±46	25,5±37,2	24±35,9
Число нормально замкнутых блок-контактов	1	2	1	—
Число нормально разомкнутых блокировочных контактов	2	1	2	2



Фиг. 81. Реле типа Р-3100; 1 — мостиковый контакт; 2 — упорный винт якоря; 3 — якорь; 4 — магнитное ярмо; 5 — сердечник; 6 — катушка; 7 — регулировочная пружина; 8 — неподвижные блокировочные контакты

Таблица 24

Типовые реле

Показатель	Тип реле					
	Р-4 Р-4А Р-4Е	Р-5	Р-6	Р-10	Р-18	Р-26
Область применения	Электровоз на два напряжения	Электровоз	Электровоз	Электровоз на два напряжения		
Назначение	Применено на панели типа ПР-13А, вместе с реле Р-18 в качестве реле перехода с одного напряжения на другое	Реле минимального напряжения	Реле максимального напряжения	Применено вместе с реле Р-4А и Р-4Е как реле перехода	Применено вместе с реле Р-4 на панели ПР-13 как реле перехода	Заменил реле Р-4

Продолжение

Показатель	Тип реле					
	P-4 P-4A P-4E	P-5	P-6	P-10	P-18	P-26
Напряжение номинальное в В	600	600	600	600	600	600
Минимальное число ампер-витков для срабатывания	950÷1 150	850÷1 150	950÷1 150	900÷1 150	950÷1 150	950÷1 150
Отношение ампер-витков выключения к ампер-виткам включения (коэффициент возврата)	0,55÷0,65	0,55÷0,65	0,55÷0,65	0,55÷0,65	0,55÷0,65	0,55÷0,65
Ток блок-контактов максимально допустимый в А (при индуктивной нагрузке)	1	1	1	1	1	1
Напряжение блок-контактов максимально допустимое в В	125	125	125	125	125	125
Вес (без панели) в кг	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9

Таблица 25

Типовые реле Р-3000

Показатель	Тип реле				
	P-3100A	P-3100	P-3102 (РН-1500 в схеме)	P-3102 (РН-3000 в схеме)	P-3150
Область применения	Моторвагон СР	Вагоны метро Г	Моторвагоны СР		Вагоны метро Г
Назначение	Промежуточное реле, ручной пуск, динамотор	Реле времени (выдержка 0,5 сек.)	Реле напряжения		Реле автоматического управления
Число витков катушки	5 650	1 100-850	21 000	21 000	5 650
Сопротивление катушки в Ом	162	9,9—31,5 (удерживающий) 0,8 подъёмной катушки	2 570	2 570	162
Ток включения реле в А	0,17	0,17 удерживающей катушки	0,020	0,055	0,17
Число нормально замкнутых контактов	1	1	—	1	1
Число нормально разомкнутых контактов	1÷2	—	2	1	—
Напряжение на контакт в В	125	600	125	125	600
Ток контактов длительный в А	20	—	20	20	—
Нажатие контактов в кг	0,3—0,36	0,3—0,4	0,3—0,36	0,3—0,36	0,2
Раствор контактов в мм	6—8	1—3	6—8	6—8	4,5—5,0
Притирание контактов в мм	2—3 (нормально разомкнутый)	1—3	2—3	2—3	0,8—1,0

носителем неподвижной магнитной системы. Блокировочные контакты, обычно мостикового типа, выполняются как обратными (нормально замкнутыми), так и прямыми (нормально разомкнутыми).

Данные реле типа Р-3000 представлены в табл. 25.

Реле типов РН-2 и РН-165 работают по принципу быстрого изменения величины давления якоря, в зависимости от угла его поворота. Это достигается соответствующим расположением поворота якоря и креплением пружины. Нулевое реле вагонов метрополитена Г типа РН-2Д-5 по конструкции сходно с реле перегрузки РП-14 и подобных ему типов. Реле не требует восстановления.

Реле автоматического пуска

Реле автоматического пуска (реле ускорения) предусматриваются как для автоматизации процессов пуска, так и торможения и ра-

ботают по принципу минимальных токовых реле.

Конструкция и схема реле этого типа в значительной степени зависят от аппаратов, осуществляющих непосредственные переключения в силовой цепи. Часто на реле ускорения кроме прямых функций, возлагается ряд дополнительных (ручной пуск, повышение чёткости работы привода и др.), что сильно усложняет их конструкцию.

Основные данные реле ускорения ЭПС приведены в табл. 26.

Наибольшее распространение в настоящее время на ЭПС имеют реле ускорения Р-40 электромагнитного типа с замкнутой магнитной системой. Снижение инертности реле достигается главным образом за счёт применения специальной подъёмной катушки, дающей дополнительный поток для притяжения якоря.

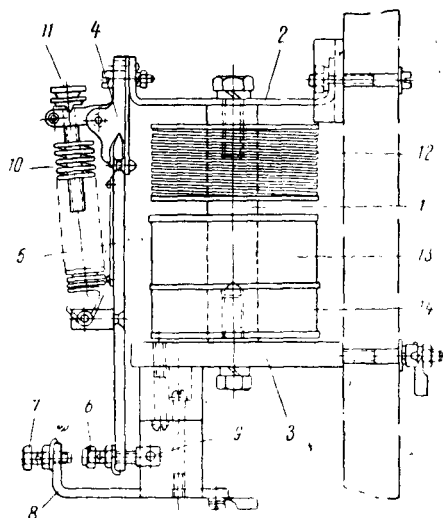
Подъёмная катушка выключается блокировкой группового контроллера и якорь удерживается лишь токовой катушкой. На фиг. 82

Основные данные реле ускорения

Таблица 26

Показатель	Тип реле				
	РУ-3Б	Р-40А-2	Р-40А-1	Р-40Б	Р-674
Область применения	Вагоны метро Б	Вагоны метро Г	Вагоны метро Г	Вагоны СР	Вагоны СД
Назначение	Реле ускорения	Реле торможения	Реле торможения	Реле ускорения	Реле ускорения
Конструкция реле	Плунжерная	Электромеханическая	Электромеханическая	Электромеханическая	Электромеханическая
Уставка в а	510—560	250—500	340—480	165—175	220—440
Длительный ток в а	600	275	275	100	275
Число блок-контактов замкнутых	2	0	0	1	3
разомкнутых	0	1	1	0	0
Ток контакта в а	1	0,3	0,3	1,5	1

представлено реле ускорения Р-40Б моторного вагона СР. Магнитная система его состоит из сердечника 1, стальных стоек 2 и 3, кронштейна 4, якоря 5. Якорь сильно развит по длине с тем, чтобы обеспечить требуемый зазор для контактов 6 при небольшом угле поворота. Снижению трения якоря способствует применение призматической опоры в кронштейне 4. Контактный болт 6 якоря может осу-



Фиг. 82. Реле ускорения Р-40Б

ществлять контакт как с контактным болтом 7, ввёрнутым в кронштейн 8, так и с упорной пластиной 9. Контактные поверхности имеют серебряные напылки. Якорь оттягивается от стойки пружиной 10, натяжение которой регулируется винтом 11. Магнитная система реле возбуждается тремя катушками: 12, 13 и 14; из них катушка 12 обтекается током тяговых двигателей, катушка 13 (подъёмная) питается от цепи управления и катушка 14 (регулирующая) служит для изменения тока уставки реле.

Реле ускорения типа Р-40А-2 вагонов метрополитена имеет аналогичную конструкцию и отличается от описанного тем, что контакт его нормально разомкнутый, а из трёх катушек две включены в цепи тяговых двигателей, а одна является подъёмной.

Такое же устройство и у реле торможения Р-40А-1. Разница в том, что у него одна силовая катушка и две подъёмные, из которых одна связана с авторежимом. Путём вычитания НС авторежимной катушки из общей НС авторежим (в зависимости от заполнения вагона пассажирами) изменяет уставку реле.

Кроме данных, приведённых в табл. 26, реле типа Р-40 имеют характеристики, указанные в табл. 27.

Реле ускорения типа Р-674 имеет сложную электромагнитную систему, предназначенную для управления несколькими контактами. Оно (фиг. 83) является по существу комбинацией двух реле: реле ускорения с замкнутой магнитной системой, токовой катушкой Т, подъёмной катушкой П и якорем Я и реле ручного пуска с Ш-образной магнитной системой, двумя якорями а и б и двумя катушками: р — ручного пуска и у — удерживающей.

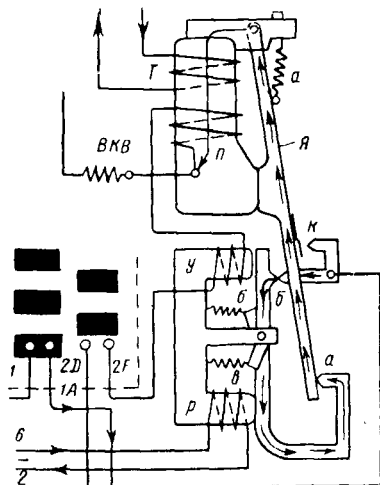
При токе в цепи тяговых двигателей, превышающем ток уставки, якорь Я притянут к сердечнику и основной контакт реле К остается разомкнутым. Применение ручного пуска вызывает притяжение якоря а и замыкание его контакта на якорь Я. Якорь б удерживается.

Таблица 27

Данные по реле Р-40

Показатель	Тип реле	
	Р-40А-2	Р-40А-1
Расстояние между разомкнутыми контактами в мм	3—8	3—8
Нажатие контактов в кг	0,1	0,1
Ток силовой катушки при отключении контактов реле и обесточенной подъёмной и авторежимной катушки в а	400	480
Минимальный ток подъёмной катушки при замыкании реле без силовой катушки в а	0,63	0,68
Число витков силовой катушки	2×2,5	5
Число витков подъёмной катушки	1 650	1 650
Сопротивление подъёмной катушки при 20°С в ом	23,4	23,4
Число витков авторежимной катушки	—	3 400
Сопротивление авторежимной катушки в ом	—	755

живающей катушки в это время не притянут магнитной системой, а поэтому контакт *б* замкнут. Замыкание контакта *а* вызывает питание вентиля *ВКВ* группового контроллера через контакты *а* и *б*, что сопровождается переходом группового контроллера на следующую позицию. При переходе возбуждается катушка *у*, которая, притягивая свой якорь, размыкает контакт *б*. Магнитный поток, создаваемый катушкой *р*, частично ответвляется в магнитную систему катушки *у*; он недостаточен для того, чтобы притянуть якорь *б*, но достаточен для удержания его в притяннутом состоянии.



Фиг. 83. Схема реле Р-674А

Основная магнитная система якоря *Я* работает так же, как и в реле ускорения типа Р-40. Первоначально якорь *Я* не притянут к магнитной системе, создавая цепь питания катушке *ВКВ* от провода *1* через блокировку группового контроллера *1-1А*, контакт реле ускорения *К*. При повороте привода группового контроллера на угол, равный приблизительно $\frac{1}{6}$ угла между соседними позициями замыканием блокировки *2Д-2Ф*, последовательно с катушкой *ВКВ* включается подъемная катушка *П*, что обеспечивает притяжение якоря *Я* к своему сердечнику, а следовательно, размыкание контакта *К*. Прекращение питания этих катушек не вызовет отпадания якоря *Я* и замыкания его контакта *К*. Это произойдет лишь после снижения тока в цепи тяговых двигателей до величины уставки реле. Токовая катушка имеет 7,5 витка шинной меди, подъемная — 870 витков медной проволоки диаметром 0,59 мм, катушка ручного пуска — 5 350 витков медной проволоки диаметром 0,27 мм и удерживающая катушка — 1 320 витков проволоки диаметром 0,44 мм. Регулировка реле в основном производится изменением натяжения пружин.

Промежуточные реле

Промежуточные реле применяются в тех случаях, когда стремятся упростить конструкцию основного реле, например ускорения, с тем, чтобы освободить его от дополнительных функций, как-то: по ручному пуску, переход-

Таблица 28

Классификация сопротивлений, применяемых на ЭПС

Показатель	Тип сопротивления					
	Пластинчатые	Ленточные	Трубчатые эмалированные	Угловые	регулируемые с хомутами	регулируемые с ползунком
Область применения	Силовая цепь всех видов ЭПС	Силовая и вспомогательная цепь	Цепь управления всех видов ЭПС	Силовая цепь трамваев, троллейбусов, регуляторов напряжения	Вспомогательные цепи всех видов ЭПС	Цепь управления электровозов и моторвагонов
Материал	Чугун	Фехраль, никром ¹ 30	Нихром-константан 7,5	Уголь	Фехраль, никром 22	Константан
Длительный ток одной цепи в а	220	Фарфор	Стеатит, фарфор	—	Фарфор	Слюда
Изоляция	Миканит	700	250	Слюда и асбест	210	180
Предельно допустимое превышение температуры в °С	430	СЛ; КФ; ПП	ТС	300	СР	ПС
Типовые обозначения	СЖ			СТУ	СРО	СТК
						Константан 30 Фарфор 250

¹ Для сопротивлений типа ПП.

Т а б л и ц а 29

Основные характеристики реостатного пуска

Характер пуска	Напряжение сети U_c			Напряжение на тяговом двигателе U_k		
	$U_k = U_c$			$U_k = 0,5 U_c$		
Число группировок двигателей	3	4	4	2	3	3
Число параллельных цепей последней группировки m	4	6	8	2	3	4
Коэффициент потерь в реостатах (отношение потерь к потерям при пуске без переключения двигателей) κ_n	0,375	0,33	0,34	0,50	0,333	0,375
К. п. д. пуска в %	73	75	74,4	67	75	73

Примечание. Данные табл. 29 относятся к пуску без применения регулирования возбуждения двигателей в качестве пусковых ступеней.

ным режимам и т. д. Промежуточные реле просты по конструкции и существенно от типовых реле не отличаются.

СОПРОТИВЛЕНИЯ

Сопротивления применяются на ЭПС в силовых цепях (пусковые, тормозные, шунтирующие, переходные и др.), во вспомогательных высоковольтных цепях (пусковые и постоянные сопротивления вспомогательных машин, постоянные сопротивления в цепях аппаратов защиты и др.) и в низковольтных цепях управления (регулирующие сопротивления, шунтовые и др.).

Классификация основных видов сопротивлений ЭПС приведена в табл. 28.

Литые чугунные сопротивления имеют широкое распространение в силовых цепях электровагонов и моторных вагонов, преимущественно в качестве пусковых и тормозных сопротивлений.

Определение необходимой мощности сопротивлений и их подбор производится на основе электрического, а также теплового расчетов.

Ориентировочно расчетная мощность, выделяемая в пусковых сопротивлениях (реостатах), может быть предварительно определена по отношению

$$P_n = \frac{0,5 \kappa_n U_c I_{cp} m}{\kappa_n \cdot 10^3} \text{ квт.}$$

Здесь I_{cp} — средний пусковой ток двигателя;

m — число параллельных цепей двигателей при последней их группировке;

κ_n — коэффициент потерь в реостатах (табл. 29);

κ_u — коэффициент использования реостатов (табл. 30).

Номинальная мощность, выделяемая в комплексе сопротивлений P_p , может быть определена из соотношения:

$$P_p = \sum I_{\infty}^2 R_c 10^{-3} = \sum P_c \text{ квт.}$$

Здесь I_{∞} — длительный ток сопротивления (при рабочей его температуре);

R_c — величина сопротивления секции (при температуре 25°C);

P_c — номинальная мощность одного элемента сопротивлений.

Т а б л и ц а 30

Коэффициент использования реостатов

Назначение подвижного состава	Коэффициент использования реостатов κ_u
Электровагоны с реостатным торможением	0,6—0,7
Электровагоны без реостатного торможения	0,5—0,6
Моторвагоны с реостатным торможением	0,7—0,8
Моторвагоны без реостатного торможения	0,5—0,7

Наиболее распространенные формы литых элементов сопротивлений представлены на фиг. 84. Основные характеристики чугунных элементов, применяемых на отечественном ЭПС магистральной тяги, приведены в табл. 31. Элементы с условными номерами 1 и 2 преимущественно используются на вагонах; остальные — на электровагонах.

Т а б л и ц а 31

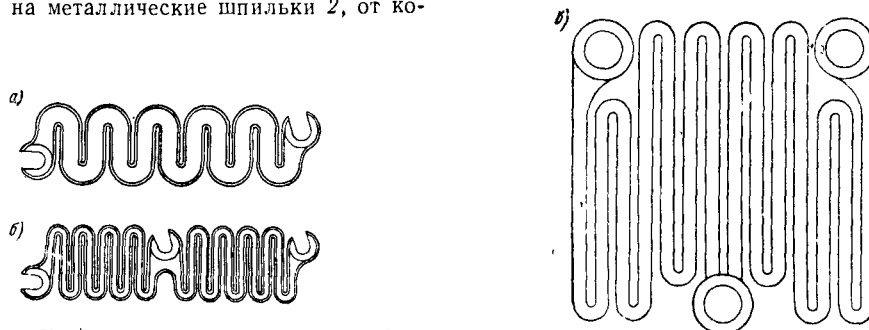
Основные характеристики элементов чугунных сопротивлений

Форма элемента по фиг. 84	Вес элемента в кг	Условный № элемента	Сопротивление элемента в ом при 25°C	Длительный ток в а при 450°C	Длительная мощность в вт
a	1,69	1	0,01	135	182
a	1,27	2	0,02	110	241
a	1,54	61	0,0044	220	213
a	1,32	61	0,0057	190	206
a	1,24	62	0,0075	160	192
b	1,27	63	0,0095	140	186
b	1,32	64	0,0145	120	209
b	1,12	65	0,0215	95	193
b	1,01	66	0,0325	72	168
b	1,00	67	0,0495	60	178
b	1,15	68	0,060	50	150
a	—	80	0,0088	220	426
a	—	81	0,0114	190	412
a	—	82	0,0150	160	394

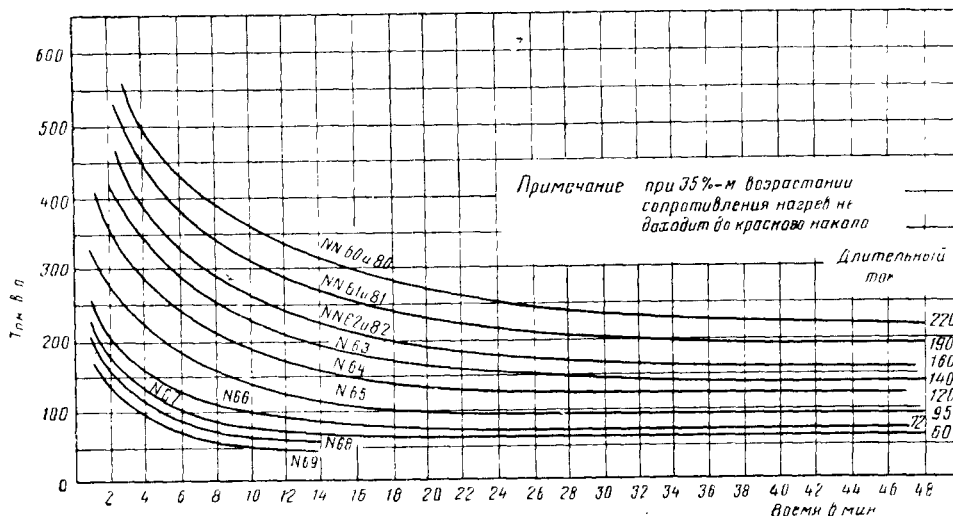
На фиг. 85 представлены тепловые характеристики $I = f(t)$ для основных элементов сопротивлений.

Элементы сопротивлений собираются в специальных каркасах — ящиках. Конструкция ящика сопротивления типа СЖ-1Б показана на фиг. 86. Чугунные элементы 1 набраны на металлические шпильки 2, от ко-

дая низкой стоимостью самих элементов, имеют ряд существенных недостатков. К ним относятся: низкая температура допустимого перегрева (450°C), хрупкость, непостоянство суммарного сопротивления за счёт влияния контактных поверхностей элементов и силы



Фиг. 84. Чугунные элементы сопротивлений.



Фиг. 85. Тепловые характеристики чугунных элементов сопротивления типа СЖ

торых изолированы втулками из теплостойкого миканита 3. Шпильки с помощью гаек 7 соединяют комплект набранных сопротивлений между стальными боковыми рамами 4. Изоляция шпилек от боковых рам осуществляется как втулками 3, так и слюдяными шайбами 5.

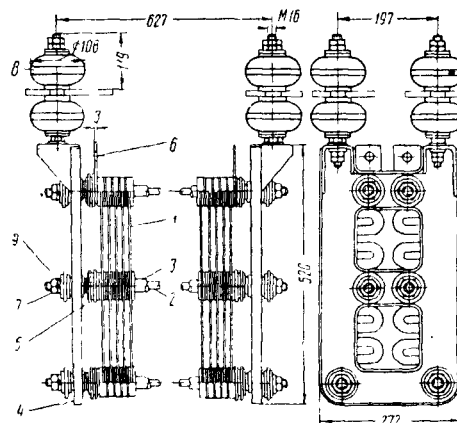
Для компенсации тепловых деформаций комплекта между боковыми рамами и элементами устанавливаются пружинные шайбы 9.

Необходимые электрические соединения между элементами осуществляются установкой между ними слюдяных или металлических шайб. Подобным же образом присоединяются и медные выводные пластины 6. Для предохранения элементов от замыкания на землю весь ящик крепится к раме вагона или каркасу электровагона через миканитовые втулки и изоляторы 8, рассчитанные на полное напряжение.

В табл. 32 приведены основные данные ящиков с чугунными элементами сопротивлений.

Чугунные элементы сопротивления, обла-

их взаимного нажатия, высокий вес, высокая стоимость изоляционных деталей и др.



Фиг. 86. Ящик сопротивлений СЖ-1Б

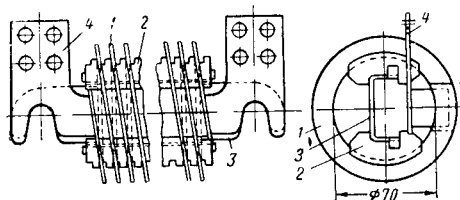
Таблица 32

Ящики с чугунными элементами сопротивлений

Показатель	Т и п я щ и к а							
	СЖ-1А	СЖ-1В	СЖ-2Б СЮ-2М	СЖ-6А	СЖ-7А	СЖ-7Б СЖ-8А	СЖ-9А	СЖ-25
Напряжение (без подвесных изоляторов) в в . . .	550	550	550	550	550	550	550	550
Число элементов в ящике	98	80	26	60	96	104	60	80
Условные номера применяемых элементов	60—63	60—63	1 и 2	60—68	60—68	60—68	60—68	60—68
Мощность ящика в кВт	21,0—14,7	17,0—12,0	4,7—6,25	12,8—9,0	20,4—14,4	22,0—15,8	12,8—9,0	17,0—12,0
Вес ящика в кг	143	124	50	97	145	156	98	125

В связи с этим в последнее время наблюдается стремление к переходу на сопротивления из других материалов.

В зарубежной практике применяются фехралевые сопротивления, набираемые на подоприе чугунных из отдельных штампованных элементов.



Фиг. 87. Элемент фехралевый сопротивления типа КФ

В отечественном тяговом аппаратостроении такая конструкция не получила развития в связи с тем, что ей присущи недостатки чугунных сопротивлений. Отечественная техника базируется преимущественно на применении ленточных фехралевых сопротивлений. Наиболее широкое применение для большой мощности имеют сопротивления типа КФ, основные данные которых приведены в табл. 33.

На фиг. 87 представлена конструкция этого элемента. Фехралевая лента 1 намотана в виде спирали на ребро на фарфоровые или стеатитовые гребенчатые изоляторы 2, которые в свою очередь пазами установлены на стальном держателе 3. К концам фехралевой ленты припаяны твердым сплавом или приварены выводные соединительные медные пластины 4. Ящик фехралевых сопротивлений типа КФ показан на фиг. 88.

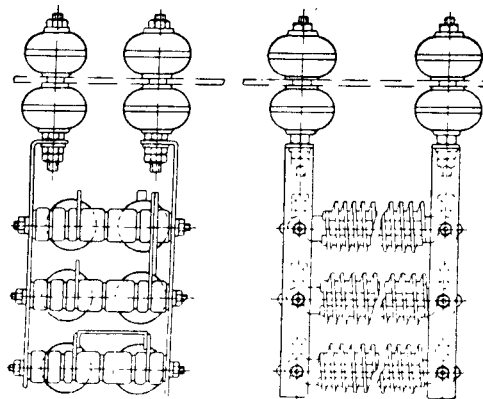
В соответствии со схемой сопротивлений элементы соединяются между собой медными шинами, которые крепятся к выводным пластинам болтами. Изоляция элементов рассчитана на напряжение 500—600 в. Кроме того, ящик подвешивается на изоляторах, рассчитанных на полное напряжение контактной сети.

Сходную конструкцию с сопротивлениями КФ имеют сопротивления СЛ, отличающиеся преимущественно формой спирали (овал). Основные данные этих сопротивлений приведены в табл. 34.

Хотя фехраль и допускает перегревы до 650—700°C, элементы КФ и СЛ рассчитаны на работу с перегревом не свыше 450°C, так как более высокая температура опасна для окружающего оборудования.

Для меньших токов применяются сопротивления с намоткой ленты плашмя.

Своеобразным видом являются сопротивления типа ПП, применяемые в цепях вспомогательных машин электровозов. Устройство этих сопротивлений показано на фиг. 89. Сопротивление собирается на стальной трубе 1, покрытой изоляцией 8. Торцы трубы закрыты изоляционными пробками 6. На трубе, между зажимными хомутами 9, которые являются одновременно выводными зажимами, расположены витками шайбы 2 и 3, выполненные по винтовой образующей. В винтовую канавку, образуемую этими шайбами, заложена спираль ленточного сопротивления 4. Она дополнительно закрепляется кручёным асбестовым шнуром 5, который проходит внутри спирали. Для предохранения витков спирали от замы-



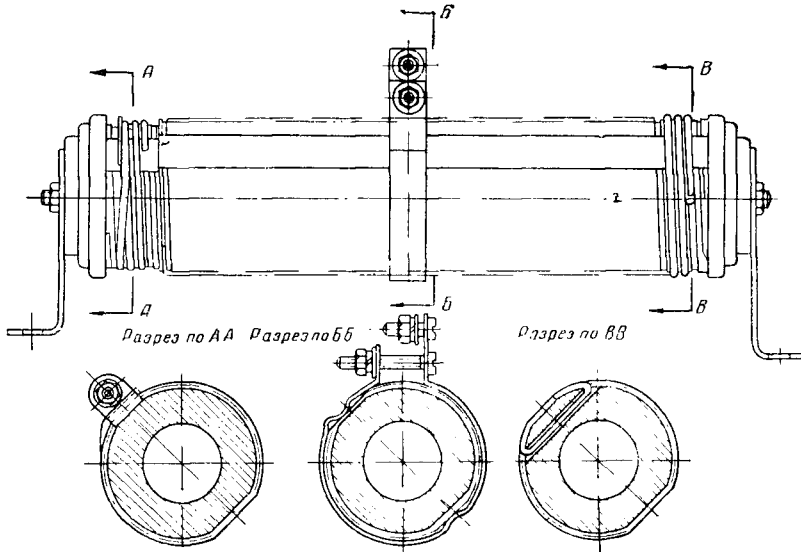
Фиг. 88. Ящик с элементами фехралевых сопротивлений типа КФ

кания между ними дополнительно проложены изоляционные спиральные шайбы 7. Секции сопротивлений крепятся зажимными хомутами на стальном установочном каркасе.

При меньших мощностях (150—200 вт) применяются проволочные сопротивления, намотанные на фарфоровый сердечник

или стеатитовую трубку, на которой намотана константановая или нихромовая проволока. Концы проволоки припаяны к установочным лапкам, являющимся одновременно электри-

Поэтому такие вставки применяются при нагрузках, носящих более постоянный характер, преимущественно для защиты от коротких замыканий.



Фиг. 90. Элементы сопротивления СР

ческими зажимами. После намотки поверхность трубки заливают эмалью, в связи с чем она в состоянии выдержать температуру до 250—310°C.

С 1954 г. трубки типа ТС промышленность не выпускает; взамен их начат выпуск трубчатых сопротивлений типа ПЭ по ГОСТ 6513—53.

ПЛАВКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

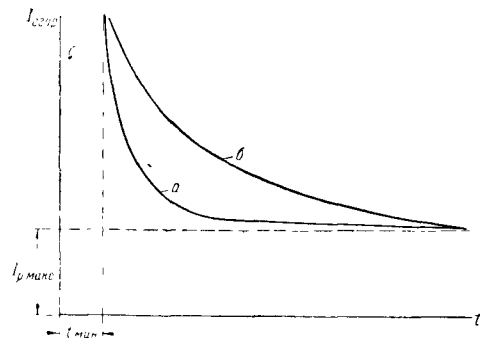
Плавкие предохранители являются простейшими приборами защиты от коротких замыканий и перегрузок. Их работа подразделяется на процессы нагревания, расплавления металлической вставки и гашения дуги, возникшей при разрыве цепи.

На фиг. 91 представлены характеристики сгорания предохранителей. Кривая *a* соответствует плавкой вставке, имеющей меньшее поперечное сечение и меньшую теплоёмкость, чем вставка, соответствующая характеристике *b*.

Получение необходимой характеристики вставки возможно как за счёт выбора её формы, так и за счёт применения специальных наполнителей, повышающих общую теплоёмкость предохранителя. Обе кривые в зоне малых токов асимптотически приближаются к предельному значению тока сгорания, являющемуся одновременно и предельным рабочим током $I_{р. макс}$. При токе, соответствующем номинальному току защиты, имеет место время $t_{мин}$, которое может быть одинаковым для плавких вставок обоих типов (кривые *a* и *b*). Работа предохранителя со вставкой типа *a* будет более чёткой, чем со вставкой типа *b*. Однако они более подвержены изменению характеристик в результате высоких перегревов, не вызывающих расплавления, но усиливающих окисление расплавляющейся перемычки.

Вставки *b* более пригодны для защиты цепей, подверженных частым толчкам тока, отключать которые нет необходимости.

Вопрос дугогашения имеет решающее значение для работы плавкого предохранителя и определяет его конструкцию. Особое значение имеет дугогашение для предохранителей высоковольтных цепей.



Фиг. 91. Характеристики плавких предохранителей

Длительное время сгорания предохранителя и тяжёлые условия дугогашения препятствуют их применению для защиты силовых цепей электровозов.

Классификация тяговых предохранителей приведена в табл. 35.

На фиг. 92 представлен предохранитель с роговым дугогашением типа ГЛП-1650, предназначенный для защиты силовой цепи моторных вагонов С_д; его длительный ток 700 *a* и ток сгорания в течение 25 сек. — 900 *a*.

Таблица 35

Плавкие предохранители, применяемые на ЭПС

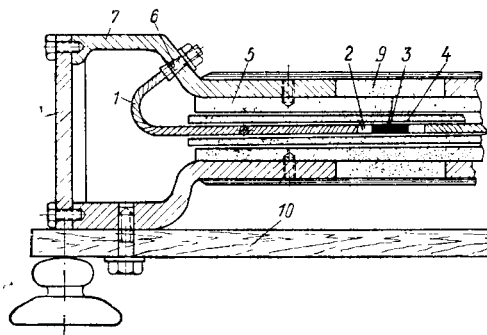
Тип предохра- нителя	Ток номи- нальный I в а	Напряжение предельное U_c в в	Область применения
Предохранители с роговым дуго- гашением . . .	500—700	1 500	Силовая цепь моторвагонов СД
Герметический предохранитель с расширитель- ным дугогаше- нием	400—500	3 000	Силовая цепь моторвагонов СР
Предохранители с магнитным дугогашением .	800—1 000	825	Силовая цепь моторвагонов метро
Расширительные предохранители стреляющего типа	70—100	3 000	Вспомога- тельные цепи электропозов и моторваго- нов
Засыпные герме- тические предо- хранители . . .	70—100	3 000	Вспомога- тельные цепи электропозов и моторва- гонов
Трубчатые предо- хранители . . .	До 100	50—110	Цепи управ- ления элек- тропозов и моторвагонов

Таблица 36

Основные характеристики предохранителей
ЯП-22А

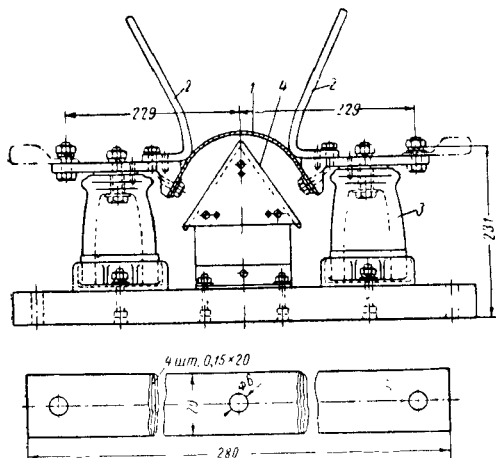
Показатель	Напряжение	
	3 000/1 500 в	3 000 в
Тип вставки	ЯП-22А-2	ЯП-22А-1
Материал вставки .	Олово	Олово
Диаметр » в мм	12,5	9,5
Длительный ток в а	400	200
Сопротивление вставки в ом . . .	0,00006 ± 15 %	

Оловянная вставка 3, обмотанная асбестовой лентой 4, посредством латунных втулок 2 впаяна между двумя кусками гибкого медного кабеля 1 с наконечниками 6. Вставка заключена в фибровую трубку 5 и помещается внутри герметического корпуса, составлен-



Фиг. 93. Главный предохранитель типа ЯП-22А-2 моторных вагонов серии СР

На фиг. 93 представлен главный предохранитель типа ЯП-22А-2 моторных вагонов серии СР. Предохранитель герметического рас-



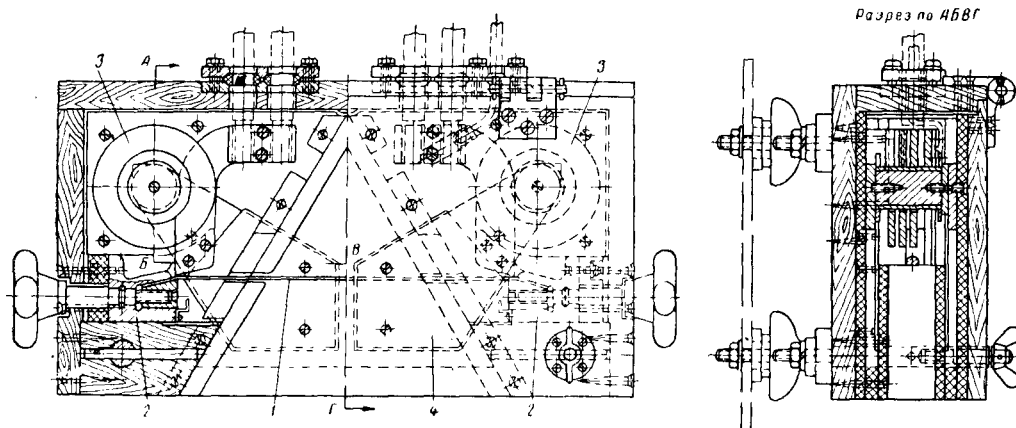
Фиг. 92. Предохранитель с роговым дугогашением ГЛП-1650: 1 — плавкая вставка; 2 — дугогасительные рога; 3 — изолятор; 4 — призма. Материал плавкой вставки, показанной на эскизе: фольга из красной меди

ширительного действия; его основные характеристики приведены в табл. 36.

ного из двух стальных расширительных камер 7, закрытых с торцов крышками 8. В средней части находятся: толстостенная фибровая трубка 9, внешнее фибровое кольцо, покровная изоляция, состоящая из гетинаксовой гильзы или обмотки киперной лентой с многократной лакировкой. Весь предохранитель закрепляется болтами на изолированной доске 10.

При сгорании вставки 3 дугообразование сопровождается выделением большого количества газов в трубках 5 и 9, что вызывает выталкивание ими концов гибких кабелей 1 из трубок. Наряду с удлинением дуги это сопровождается быстрым охлаждением газов за счёт их расширения в массивных металлических камерах; удлинение дуги и деионизация газов способствуют быстрому её гашению.

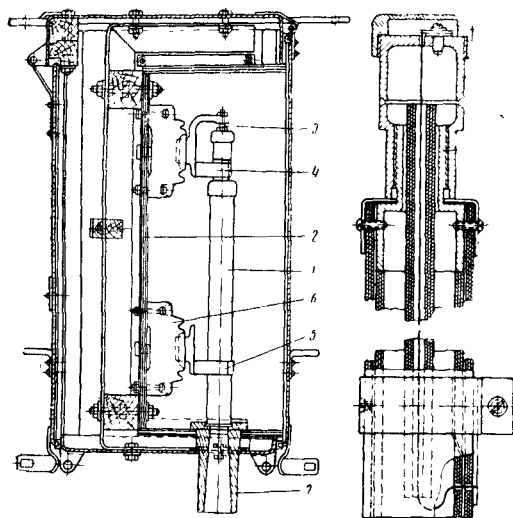
Предохранитель типа ЯП-13 с электромагнитным дугогашением (для вагонов Московского метрополитена) показан на фиг. 94. Он рассчитан на длительный ток 700 а. Вставка состоит из двух полос медной фольги толщиной по 0,2 мм и шириной 50 мм. В середине вставок выполнено отверстие диаметром 14 мм. Вставка 1 закрепляется между клеммовыми зажимами 2. Последовательно в силовую цепь включены две катушки магнитного дугогашения 3. Поток дугогашения создаётся между щеками 4 в изоляционном корпусе предохранителя, армированном внутри огне-



Фиг. 94. Предохранитель с магнитным дугогашением типа ЯП-13

стойкими асбоцементными пластинами. Выхлоп предохранителя направлен вниз, что очень важно в условиях ограниченных габаритов тоннеля метрополитена.

На фиг. 95 представлен предохранитель ЯП-47 стреляющего расширительного типа,



Фиг. 95. Расширительный предохранитель стреляющего типа ЯП-47

защищающий вспомогательные цепи моторных вагонов серии Ср; он рассчитан на напряжение 3 000 в и ток 60 а. Предохранитель выполнен в стальном защитном кожухе, предназначенном для установки под кузовом вагона. Плавкая вставка 1 устанавливается в держателях 4 и 5, укрепленных на фарфоровых изоляторах 6, которые смонтированы на асбоцементной панели 2. Нижним концом вставка упирается в выхлопную изоляционную трубку 7, направляющую газы и пламя в пределы ящика. В верхнем держателе 4 имеется специальный болт 3, плотно прижимающий вставку к выхлопному патрубку. При сгорании медного проводника во взрывной камере возникает высокое давление,

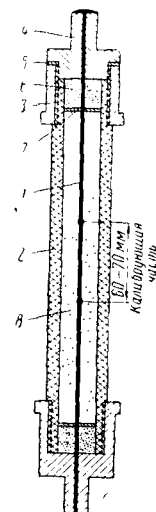
вследствие чего остатки проводника выбрасываются «выстрелом» из трубки. Этим быстро увеличивается длина дуги, что способствует её гашению. Недостатком предохранителей этого типа является большое количество выделяющихся при сгорании ионизированных газов и пламени.

Вставка засыпного типа представлена на фиг. 96. Проволока из меди или другого материала помещается в гетинаксовую или фарфоровую трубку, засыпанную кварцевым песком или мраморной крошкой. Трубка герметизирована путём заполнения её концов гипсом и постановки металлических контактных колпачков.

Процесс дугогашения осуществляется внутри трубки без выделения ионизированных газов и пламени. Дуга гасится частично вследствие повышения давления в зоне её образования, частично же за счёт того, что она засыпается изолирующим материалом.

Упрощённой разновидностью таких предохранителей являются трубчатые предохранители в низковольтных цепях управления. При низком напряжении условия дугогашения значительно облегчаются, что даёт возможность не предусматривать плотной герметизации трубки предохранителя. Вполне достаточно применение мраморной или меловой крошки.

В табл. 37 и 38 приведены данные о вставках низковольтных и высоковольтных плавких предохранителей стреляющего и засыпного типов.



Фиг. 96. Схема высоковольтной вставки предохранителя засыпного типа: 1 — плавкая вставка; 2 — гетинаксовая трубка; 3 — корпус контакта; 4 — колпачок; 5 — картонная шайба; 6 — гипс; 7 — асбестовая шайба; 8 — кварцевый песок

Таблица 37

Медные вставки высоковольтных плавких предохранителей стреляющего и засыпного типов

Номинальный ток в а	Плавкая вставка, размеры (сечение) в мм	Тип предохранителя	Конструкция
6	Ø 0,35	ДПО-4А	Стреляющий
11	Ø 0,47	ДПО-4А	»
32	Ø 0,72	ДПО-4А	»
40	Ø 0,51×5	ДПО-1	»
10	Ø 0,3	—	Засыпной
25	Ø 0,3×2	—	»
35	Ø 0,3×3	—	»

Таблица 38

Вставки низковольтных плавких предохранителей

Номинальный ток в а	Плавкая вставка			Наполнитель
	Размеры (сечение) в мм	Количество	Материал	
5	Ø 0,19	1	Медь	Меловая крошка
6	Ø 0,21	1	»	То же
10	Ø 0,29	1	»	»
15	Ø 0,35	1	»	»
20	Ø 0,44	1	»	Мраморная или меловая крошка
25	Ø 0,53	1	»	То же
30	Ø 0,55	2	»	»
40	Ø 0,7	1	»	»
45	Ø 0,25	3	»	»
45	Ø 0,82	1	»	»
45	0,3×10	1	Цинк	»
50	Ø 0,53	2	Медь	»
80	0,3×10	2	Цинк	Мраморная крошка

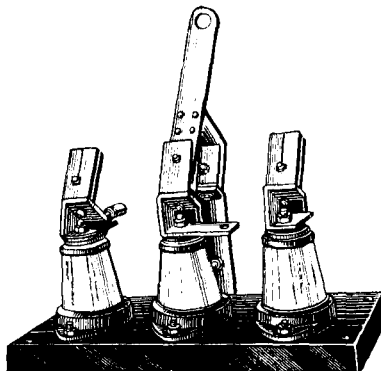
РАЗЪЕДИНИТЕЛИ И ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

К этой группе аппаратов относятся: разъединители силовых цепей электровозов (главные разъединители); разъединители силовых цепей моторных вагонов; разъединители силовой цепи вагонов метрополитена; разъединители вспомогательных цепей электровозов; отключатели моторов, предназначенные как для отсоединения неисправных тяговых двигателей от силовой цепи (преимущественно электровозные), так и для переключения схемы на аварийный режим; разъединители цепей управления (моторвагонов); комбинированные разъединители цепей управления и цепей тяговых двигателей (вагоны метрополитена).

Фиг. 97. Главный разъединитель типа ГВ-1

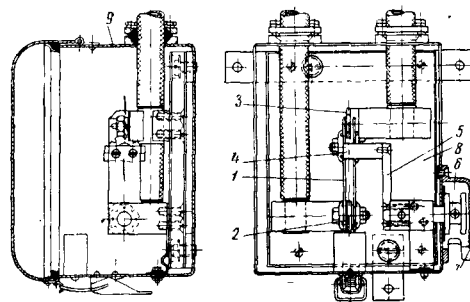
В табл. 39 приведены основные данные разъединителей и отключателей подвижного состава.

У разъединителя ГВ-1 (фиг. 97) нож 1 пружинно закреплён в щеках среднего держателя. Он имеет два положения, при которых замыкается или со щеками верхнего держателя 2 или со щеками нижнего держателя.



Фиг. 98. Разъединитель крышевого типа РК моторвагонов

Держатели закреплены на стальной планке 3, опрессованной изоляцией. Для переключения служит изоляционная штанга 4. На фиг. 98 показан крышевой разъединитель типа РК. В среднем положении нож этого разъединителя заземляет силовую цепь вагона. Его переключение осуществляется специальной штангой с земли. Примером подвагонного разъединителя является разъединитель ГВ-10Г. Нож 1 разъединителя ГВ-10Г (фиг. 99) закреплён в контактных щеках 2 и



Фиг. 99. Главный разъединитель ГВ-10Г-1

охватывает контакт 3. Он приводится в действие через скобу 4 и изоляционную планку 5 валиком 6. Поворот валика может быть осуществлён только с помощью съёмной реверсивной рукоятки контроллера машиниста. Фасонный колпачок 7 даёт возможность устанавливать и снимать рукоятку только в фиксированных положениях разъединителя. Разъединитель установлен с помощью изоляционной панели 8 в защитном кожухе 9.

На фиг. 100 показан многополюсный отключатель тяговых двигателей моторвагонного представляющий собой два двухпозиционных шестиполусных рубильника. Каждый нож

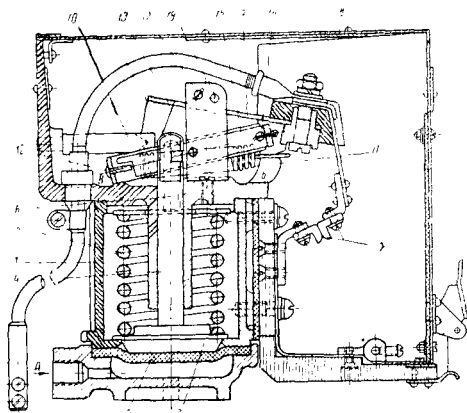
электропневматические вентили аппаратов и аппараты электрического управления тормозом.

Регуляторы давления

Регуляторы давления имеют назначением автоматическое управление электродвигателями компрессоров в зависимости от давления сжатого воздуха в главных резервуарах ЭПС. В функции регулятора давления входит включение электродвигателя при снижении давления в резервуарах ниже установленной величины и выключение двигателя при достижении давления установленной величины. Работа регулятора в значительной степени зависит от величины разницы давлений (перепада), на которую регулируется аппарат. Обычно величина перепада давления принимается $1,5-2,0 \text{ кг/см}^2$.

Наиболее распространенным на отечественном ЭПС является регулятор типа АК-6, общий вид которого показан на фиг. 102. Регулятор состоит из цилиндра 1, нижнее окно которого закрыто резиновой диафрагмой 2. Диафрагма является опорой для диска 3 со штоком 4. Диск находится под давлением пружины 5. Регулировка нажатия пружины возможна за счёт ввёртывания и вывёртывания двух регулировочных винтов 6. Подвижной контакт 7 укреплен на изоляторе 8 с помощью пружины. Изолятор в свою очередь закреплён на стальном рычаге 9, конец которого упирается вырезами в два призматических упора 10.

При замкнутом контакте рычаг 9 под влиянием двух пружин 11 упирается уступами В в верхнюю крышку цилиндра. Концы этих пружин связаны с одной стороны с рычагом 9, а с другой — с промежуточным рычагом 12,



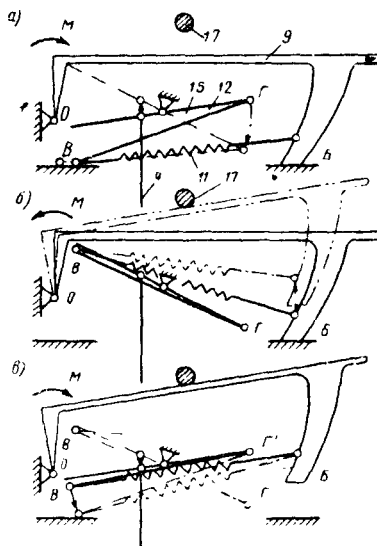
Фиг. 102. Регулятор давления АК-6А

вращающимся на валике 13. Это положение соответствует схеме а (фиг. 103).

При повышении давления в главных резервуарах диск 3, сжимая пружину 5, перемещается вверх, поднимая шток 4. Конец штока поворачивает внутренний рычаг 15 относительно валика 13. С помощью валика 16 рычаг 15 поворачивает промежуточный рычаг 12, поднимая левые точки опоры пружины 11.

Импульсное размыкание контакта 7 будет после того, как левые точки В опоры пружины 11 перейдут вверх через линию, соединяющую ось вращения рычага 9 с точкой опоры пружины 11.

Угол поворота рычага 9 при этом ограничивается его упором в валик 17 стойки 18 (схема б, фиг. 103).



Фиг. 103. Кинематическая схема регулятора давления АК-6А

Понижение давления в главных резервуарах сопровождается опусканием диска 3 и штока 4 под действием пружины 5. Этим вызывается перемещение точки В вниз. Как только эта точка переместится ниже осевой линии, соединяющей точку Г с точкой О поворота рычага 9, произойдет мгновенное замыкание контактов 7 (схема в, фиг. 103).

Так как при разомкнутых контактах правая точка опоры пружин 11 находится выше, чем при замкнутых контактах, система будет проходить «мёртвую» точку при более низком положении диска 3, т. е. при меньшем давлении, чем давление, соответствующее режиму выключения.

Изменение величины перепада давлений может быть осуществлено перестановкой валика 17 в другое отверстие стойки 18.

Сжатый воздух подводится к регулятору давления через отверстие А.

Ниже приведены основные технические данные регулятора давления АК-6А:

Длительный ток в а	3
Расстояние между разомкнутыми контактами в мм	9-11
Притирание контактов в мм	2,5-3,5
Ширина контактов в мм	12
Нажатие контактов в кг	1,5-2,5
Распор контактов в мм	9-15
Пределы регулирования в кг/см ²	7-10
Давление воздуха при размыкании контактов в кг/см ²	7,8-8,2
То же при замыкании контактов в кг/см ²	6,3-6,7
Вес в кг	8

Эти данные приведены для регулирования на вагонах метро. На электровозах ВЛ2

регулировка осуществляется в пределах давления $9-0,3 \text{ кг/см}^2$ при перепаде $1,75 \div \pm 2,15 \text{ кг/см}^2$.

Клапаны пантографов и песочниц

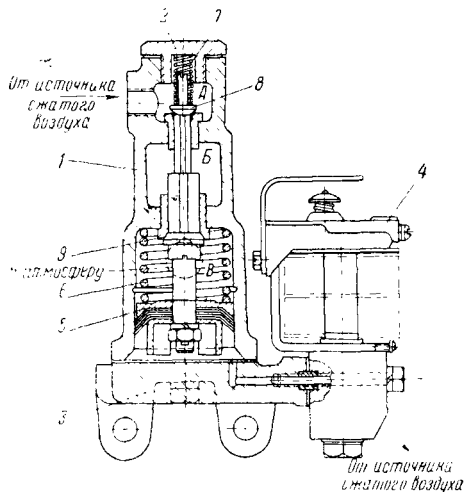
Когда объём цилиндра пневматического аппарата велик или имеет значительный расход воздуха, обычные электропневматические клапаны не в состоянии компенсировать расход воздуха. В этих случаях применяются специальные электропневматические клапаны.

Клапаны пантографа по характеру включения электромагнитных катушек подразделяются на клапаны непрерывного действия и импульсного. На электровозах в связи с наличием блокировок дверей высоковольтных камер пантографами преимущественно применяются клапаны непрерывного действия. Клапаны же пантографов моторных вагонов выполняются импульсного действия.

На фиг. 104 показан клапан пантографа непрерывного действия. Корпус 1 пневматической части клапана имеет три камеры: А, В и В. Сверху он закрыт пробкой 2 и снизу — крышкой 3. Камера А постоянно сообщается с источником сжатого воздуха, камера В — с цилиндром пантографа, камера В — с атмосферой. В камере В имеется поршень 5, отжимаемый пружинами 6 к крышке 3.

Между камерами А и В находится золотник 8, который нормально под давлением пружины 7 и сжатого воздуха разобщает эти камеры.

Золотник 9 между камерами В и В также разобщает эти камеры. Когда под поршень поступает сжатый воздух от электропневматического вентиля 4, поршень прижимает клапан 9 к своему седлу. При этом стебель золот-

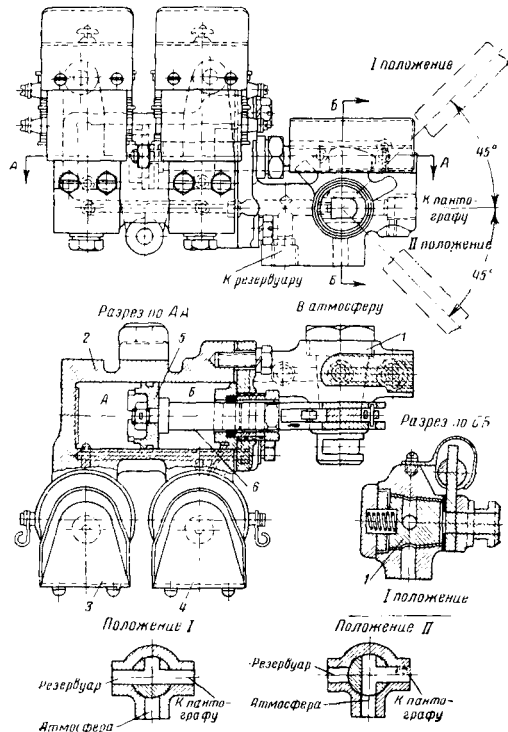


Фиг. 104. Клапан пантографа типа КЛП-53А

ника 9, упираясь в стебель золотника 8, поднимает его над своим седлом, обеспечивая сообщение камеры В с камерой А. Сообщение камер В и В осуществляется через отверстие с большим сечением, давая возможность воздуху быстро выходить из цилиндра пантографа.

Наоборот, сообщение камер А и В выполнено через отверстие малого сечения, что задерживает подачу воздуха в цилиндр пантографа, вызывая замедление его подъема.

При невозбужденной катушке вентиля сжатый воздух из-под поршня выходит в атмосферу. Поршень под давлением пружины опускается в своё нижнее положение, соединяя цилиндр пантографа с атмосферой.



Фиг. 105. Клапан пантографа импульсного действия типа КЛП-52В

Ещё проще конструкция клапанов песочниц, работающих также по принципу непрерывного действия. В этом случае используются обычные электропневматические клапаны с держателями, обеспечивающими возможность их установки и присоединения труб.

На фиг. 105 представлен клапан пантографа импульсного действия типа КЛП-52В. Клапан представляет собой трёхходовой кран с приводом от воздушного цилиндра 2. Камеры А и В цилиндра соединены каналами с двумя электропневматическими вентилями 3 и 4 включающего типа. Возбуждение одного из вентилях вызовет перемещение поршня 5 и связанного с ним штока 6 в одно из крайних положений. При этом вилка штока своими роликами будет поворачивать пробку крана в одно из положений, показанных в правом нижнем углу рисунка. В дальнейшем клапан удерживается в установленном положении без подачи сжатого воздуха в цилиндр. Для контроля работы аппарата предусмотрена также возможность переключения его крана вручную с помощью съёмной реверсивной рукоятки контроллера машиниста.

Клапан КЛП-52В имеет следующие основные технические данные: диаметр поршня

45 мм, ход поршня 70 мм, угол поворота съёмной рукоятки 90°; рабочее давление воздуха 5 кг/см², наименьшее давление воздуха 3,2 кг/см², тип вентиля ВВ2, наименьший ток срабатывания вентиля (при давлении 5 кг/см²) 0,07 а.

РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

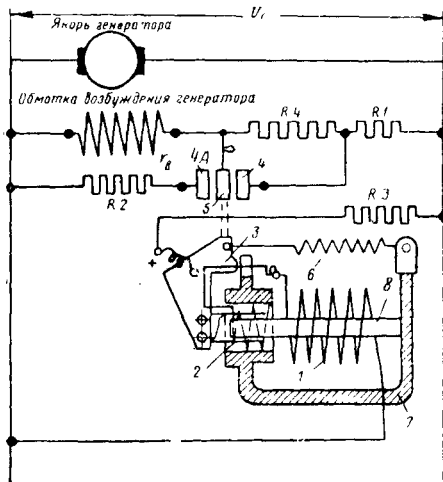
Классификация основных видов регуляторов напряжения ЭПС приведена в табл. 40.

Таблица 40

Основные данные регуляторов напряжения

Показатель	Типы регулятора напряжения	
	дисковый	вибрационный
Область применения	Электровазы и моторные вагоны	Электродинамический
Система привода	Соленоидный с вращающимся коммутатором	Электродинамический
Типовые обозначения	СРН-1Б СРН-3Б	СРН-2 СРН-7
Номинальное напряжение, поддерживаемое регулятором, в в	50	50

Наиболее распространёнными из них на отечественном ЭПС в настоящее время являются вибрационные регуляторы с угольными контактами и электродинамической системой, схема которых показана на фиг. 106.



Фиг. 106. Принципиальная схема вибрационного регулятора типа СРН-2

Регулирование возбуждения генератора осуществляется изменением сопротивления в цепи обмотки параллельного возбуждения. При этом возможны три следующих соединения в схеме:

а) последовательно с обмоткой возбуждения включено сопротивление R_1 , при котором ток возбуждения

$$i_{\theta \text{ макс}} = \frac{U_{\Gamma} - L \frac{di}{dt}}{R_1 + r_{\theta}} a;$$

б) последовательно с обмоткой возбуждения включены сопротивления R_1 и R_4 , что соответствует току возбуждения

$$i_{\theta \text{ средн}} = \frac{U_{\Gamma} - L \frac{di}{dt}}{R_1 + R_4 + r_{\theta}} a;$$

в) последовательно с обмоткой возбуждения включены сопротивления R_1 и R_4 и обмотка зашунтирована сопротивлением R_2 . При этом ток возбуждения i_{θ} будет

$$i_{\theta \text{ мин}} = \frac{U_{\Gamma} - L \frac{di}{dt}}{\frac{(R_1 + R_4)(R_2 + r_{\theta})}{R_2} + r_{\theta}} a.$$

Движущей системой регулятора является электродинамическое реле напряжения, катушки которого, неподвижная 1 и подвижная 2, последовательно с сопротивлением R_3 включены на напряжение U_{Γ} . Якорь реле 3 при низком напряжении U_{Γ} пружиной 6 поворачивается таким образом, что подвижной угольный контакт 5 замыкается с неподвижным контактом 4. При этом устанавливается соединение а усиления возбуждения. При повышении напряжения U_{Γ} катушка 1 втягивается магнитной системой, состоящей из ярма 7 и сердечника 8. Подвижной контакт 5 при этом выйдет из соприкосновения с неподвижным 4 или 4А. В этом случае установится соединение б. Подобным же образом дальнейшее повышение напряжения U_{Γ} вызовет соединение контакта 5 с неподвижным контактом 4А, установив соединение в. Применение электродинамической системы, обладающей малой инерцией и малой массой подвижной части якоря, приводит к тому, что в процессе регулирования подвижной контакт начинает вибрировать, то соприкасаясь с одним из неподвижных контактов, то размыкая это соединение. Колебания осуществляются с малыми амплитудами, но высокой частотой, в результате чего точность регулирования при номинальном напряжении 50 в лежит в пределах около 1 в.

Регулятор характеризуется величинами размыкаемого напряжения U_{κ} , размыкаемого тока i_{κ} и мощностью потерь P на контактах. Так, например, при вибрации у контакта 4 ток i_{κ} будет равен

$$i_{\kappa} = \frac{U_{\Gamma} R_4}{(R_1 + r_{\theta})(r_{\kappa} + R_4) + r_{\kappa} R_4} a.$$

Здесь r_{κ} — переменное сопротивление угольного контакта.

Соответственно при вибрации у неподвижного контакта 4А ток i_{κ} будет

$$i_{\kappa} = \frac{U_{\Gamma} r_{\theta}}{(R_2 + r_{\kappa} + r_{\theta})(R_1 + R_4) + \frac{1}{+ r_{\theta}(R_2 + r_{\kappa})}} a.$$

Наибольшее напряжение U_k будет при замыкании на контакт 4:

$$U_k = R_4 i_{\theta cp} = \frac{U_F R_4}{R_1 + R_4 + r_{\theta}} \text{ в.}$$

При замыкании на контакт 4А это напряжение будет

$$U_k = r_{\theta} i_{\theta cp} = \frac{U_F r_{\theta}}{R_1 + R_4 + r_{\theta}} \text{ в.}$$

Мощность P может быть определена путём условной замены переменного сопротивления вибрирующего контакта r_k постоянным эквивалентным сопротивлением R_3 . Соответствующий эквивалентный ток i_3 будет при токе возбуждения i_{θ} :

$$i_3 = i_{\theta} \frac{R_4}{R_4 + R_3} \text{ а}$$

и эквивалентное напряжение U_3

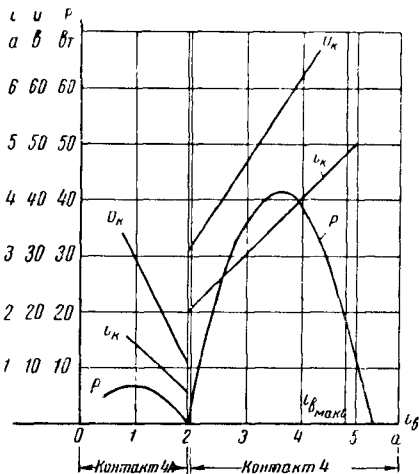
$$U_3 = i_3 r_3 = i_{\theta} \frac{R_4 R_3}{R_4 + R_3} \text{ в.}$$

Соответственно мощность потерь P равна

$$P = U_3 i_3 = i_{\theta}^2 \frac{R_3 R_4^2}{(R_4 + R_3)^2} \text{ вт.}$$

Так как ток i_{θ} изменяется в пределах от $i_{\theta cr}$ до $i_{\theta макс}$, а R_3 — от бесконечности до нуля, мощность P изменяется от 0 до максимума и снова снижается до 0.

Величины сопротивлений R_1 , R_2 , R_4 подбираются в зависимости от данных системы возбуждения регулируемой машины.



Фиг. 107. Характеристики регулятора СРН-2 с генератором ДГ-405Б, приводимом во вращение динамометром ДК-601

На фиг. 107 изображены характеристики вибрационного регулятора СРН-2 в виде зависимостей i_k , U_k и P от тока возбуждения i_{θ} . Работа регулятора в сильной степени зависит от качества контактных углей — их однородности и величины контактного сопротивления.

Практически величину контактного сопротивления не удаётся довести до величины ниже $r_k = 1 \text{ ом}$.

Дисковые регуляторы напряжения имеют ряд конструктивных недостатков, в результате которых в отечественной промышленности они с производства сняты. К недостаткам относятся: наличие вращающихся узлов, изнашивающихся в эксплуатации, громоздкость и возможность заеданий в электромагнитном приводе, инертность подвижных частей и др.

Действие угольного регулятора основывается на принципе изменения сопротивления угольных деталей в зависимости от давления между ними.

ИНДУКТИВНЫЕ ШУНТЫ

Индуктивные шунты (индуктивные сопротивления) применяются для устранения неправильного перераспределения тока между цепями обмоток возбуждения и шунтовых сопротивлений при неустановившихся режимах, когда двигатели работают при ослабленном поле. Величина индуктивности шунта $L_{ш}$ может быть определена при заданном значении коэффициента регулирования возбуждения β из следующего соотношения:

$$L_{ш} = L_{\theta} \frac{\beta}{1 - \beta},$$

где L_{θ} — индуктивность шунтируемой обмотки возбуждения тягового двигателя.

При нескольких степенях ослабления поля один и тот же индуктивный шунт можно применять в тех случаях, когда разница в значениях коэффициентов регулирования возбуждения не превышает

$$\beta_{\max} - \beta_{\min} < 0,25 \div 0,3.$$

В этом случае величина необходимой индуктивности шунта может быть вычислена из соотношения

$$L_{ш} \approx \frac{\beta_{\max} + \beta_{\min}}{2 - (\beta_{\max} + \beta_{\min})} L_{\theta}.$$

Практически приемлемые основные данные индуктивных шунтов получаются при использовании следующего уравнения для их определения:

$$W_{ш} \approx (0,5 \div 0,7) W_{\theta} p \frac{S_M}{S_{ш}}.$$

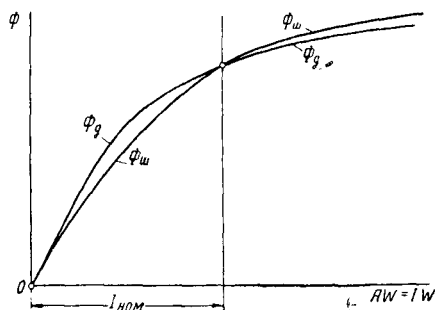
Здесь $W_{ш}$ и W_{θ} — числа витков обмотки шунта и катушки возбуждения двигателя;

p — число пар полюсов двигателя;

S_M и $S_{ш}$ — поперечные сечения сердечников главного полюса двигателя и сердечника шунта.

Желательное точное соответствие характеристик намагничивания тягового двигателя и индуктивного шунта практически недостижимо. В связи с этим индуктивные шунты обычно выполняются с регулируемым воздушным зазором, причём их поток, определяющий приведённую индуктивность $\Phi_{ш}$, регулируется в соответствии с магнитной характеристикой двигателя Φ_{θ} (фиг. 108).

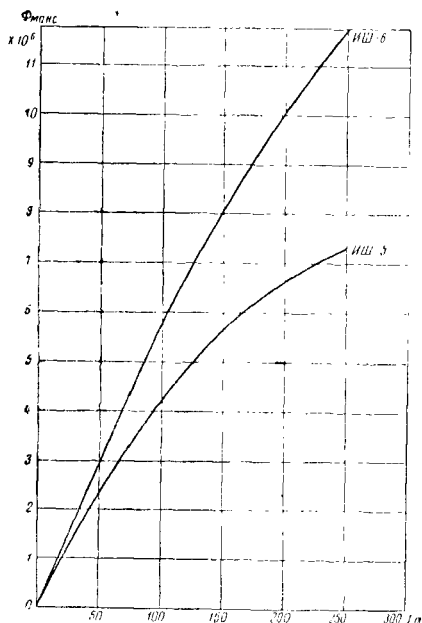
Величина $I_{ном}$ для электровозов и моторвагонов, где предусматривается длительная



Фиг. 108. Магнитные характеристики индуктивного шунта и двигателя

работа на ослабленном поле, принимается обычно

$$I_{ном} \approx I_{\infty}$$



Фиг. 109. Магнитные характеристики индуктивных шунтов ИШ-5 и ИШ-6

Для электровозов и моторвагонов, у которых ослабление поля используется лишь кратковременно

$$I_{ном} \approx I_{\phi}$$

здесь I_{∞} и I_{ϕ} — длительный и часовой ток двигателя.

Основные данные некоторых индуктивных шунтов, применяемых на ЭПС, приведены в табл. 41. Магнитные характеристики шунтов ИШ-5 и ИШ-6 показаны на фиг. 109. Магнитопровод индуктивного шунта представляет собой сердечник из листовой стали с воздушным зазором в средней части. Катушки шунта аналогичны по своей конструкции полюсным катушкам тяговых двигателей.

КОНТРОЛЛЕРЫ УПРАВЛЕНИЯ

Контроллеры управления (контроллеры машиниста) являются основными аппаратами, с помощью которых машинист осуществляет как непосредственное, так и дистанционное управление процессами движения подвижного состава.

Рукоятки и кнопки контроллеров, с помощью которых осуществляются переключения, заблокированы между собой так, чтобы исключить ошибки при управлении локомотивом.

Схема механизма контроллера и его конструкция зависят от применяемой системы управления ЭПС. При неавтоматических системах управления контроллеры многопозиционные (контроллеры машиниста электровозов) имеют, как правило, 3—4 рукоятки управления. При применении автоматических систем управления контроллеры, как правило, не имеют большого числа позиций. Невелико также число контактных пальцев или контакторных элементов, производящих переключения в самом контроллере машиниста. Число рукояток в этом случае обычно не превышает двух.

Контроллеры неавтоматических систем

Контроллеры неавтоматических систем управления (электровозные), как правило, имеют четыре барабана: реверсивный с тремя положениями; главный с 20—40-а позициями; тормозной с 10—20-ю позициями; селективный с тремя положениями (типы КМЭ-2, КМЭ-4 и др.).

Ранее контроллеры выполнялись преимущественно барабанного типа с контактными пальцами, в настоящее время — кулачковые с контакторными элементами. Это снизило габариты аппаратов и повысило четкость их

Таблица 41

Основные данные индуктивных шунтов

Показатель	Тип шунта			
	ИШ-2В	ИШ-5	ИШ-6	ИШ-340
Используется для двигателей	ДК-103	ДПЭ-400	ДПЭ-400	ДПЭ-340
Длительный ток шунта в а	35	70	70	85
Сопротивление при 20°С в ом	0,189	0,0577	0,112	0,07
Число витков	175	144	2×94	179
Вес в кг	274	185	328	260

работы. Так, например, контроллер КМЭ-2 (пальцевый) весит 260 кг, а контроллер КМЭ-12А (кулачковый) — 170 кг.

Контроллер управления КЭ-4Б электроваза ВЛ22м, обобщающий данные и других контроллеров барабанно-кулачкового типа, имеет четыре вала. Главный кулачковый вал управляет основными переключениями в силовой цепи при двигательном режиме; реверсивный вал предназначен для управления реверсором; вал тормозного барабана — для регулирования возбуждения тяговых двигателей при двигательном режиме и для регулирования возбуждения тормозов при рекуперативном торможении, селективный вал — для получения необходимой схемы соединения якорей тяговых машин при рекуперативном торможении.

Все валы имеют несъемные рукоятки, за исключением реверсивного, рукоятка которого может быть снята и установлена только при нулевом положении вала. Рукоятки имеют следующую блокировку между собой.

1. Для предотвращения возможности поворота реверсора под током и с тем, чтобы запереть контроллер недействующего поста управления рукоятки главного и тормозного валов не могут быть повернуты при снятой реверсивной рукоятке. Их можно повернуть лишь после того, как реверсивный вал поставлен в одно из положений — «вперед» или «назад». Наоборот, реверсивная рукоятка не может быть сдвинута с места, пока главная и тормозная рукоятки не будут установлены в исходное положение.

2. Для предупреждения возможности применения ослабления поля на реостатных позициях тормозную рукоятку можно поставить в положение ослабления поля лишь в том случае, если главная рукоятка находится на одной из ходовых позиций (16, 27 или 36-я). Перевод главной рукоятки с 16-й и 27-й позиций на следующую также исключен в том случае, если тормозная рукоятка находится в одном из положений ослабления поля. При обратном движении главной рукоятки из основных ходовых позиций тормозная рукоятка автоматически переходит с позиций ослабления поля на нулевую.

3. Селективная рукоятка не может быть переведена из какого-либо своего положения, если тормозная рукоятка находится на одной из тормозных позиций.

4. Чтобы не применять рекуперацию при не введенных предварительно сопротивлениях, тормозную рукоятку можно перевести в тормозное положение только после постановки главной рукоятки на 1-ю позицию.

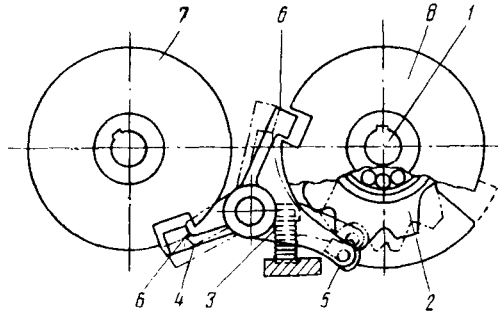
5. Для обеспечения правильной сборки схемы при рекуперативном торможении главная рукоятка не может быть переведена далее 16-й позиции в том случае, если тормозная рукоятка находится в одном из 15 тормозных положений.

Механизм блокировки главного, тормозного и реверсивного барабанов представлен на фиг. 110. Действие его осуществляется следующим образом.

На валу 1 имеется звезда 2, блокирующая реверсивный вал и имеющая три впадины. Под действием пружины 3 к звезде ролик 5 прижимается трехплечий рычаг 4. На осталь-

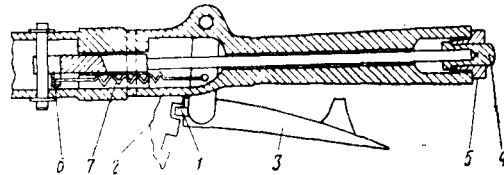
ных двух плечах этого рычага вместо ролика имеются выступы 6, находящиеся в плоскостях блокировочной шайбы 7 тормозного барабана и шайбы 8 главного вала.

Когда реверсивная рукоятка находится в нулевом положении, ролик 5 западает в мелкую впадину на звезде 2, а выступы 6 рычага 4 входят в вырезы на шайбах 7 и 8. Этим пред-



Фиг. 110. Механическая блокировка между главным, тормозным и реверсивным валами контроллера машиниста

отвращается возможность поворота главного и тормозного валов. При постановке реверсивной рукоятки в положение «вперед» или «назад» ролик 5 западает в глубокую впадину звезды 2. При этом под действием пружины 3 рычаг 4 поворачивается так, что выступы 6 выходят из вырезов блокировочных шайб 7 и 8, освобождая тормозной и главный валы (показано условным пунктиром). Эти валы таким образом могут быть повернуты. Их поворот препятствует постановке реверсивной рукоятки в нулевое положение, так как выступы 6 рычага 4 упрутся в образующие шайб 7 и 8, не давая возможности ролику 5 выйти из глубокой впадины звезды 2.

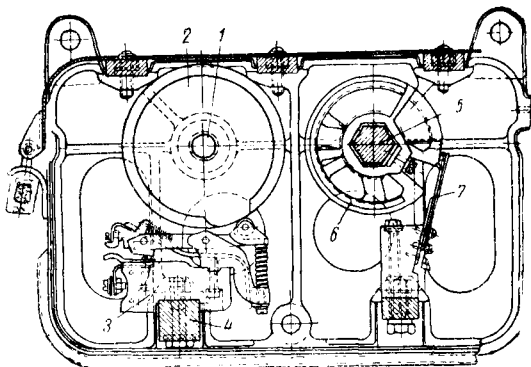


Фиг. 111. Механизм фиксации рукоятки контроллера машиниста

Как главная, так и тормозная рукоятки обеспечивают фиксацию позиций. Схема механизма фиксации рукоятки контроллера представлена на фиг. 111. Зуб 1 фиксации позиций входит во впадины фиксирующего сектора 2 на всех промежуточных реостатных позициях. При переходе с позиции на позицию необходимо отжимать фиксатор 3. Фиксация на ходовых позициях осуществляется уже не зубом 2, а фиксатором 6, западающим в выемки на внутренней стороне фиксирующего сектора 2. В этом случае необходимо для перехода на дальнейшие позиции нажать кнопку 4. Оба фиксирующих устройства приводятся в действие пружиной 7, а собираются затяжкой гайки 5.

Главная и реверсивная части контроллера выполнены кулачковой конструкции, а тор-

мозная и селективная — барабанной. Расположение основных валов внутри корпуса контроллера ясно из фиг. 112.



Фиг. 112. Поперечный разрез контроллера КЭ-4: 1 — главный вал; 2 — кулачковые шайбы главного вала; 3 — контакторный элемент КЭ-30; 4 — стойка контакторных элементов главного вала; 5 — тормозной вал; 6 — сегментодержатели тормозного вала; 7 — контактные пальцы тормозного вала

Основные данные контактов контакторного элемента КЭ-30 контроллера управления типа КМЭ-4 приведены в табл. 42.

Развёртка кулачковых шайб главного барабана показана на фиг. 114.

Таблица 42

Данные контактов контакторного элемента контроллера управления типа КМЭ-4

Показатель	Количество контактов	Раствор контактов в мм	Приращенные контакты	Нажатие контактов в кг
Контакторные элементы главного кулачкового вала	23	4—5,6	4—5,5	0,45—1,0
Контакторные элементы реверсивного барабана	3	4—5,6	4—5,5	0,45—1,0
Пальцы тормозного барабана	24	—	2—3	1—2,5
Пальцы селективного барабана	6	—	2—3	1—2,5

Данные электровозных контроллеров без автоматического управления сходны с приведёнными для контроллера КМЭ-4Б.

Контроллеры автоматических систем

Контроллеры автоматических систем управления (моторвагонов) конструктивно проще контроллеров неавтоматического управления; они также могут быть барабанного и кулачкового типов. По принципу действия эти контроллеры подразделяются на две основные разновидности — с рукояткой управления и с кнопочным управлением.

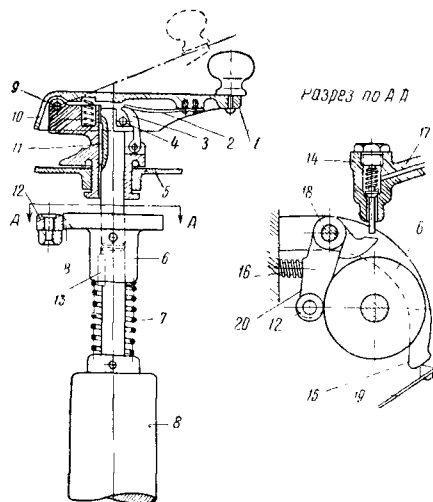
В первом случае управление осуществляется поворотом рукоятки контроллера, так же как и в контроллерах неавтоматических систем (контроллеры типов КВ-6, КВ-9В и ряд других). Как правило, контроллеры этого типа имеют две рукоятки: съёмную —

реверсивную и несъёмную — главную. Контроллеры второго типа (КВ-2А) обычно выполняются с одной съёмной рукояткой, с помощью которой одновременно устанавливается положение, соответствующее определённому соединению тяговых двигателей, направлению движения, а иногда и величине ускорения при пуске. Постановка съёмной рукоятки в необходимое положение не сопровождается пуском до тех пор, пока машинист не нажмёт специальную пусковую кнопку контроллера

Контроллеры управления автоматических систем обычно снабжаются рукоятками безопасности; их назначение — автоматическое размыкание силовой цепи и торможение поезда пневматическим тормозом при потере бдительности машинистом.

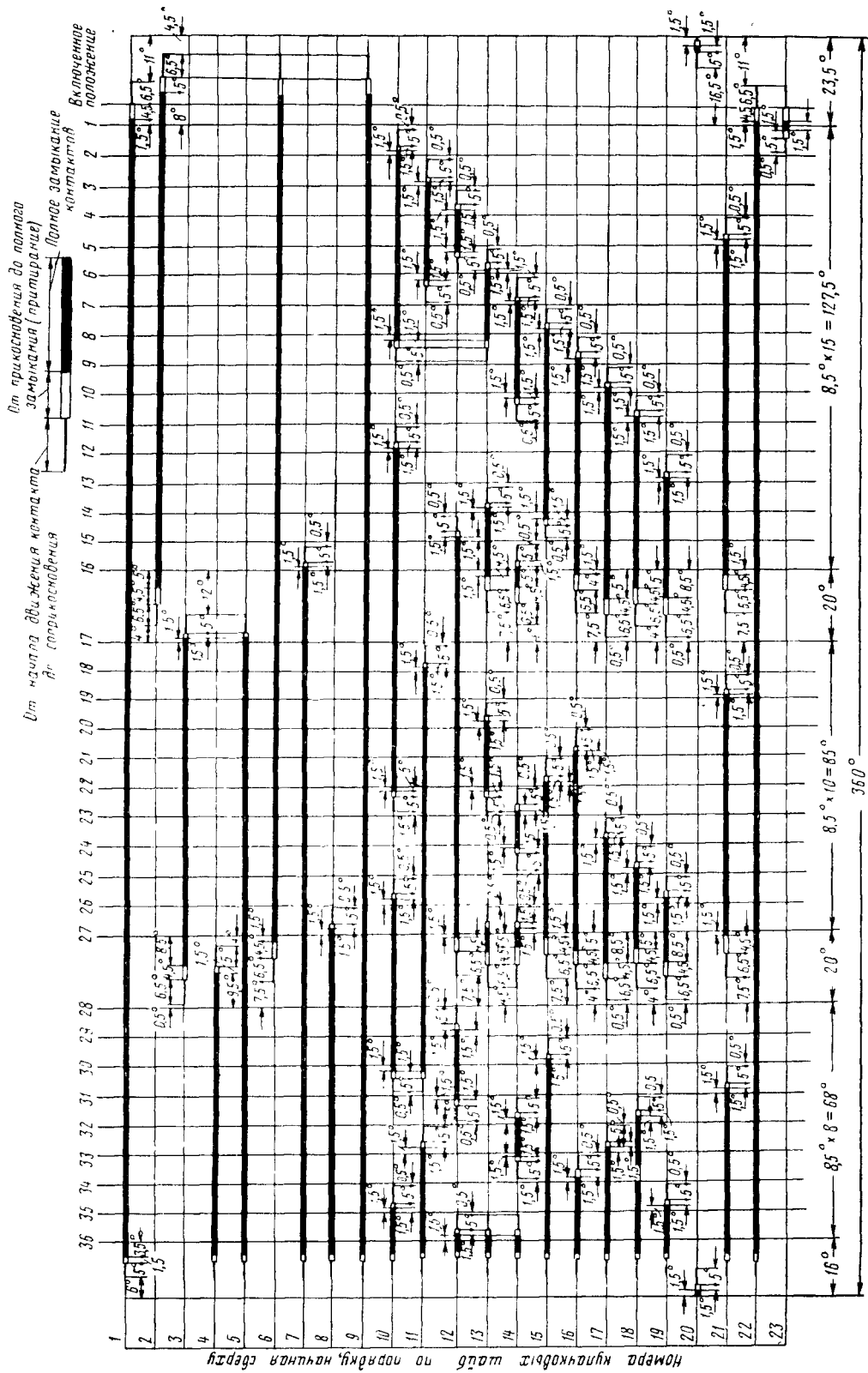
На фиг. 113 представлен механизм устройства безопасности контроллера управления КВ-6Б.

Рукоятка управления 1 под воздействием пружины 10 отжимается вверх, поворачиваясь относительно валика 9. Нажатие на рукоятку вызывает отжатие пружины 2 защёлки 3. При этом защёлка будет отжимать вал вниз, сжимая пружину 7, упирающуюся в муфту 6, которая связывает верхнюю часть барабана 8 (подвижную) с нижней (неподвижной в осевом направлении). Для передачи поворотов в муфте нижний конец вала закреплён скользящей шпонкой 13. В свою очередь верхний вал скреплён с основанием рукоятки скользящей шпонкой 11. Таким образом поворот основания рукоятки относительно крышки контроллера 5 будет передаваться главному валу 8



Фиг. 113. Механизм безопасности контроллера управления КВ-6Б

При нажатии рукоятки муфта удерживает ролик 12 рычага 20 в отжатом относительно оси 18 положении. При этом пружина 16 сжимается. При потере бдительности и отпуске рукоятки 1 на какой-нибудь из ходовых позиций муфта 6 освобождает ролик 12. Под воздействием пружины 16 размыкается переключатель 15 контактов 19, через которые питается цепь управления. Одновременно подвижной



Фиг. 114. Развѣртка кулачковых шайб главного вала контроллера управления КМЭ-4Б

состав тормозится нажатием на золотник клапана 14, соединённого с тормозной магистралью 17. При опускании рукоятки 1 штифт 4 размыкает защёлку 3, что и даёт возможность муфте подняться вверх.

Такое устройство механизма, требуя от машиниста первоначально приложения усилия около 12 кг для сжатия пружины 7, в дальнейшем, после срабатывания защёлки 3 разгружает его от этого усилия, требуя преодоления лишь усилия пружины 10, равного 2—3 кг.

Контроллер машиниста КВ-2 вагонов типов А и Б метрополитена имеет 15 кулачковых элементов, из которых 6 с дугогашением для высокого напряжения. Главный вал имеет 9 положений (нулевое, подготовительное, пять положений хода вперёд, два положения хода назад). Номинальное напряжение 825 в.

Контроллер машиниста КВ-6 вагонов серий С_д и С_р имеет 10 пальцев на главном барабане и 6 на реверсивном. Главный вал имеет 7 положений. Номинальное напряжение 50 в.

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

Выключатели применяются для включения и выключения тока в цепях катушек аппаратов управления ЭПС.

Выключатели цепей управления могут быть подразделены на два типа: главные выключатели управления (обычно называемые выключателями управления или выключателями тока управления) и кнопочные выключатели.

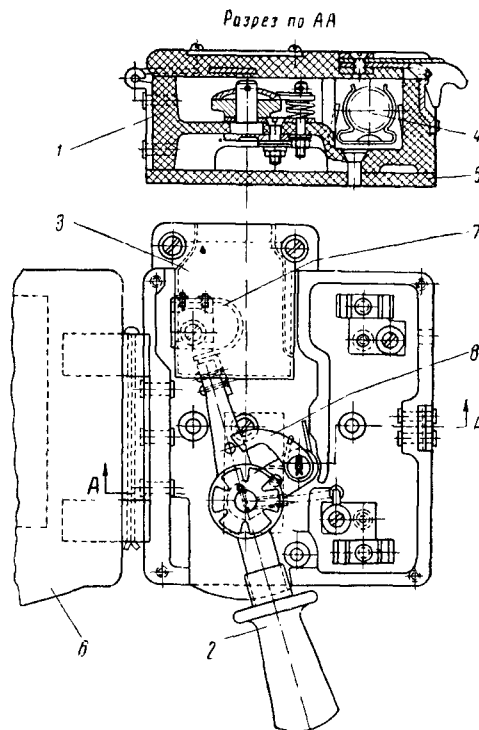
Главные выключатели управления

Главные выключатели управления, как правило, предусматривают возможность включения и выключения питания цепей управления с поста машиниста. Такое выключение сопровождается размыканием в цепи управления тока величиной до 50—70 а. В некоторых случаях выключатель выполняется одновременно и в качестве аппарата, восстанавливающего защиту при её срабатывании. Отдельные выключатели выполняются со съёмными блокирующими рукоятками. В большинстве

случаев выключатели управления совмещаются в одном корпусе с плавкими предохранителями питания цепей управления.

Основные данные выключателей управления приведены в табл. 43.

В качестве примера на фиг. 115 приведён широко распространённый выключатель управления ВУ-7В, применяемый на электровагонах и моторвагонах. Все основные его де-



Фиг. 115. Выключатель управления типа ВУ-7В

тали — корпус 1, дугогасительная камера 3, дно корпуса 5, крышка 6, ручка замыкающего рычага 2 — выполнены из пластмассы. Выключатель совмещён с плавким предохранителем 4. Неподвижный контакт 7 пружинного типа, что при наличии защёлки 8 обеспе-

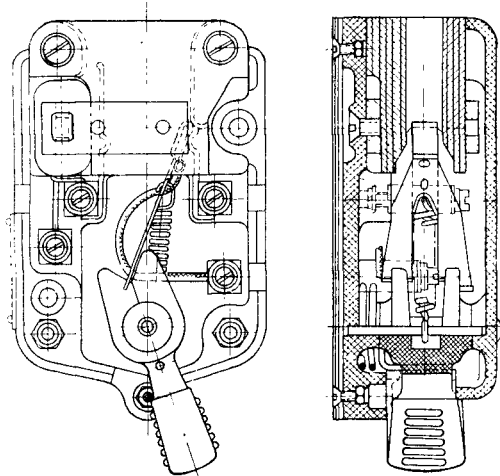
Таблица 43

Выключатели и переключатели цепей управления

Показатель	Тип выключателя				
	ВУ-7А	ВУ-7Б	ВУ-100-50	ВУ-2В	П-2А
Область применения	Электровоз и моторный вагон	Электровоз	Электровоз и моторный вагон	Электровоз	
Напряжение в в	50	50	50	600 250 25 30	50
Ток длительный в а	30	30	100	Дугогасительная катушка	
Дугогашение	Дугогасительная камера		Нет	Нет	
Ток предохранителя в а	45	От 5 до 45	45	Без предохранителя	
Вес в кг	2		5	2	
Число фиксированных положений	2	2	2	3	1 (2 не фиксированных)

печивает надёжность фиксации положений выключателя.

На фиг. 116 показано устройство выключателя управления типа ВУ-220 с импульсным выключающим механизмом. Выключатели это-



Фиг. 116. Выключатель управления типа ВУ-220

го типа в последнее время находят всё большее применение. Плавкий предохранитель устанавливается у выключателей ВУ-220 вне корпуса.

Кнопочные выключатели

Кнопочными выключателями производится управление пантографами, вспомогательными машинными, управление освещением, отоплением и другие операции. Отдельные кнопки группируются в кнопочные выключатели, удобные с точки зрения монтажа и обслуживания.

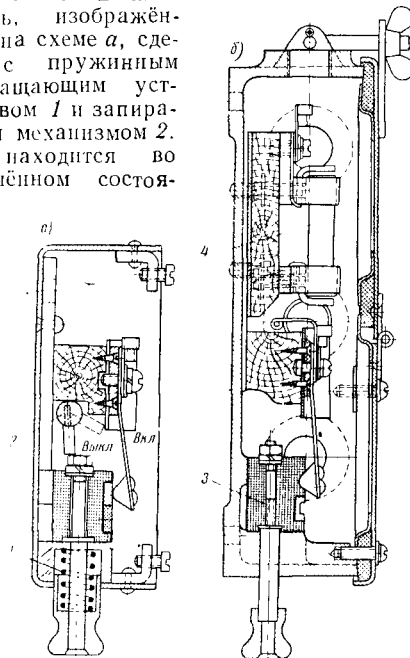
В кнопочных выключателях устанавливаются также плавкие предохранители соответствующих цепей управления.

Иногда кнопочные выключатели выполняются в виде набора малых автоматических выключателей, осуществляющих, кроме функции ручного включения соответствующих цепей, их максимальную и тепловую защиту.

Для предотвращения самопроизвольного включения на недействующем посту управления некоторые кнопочные выключатели снабжаются блокирующими механическими запорами. В этом случае для включения кнопок необходимо выключатель предварительно «отпереть» специальной съёмной рукояткой.

Основные данные кнопочных выключателей, применяемых на ЭПС, приведены в табл. 44.

На фиг. 117 представлены поперечные разрезы кнопочных выключателей пальцевого типа. Выключатель, изображённый на схеме а, сделан с пружинным возвращающим устройством 1 и запирающим механизмом 2. Он находится во включённом состоя-



Фиг. 117. Устройство кнопочных выключателей пальцевого типа

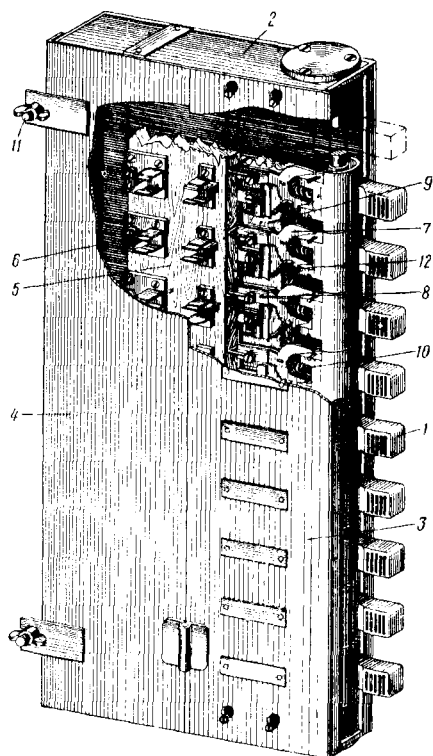
нии до тех пор, пока осуществляется нажатие на его кнопку. Выключатель на схеме б не имеет возвращающей пружины. Позиции включения и выключения фиксируются капаками на колодке переключения кнопки 3, в которые западают сухари контактных пальцев. В корпусе кнопочного выключателя размеща-

Таблица 44

Показатель	Тип выключателя								
	КУ-2	КУ-4А	КУ-7Н	КУ-9А	КУ-10А	КУ-16Б	КУ-25А	КУ-34А	КУ-55А
Область применения	Электровоз		Моторный вагон	Электро-воз и моторный вагон	Моторный вагон			Электровоз и моторный вагон	
Число кнопок	9, из них: 1 большая с возвратом и 8 малых	8	5, из них 3 с возвратом	12	9	Одна с возвратом	5 (из них 2 с возвратом)	5	12
Число предохранителей	—	8	—	12	9	—	—	—	12
Замок	Есть на все кнопки	Нет	Есть	Нет	Нет	Нет	Есть на все кнопки	Есть	Нет
Вес в кг	9,5	12,5	5	23,5	19	1	5	4,2	12,3

ются также плавкие предохранители цепей управления 4.

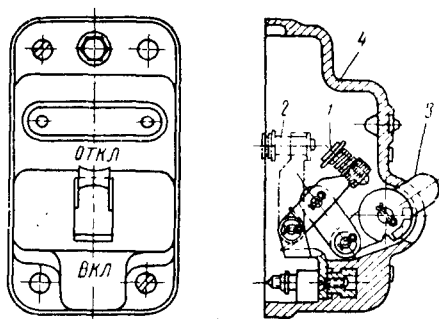
В последнее время широко применяются кнопочные выключатели импульсного вклю-



Фиг. 118. Кнопочный выключатель импульсного действия:

1 — рукоятка; 2 — корпус выключателя; 3 — крышка; 4 — открывающаяся часть крышки; 5 — деревянная планка; 6 — контакты для предохранителя; 7 — подвижный контакт; 8 — неподвижный контакт; 9 — деревянная планка; 10 — пружина; 11 — шарнирный болт; 12 — гибкий проводник

чения. Устройство такого кнопочного выключателя представлено на фиг. 118.



Фиг. 119. Выключатель типа ВУ-213

На фиг. 119 в качестве примера приведён малоомощный высоковольтный выключатель типа ВУ-213, применяемый на вагонах Московского метрополитена серий Г и Д.

Основными элементами выключателя являются контактный мостик 1 с серебряными контактами, с помощью которого могут замыкаться и размыкаться неподвижные контакты 2 в корпусе 4. Контактный мостик приводится в действие рукояткой 3 и связанной с ней рычажной системой. Все основные детали кнопки, кроме токоведущих частей, выполнены из пластмассы. В зависимости от назначения выключатели выполняются импульсного или постоянного действия.

ПЕЧИ И ОБОГРЕВАТЕЛИ

Отопление постов управления и пассажирских помещений ЭПС производится с помощью отдельных электрических печей. Применение центральной калориферной системы электрического отопления для моторвагонного подвижного состава носит пока лишь опытный характер.

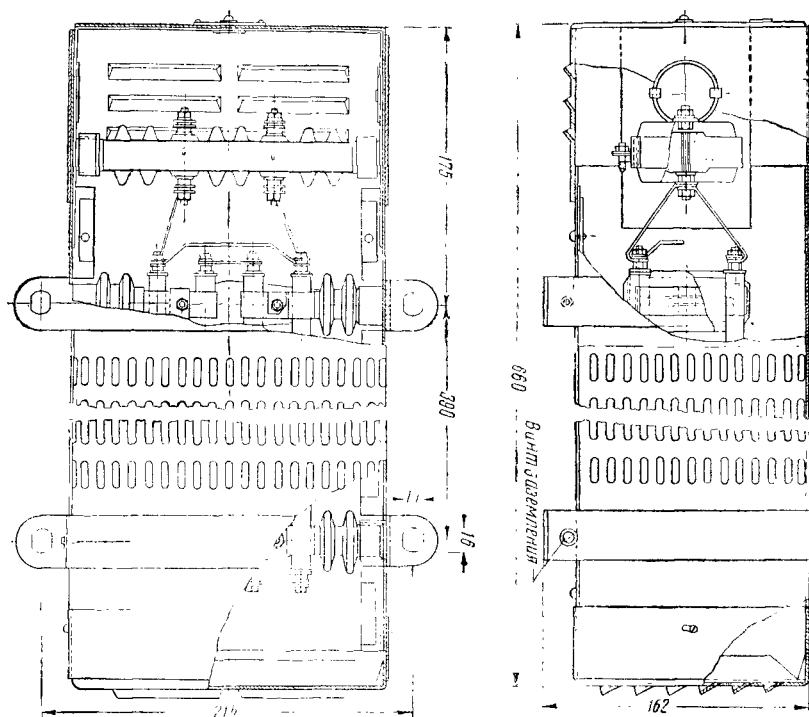
Наиболее широкое распространение имеют электропечи с трубчатыми нагревательными элементами типа ПЭТ (фиг. 120), представляющие собой стальные бесшовные тонкостенные трубки, внутри которых помещена нагревательная спираль из фехральной проволоки. Всё свободное пространство внутри трубки заполнено уплотнённым кварцевым песком, служащим как для повышения теплоёмкости нагревательного элемента, так и для повышения поверхности теплоотдачи и защиты проволоочной спирали от непосредственного контакта с воздухом. Печи ПЭТ, предназначенные для установки на ЭПС, рассчитаны на номинальное напряжение от корпуса 3 000 в при напряжении на зажимах 750 в. Номинальная мощность печи около 1 кВт при токе 1,33 а и сопротивлении 566 ом.

Каждая печь состоит из восьми нагревательных элементов, соединённых последовательно, закреплённых на изоляторах из жароупорного фарфора в кожухе из перфорированной листовой стали. Гарантированная продолжительность работы элемента не ниже 600 час.

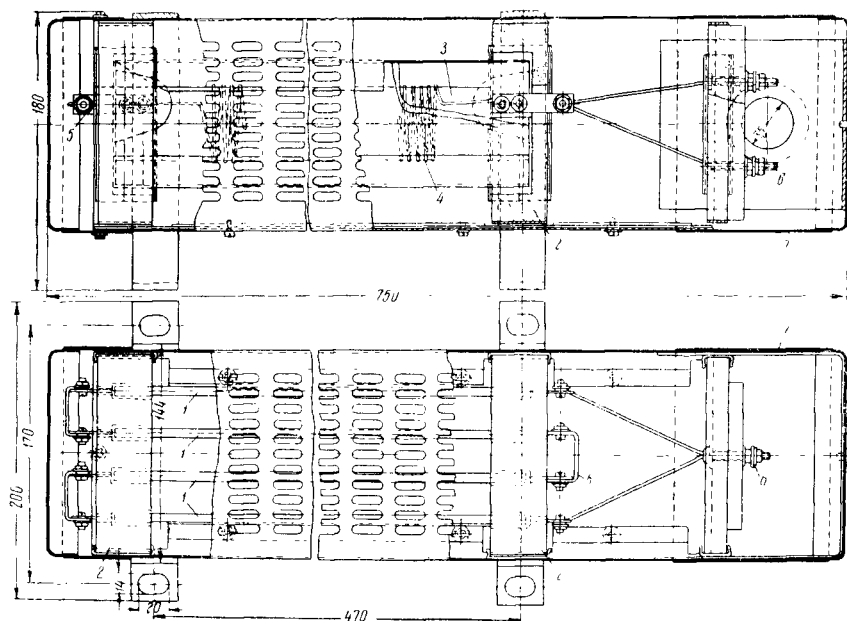
Применяются также и печи СЖ-4 (фиг. 121), которые в настоящее время не изготавливаются. Нагревательные элементы 1 выполнены в виде пластинки 3 из жароупорного миканита с намотанной на ней проволоочной спиралью 4. В качестве материала спирали, наряду с фехралем, применялся также нихром и никелин. Миканитовая пластина с обмоткой проволокой снаружи также покрыта полосками жароупорного миканита и весь элемент опрессован оболочкой из листовой стали.

Печь имеет четыре последовательно соединённых нагревательных элемента. Элементы 1 закреплёны в гнездах фарфоровых изоляторов-держателей 2. Соединения между ними выполнены перемычками 5, а выводы сделаны на клеммы 6 внутренней фарфоровой панели. Доступ к этим зажимам легко осуществим при снятии крышки 7.

Номинальная мощность этих печей около 1 кВт при напряжении на зажимах 750 в. Печи должны выдерживать испытательное напряжение 7 000 в между кожухом и одним из зажимов. Сопротивление их изоляции должно быть не менее 1 мгом как в холодном, так и в горячем состоянии. Температура нагрева кожуха не допускается выше 140°C при



Фиг. 120. Электродпечь типа ПЭТ



Фиг. 121. Электродпечь типа СЖ-4

предельном напряжении в контактной сети. Кожухи (корпуса) электрических печей должны заземляться даже в тех случаях, когда они устанавливаются непосредственно на металлических деталях кузова электровоза или мотор-вагона.

На постах управления устанавливаются иногда специальные печи с обогревательными шкафами для подогрева ниши локомотивной бригаде. Их конструкция, кроме специальной камеры обогрева, ничем существенно не отличается от устройства печей ПЭТ.

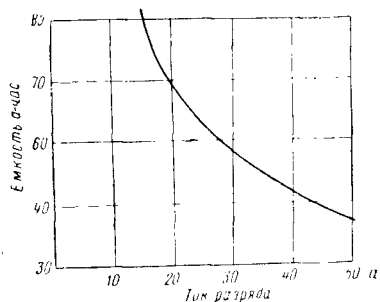
АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ

Аккумуляторные батареи ЭПС магистральной тяги необходимы для питания цепей управления током низкого напряжения (50 в), сигнализации и частично освещения. Аккумуляторные батареи, как правило, не рассчитываются на непрерывную параллельную работу с генераторами управления и используются лишь в тех случаях, когда генератор не работает. Лишь на некоторых видах специального ЭПС (маневровые и рудничные электровозы малой мощности и пр.) аккумуляторы применяются для питания силовых цепей: для питания тяговых двигателей, возбуждения тяговых машин при электрическом торможении и пр. Преимущественное распространение на ЭПС магистральной тяги имеют кислотные аккумуляторы. На метрополитене и на электровозе Н8 применяются щелочные аккумуляторы. Данные для аккумуляторных батарей, наиболее пригодных для электроподвижного

Таблица 45

Аккумуляторные батареи

Показатель	Тип батареи	
	ЭП-80	ИКН-45 НЖН-45
Назначение	Электровозы и моторвагоны	Вагоны метро
Емкость номинальная в а·ч	80	45
Число элементов в батарее	22+2 резервные	56
Номинальное напряжение батарей в в	45—55	73—84
Номинальный ток разряда в а	48	5,65
Максимальный зарядный ток в а	15	11,25

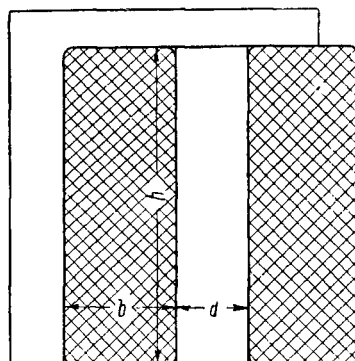


Фиг. 122. Характеристика разряда аккумуляторной батареи ЭП-80

состава, приведены в табл. 45. На фиг. 122 изображена характеристика разряда аккумуляторной батареи ЭП-80. Характерной особенностью как свинцовых, так и щелочных аккумуляторов является быстрое падение емкости с повышением тока разряда.

РАСЧЁТ КАТУШЕК ТЯГОВОЙ АППАРАТУРЫ

Основным исходным фактором, определяющим поток, для возбуждения которого предназначена катушка, является ее намагничивающая сила AW , поэтому при расчёте катушки исходят, как правило, из заданной величины AW . Наибольшая возможная величина HC при заданном размере окна для размещения катушки (фиг. 123) может быть определена следующим образом:



Фиг. 123. Размещение катушек электроаппаратов на каркасе

$$AW = h \sqrt{\frac{p \tau \gamma b (2b + d) \kappa_{исп}}{10 (b + d)}} \text{ ампер-витков.}$$

Здесь p — допустимая удельная мощность потерь, отнесенная к единице площади боковой поверхности катушки, принимаемая при проволочных катушках $0,1 \div 0,15$, а при шпильных катушках с зазорами между витками $0,2 \div 0,25 \text{ вт/дм}^2 \cdot \text{С}$;

τ — допустимая температура длительного перегрева поверхности катушки, с изоляцией класса А, принимаемая $45 \div 55^\circ \text{С}$;

γ — удельная электрическая проводимость проводника обмотки, равная для меди в нагретом состоянии $48 \text{ м/см} \cdot \text{мм}^2$;

$\kappa_{исп}$ — коэффициент использования обмоточного пространства:

$$\kappa_{исп} = \frac{Wq}{bh} = \frac{Wq}{S},$$

где W — число витков обмотки;

q — поперечное сечение проводника в мм^2 ;

S — обмоточное пространство в мм^2 , равное bh .

(Определение $\kappa_{исп}$ приводится ниже).

В некоторых случаях для определения возможной HC катушки более удобна следующая формула:

$$AW = \sqrt{\frac{PS \kappa_{исп}}{l_{cp}}} \text{ ампер-витков,}$$

где P — мощность потерь катушки в $вт$;
 l_{cp} — средняя длина витка катушки в $м$.
 Для цилиндрических катушек

$$l_{cp} = \pi (d + b) \cdot 10^{-3},$$

где d — внутренний диаметр катушки.

По известной величине HC и напряжению на зажимах катушки возможно определить её ток:

$$I = \frac{AW^2 l_{cp}}{S \gamma U \kappa_{исп}} = \frac{\pi AW^2 (d + b) \cdot 10^{-3}}{\gamma bh U \kappa_{исп}} a.$$

Необходимое число витков n при известных I и AW может быть определено из соотношения:

$$W = \frac{AW}{I} \text{ витков.}$$

Соответственно может быть найдено и значение поперечного сечения проводника q , а следовательно, и его геометрические размеры:

$$q = \frac{S \kappa_{исп}}{W} \text{ мм}^2.$$

Принимаемые значения удельной мощности потерь, отнесённой к поверхности катушки, обычно обеспечивают соответствие получаемых плотностей тока в обмотке Δi установленным нормам, однако рекомендуется проводить проверку, чтобы плотность тока в обмотке не превышала допустимых пределов, приведённых в табл. 46.

Таблица 46

Допустимые плотности тока в катушках тяговой аппаратуры

Назначение катушки	Конструкция	Допустимая плотность тока длительная в $а \cdot мм^2$
Катушки электропневматических вентиляторов	Проволочные многовитковые	3,0—4,5
Катушки подъёмные и дугогасительные контакторов и реле	То же	2,0—3,2
То же	Шинные	2,5—4,0
Катушки подвижные электродинамических реле	Проволочные маловитковые	6,0—8,5

В тех случаях, когда недостаточно выяснены размеры магнитопровода и необходимо хотя бы предварительное определение размеров обмоточного пространства, весьма удобно применение следующей формулы:

$$S = \frac{AW}{\Delta i \kappa_{исп}} \text{ мм}^2.$$

В дальнейшем данные, полученные расчётом по допустимой плотности тока Δi , обязательно должны контролироваться уточняющим расчётом, базирующимся на величине удельной мощности потерь p .

Во всех приводимых выше выражениях исключительное значение имеет коэффициент использования обмоточного пространства $\kappa_{исп}$, определяющийся как характером изоляции проводников, применяемых для выполнения катушек, так и особенностями их конструктивного исполнения.

В табл. 47 представлена классификация проводов, а в табл. 48 — данные проводов с эмалевой изоляцией, используемых для намотки катушек аппаратуры.

Таблица 47

Провода обмоточные

Марка провода	Тип изоляции
ЛВОО	Провод гибкий, скрученный из нескольких медных проволок, провальцованный в прямоугольную форму, изолированный одним слоем хлопчатобумажной обмотки и оплёткой
ЛВДО	Провод гибкий, вальцованный, изолирован двумя слоями хлопчатобумажной обмотки и оплёткой
ПБ	Провод, изолированный несколькими слоями обмотки из кабельной бумаги
ПБО	Провод, изолированный одним слоем хлопчатобумажной обмотки
ПВД	Провод, изолированный двумя слоями хлопчатобумажной обмотки
ПВОО	Провод, изолированный одним слоем хлопчатобумажной обмотки и одним слоем хлопчатобумажной оплётки
ПВБОО	Провод, изолированный несколькими слоями ленты из кабельной бумаги и непластичным слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи
ПДА	Провод с дельта-асбестовой изоляцией
ПСД	Провод, изолированный двумя слоями обмотки стекло-волокна
ПШО	Провод, изолированный одним слоем шелковой обмотки
ПШД	Провод, изолированный двумя слоями шелковой обмотки или шелка капрон
ПШДКД	Провод, изолированный двумя слоями шелковой обмотки или шелка капрон
ПЭЛБО	Провод, изолированный эмалью и одним слоем хлопчатобумажной обмотки
ПЭЛВД	Провод, изолированный эмалью и двумя слоями хлопчатобумажной обмотки
ПЭЛШО и ПЭЛШКО	Провод, изолированный эмалью и одним слоем обмотки из шелка или шелка капрон
ПЭЛШД и ПЭЛШДКД	Провод, изолированный эмалью и двумя слоями обмотки из шелка или шелка капрон

Примечание. Провода марок ПБО, ПВД, ПВОО, ПВБОО, ПСД, ПДА изготавливаются из круглого и прямоугольного сечений, а остальных марок — лишь круглого сечения.

Следует отметить, что в катушках тяговой аппаратуры преимущественное распространение находят провода марки ПЭЛ, ПВД, ПЭЛБО, хотя имеют применение также провода с изоляцией других марок, в зависимо-

Т а б л и ц а 48

Провода обмоточные с эмалевой изоляцией

Марка провода	Название	Область применения	Диаметр в мм по меди
ПЭЛ	Проволока эмалированная лакостойкая	Для намотки катушек. Наибольшая допустимая температура 100—105°C	0,02—2,44
ПЭЛУ	Проволока эмалированная лакостойкая с утолщенной изоляцией	Для намотки катушек. Наибольшая допустимая температура 100°C	0,05—2,44
ПЭТ	Проволока эмалированная нагревостойкая и лакостойкая	То же с обмоткой стекляным волокном. Наибольшая допустимая температура 125°C	0,08—2,44
ПЭВ-1	Проволока эмалированная, высокопрочная, однослойная	Для намотки катушек, где требуется высокая механическая прочность изоляции при малых габаритах. Длительно допускаемая максимальная температура 125±5°C	0,02—2,44
ПЭВ-2	То же двуслойная	То же	0,07—2,44

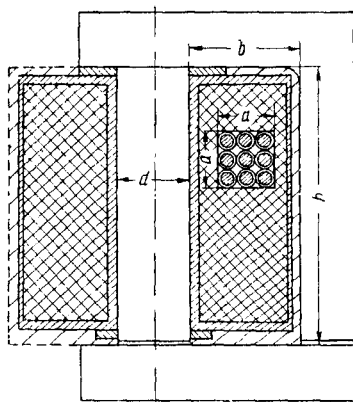
Примечание. Эмалированная проволока размером от 0,05 до 2,44 мм выпускается по ГОСТ 2773—51, толще 0,05 мм — по особым техническим условиям.

сти от конкретных условий работы той или иной катушки.

Коэффициент использования пространства $\kappa_{исп}$ зависит от следующих основных факторов: формы проводника; толщины изоляции; плотности укладки обмотки; размеров покровной изоляции и каркасов; монтажных, установочных зазоров между катушкой и деталями, ограничивающими обмоточное пространство.

На фиг. 124 представлена схема катушек аппаратов с указанием использования обмоточного пространства, величина которого определяется зависимостью

$$S = hb \text{ мм}^2.$$



Фиг. 124. Схема катушек аппаратов на магнитопроводе

Лишь площадь, заштрихованная перекрестной штриховкой, занята непосредственно обмоткой. В свою очередь и эта площадь не вся заполняется. В сечении $a \times a$ расположено n_a проводников, имеющих общее сечение $n_a q$.

Отношение $\frac{n_a q}{2S} = \kappa_3$ носит название коэффициента заполнения пространства обмоткой. Этот коэффициент κ_3 может быть вычислен из геометрических соотношений для провод-

ников прямоугольного сечения. При проводниках круглого сечения вследствие сильного влияния качества намотки точно вычислить значения κ_3 затруднительно, на основании лишь геометрических соотношений. С достаточной точностью в этом случае величина κ_3 может быть определена на основе следующего выражения:

$$\kappa_3 = \gamma \frac{d}{C + 1,3d}.$$

Здесь γ — коэффициент точности укладки витков, зависящей от способа намотки; при ручной намотке он равен 0,8—0,85, при станочной — 0,9—0,92;

d — диаметр голого провода в мм;

C — постоянная, зависящая от марки изоляции провода, имеющая следующие значения:

Изоляция марки	ПБО	$C = 0,3$
»	» ПБД	$C = 0,6$
»	» ПШО	$C = 0,085$
»	» ПШД	$C = 0,18$
»	» ПЭЛ	$C = 0,09$
»	» ПЭЛВ	$C = 0,35$
»	» ПЭЛВД	$C = 0,68$

Вычисления коэффициента использования обмоточного пространства возможно производить точнее всего на основе соотношения

$$\kappa_{исп} = \frac{Wq}{S}.$$

В тех случаях, когда основные параметры катушки неизвестны, предварительное значение $\kappa_{исп}$ может быть определено исходя из величины κ_3 :

$$\kappa_{исп} = \kappa_y \kappa_3,$$

где κ_y — коэффициент установки, определяющий влияние потерь обмоточного пространства на установочные детали и зазоры.

Величина κ_y находится в прямой зависимости от номинального напряжения U_n , к которому подключается катушка. Значения κ_y для рационально выполненных конструкций приведены в табл. 49.

Как правило, $\kappa_{исп}$ для проволоочных катушек не превышает 0,5—0,67.

Таблица 49

Величина коэффициента установки k_y				
Напряжение U_n , в	До 110	До 1 000	До 2 000	До 4 000
k_y	0,93—0,88	0,85—0,8	0,8—0,75	0,8—0,72

НОРМЫ НА ИЗОЛЯЦИЮ ТЯГОВОЙ АППАРАТУРЫ

Изоляционные качества аппаратуры определяются запасом прочности электродуговому перекрытию по поверхности изоляции между токонесущими деталями с различными потенциалами или условиями пробоя изоляции по толщине.

Прочность изоляции тяговых аппаратов обычно обуславливается испытательным пробивным напряжением, которое аппарат должен выдерживать в течение 1 мин. при частоте 50 пер/сек.

Номинальное напряжение аппаратов в в	Испытательное напряжение в в
До 125	800
Выше 125 до 500	$2U + 1\,000$
» 500 » 3 000 включительно	$2,25U + 2\,000$

Для предохранения от повреждения изоляции в тяговых аппаратах, имеющих ограниченные габариты, находящихся под высоким линейным напряжением, атмосферным воздействием и подвергающихся загрязнению, необходимо применять высококачественные изоляционные материалы и предусматривать тщательную технологическую обработку изоляции (опрессовку, полировку поверхности и т. п.).

Загрязняемость поверхностей аппаратуры может повлечь возникновение скользящих разрядов, обжигающих поверхность изоляции, способствующих дальнейшему повторению этих явлений уже при меньшей степени загрязнения. Поэтому правильный выбор величины изоляционных поверхностей имеет решающее значение.

Ионизация окружающего пространства в аппаратных камерах, снижающая диэлектрическую прочность воздуха, требует учёта этого явления при определении расстояния между контактами и токонесущими деталями аппаратов.

При выборе конструктивных размеров аппаратуры по соображениям надёжности изоляции принимаются следующие понятия:

электрический зазор — кратчайшее расстояние по воздуху между токонесущими частями с разными потенциалами, в которых происходит разрыв контактов или может возникнуть непроизвольный переброс электрической дуги;

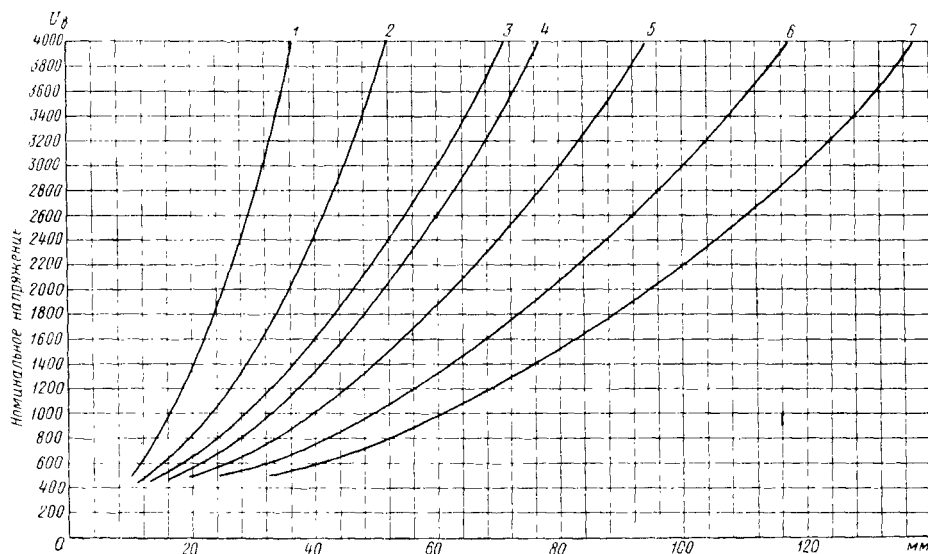
расстояние утечки — кратчайшее расстояние по поверхности твёрдой изоляции, находящейся между двумя взаимно изолированными токонесущими деталями различного потенциала, по которому может возникнуть скользящий уговой разряд (перекаты).

Расстояние по поверхности, необходимое по условиям надёжности работы аппарата, зависит от очень большого числа факторов. Основные из них следующие: материал изоляции, качество поверхности, влагостойкость и гигроскопичность, дугоустойкость, расположение изоляционной поверхности, доступность её для очистки, воздухообмен на поверхности изоляции. Всё это приводит к большому разнообразию в системах нормативов при оценке изоляционных качеств деталей тяговой аппаратуры.

На фиг. 125 приведены кривые для определения электрических зазоров и расстояний утечки принимаемых заводами ответственного тягового аппаратостроения. Здесь кривая 1 — электрический зазор в пространстве, закрытом от проникания влаги и грязи и изолированным от воздействия электрической дуги (отсутствие контактов, размыкающих силовые или вспомогательные цепи). Кривая 2 — минимальное расстояние утечки (по поверхности изоляции) при вертикальном расположении изоляционной поверхности для частей аппаратов цепей управления и вспомогательных цепей (междугонные соединения, коннекторы, клеммовые коробки), закрытых от попадания влаги и грязи и изолированных от действия электрической дуги. Кривая 3 — минимальное расстояние утечки по горизонтальной поверхности изоляции для частей аппаратов цепей управления и вспомогательных цепей, закрытых от попадания влаги и грязи, а также изолированных от действия электрической дуги (то же, что кривая 2, но для горизонтальных поверхностей). Кривая 4 — наименьшее расстояние утечки по вертикальной поверхности изоляции для частей аппаратов силовых цепей, закрытых от попадания влаги и грязи, а также изолированных от действия электрической дуги при условии защиты цепей плавкими предохранителями, автоматическими выключателями, линейными контакторами (междугонные соединения, шушты измерительных приборов, коннекторы, клеммовые коробки, реле при отсутствии искрения контактов и пр.). Кривая 5 — наименьшее расстояние утечки по вертикальной поверхности изоляции для частей аппаратов силовых цепей, закрытых от попадания влаги и пыли, находящихся вблизи мест дугообразования, при условии защиты цепей предохранителями, автоматическими выключателями, линейными контакторами (силовые и вспомогательные контакторы, групповые переключатели, отключатели двигателей, реверсоры). Эта же кривая служит и для случаев, подобных кривой 4, но при горизонтальном расположении изоляционных поверхностей. Кривая 6 — наименьшее расстояние утечки по вертикальной поверхности

изоляции для частей аппаратов, силовых цепей, закрытых от попадания влаги и пыли, находящихся вблизи мест образования электрической дуги и имеющих назначением защиту всей системы путём размыкания цепи главного тока (быстродействующие выключатели, автоматические выключатели, линейные кон-

Кривые фиг. 126 носят также ориентировочный характер. От них могут быть допущены некоторые отклонения в том случае, если известны условия загрязнения проводов (защищённое или открытое расположение, расположение под кузовом или на крыше подвижного состава и т. д.).



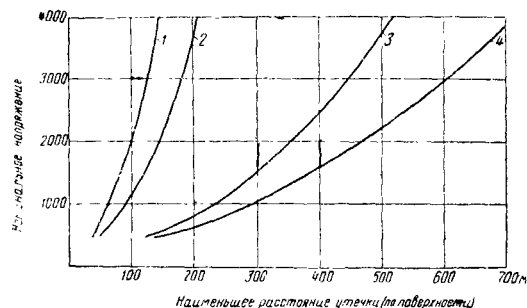
Фиг. 125. Кривые для определения электрических зазоров и расстояний утечки для деталей тяговой аппаратуры

такты, главные предохранители и др.). Эта же кривая служит и для случаев, подобных кривой 5, но при горизонтальном расположении изоляционных поверхностей. Кривая 7 — наименьшее расстояние утечки по горизонтальной поверхности изоляции для частей аппаратов силовых цепей, закрытых от попадания влаги и пыли, находящихся вблизи мест образования электрической дуги и предназначенных для защиты всей системы путём размыкания цепи главного тока (то же, что и для кривой 6, но при горизонтальном расположении изоляции).

Следует иметь в виду, что расстояния и зазоры, устанавливаемые приведенными кривыми, носят лишь ориентировочный характер и должны уточняться в зависимости от конкретных условий работы изоляционных деталей.

В кривых фиг. 126 представлены величины расстояний утечки по поверхности изоляции проводов и резиновых рукавов в зависимости от номинального напряжения. Кривая 1 — наименьшее расстояние утечки по вертикальной поверхности провода или шланга, имеющего чистую поверхность резины или поверхность, образовавшуюся в результате специальной пропитки или покраски покровной оплётки при расположении их в закрытом помещении. Кривая 2 — то же, что и кривая 1, для горизонтальной поверхности шланга или провода. Кривая 3 — то же, что и для кривой 1, но для вертикальной поверхности на открытом воздухе. Кривая 4 — то же, что и для кривой 1, но при горизонтальном расположении на открытом воздухе.

В качестве примера несколько иного подхода к оценке величин изоляционных зазоров ниже приводится система зазоров, устанавливаемая для тяговой аппаратуры нормами VDE, в которой введены следующие подразделения в зависимости от условий применения аппа-



Фиг. 126. Кривые для определения расстояний утечки для проводов и изоляционных шлангов

ратов и их конструкции: группа Л — для лёгких условий работы; группа С — для средних условий работы; группа Т — для тяжёлых условий работы.

Устройства группы Л предназначены к применению в помещениях с нормальной запылённостью и влажностью. При этом защитные средства предотвращают возможность сильного воздействия пыли и влаги на внутренние части.

Примером этой группы являются цоколи и патроны электроламп, мелкая аппаратура

Таблица 50

Величины расстояний утечки и электрических зазоров, рекомендуемых для тягового электрооборудования (в мм)

Номинальное напряжение в		Расстояние утечки для группы градации а			Расстояние утечки для группы градации б			Электрический зазор		
Постоянный ток	Переменный ток	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т
60	60	1,5	2	3	2	3	4	1	2	3
110	125	2	3	4	3	4	6	2	3	4
440	380	3	4	6	4	6	10	3	4	6
600	500	4	6	10	6	10	14	4	6	8
800	750	6	10	14	10	14	20	6	8	10
1 200	1 000	10	14	20	14	20	28	8	10	14
1 500	1 500	14	20	28	20	28	36	10	14	20
2 200	2 000	20	28	36	28	36	50	14	20	28
3 000	3 000	28	36	50	36	50	70	20	28	36
—	6 000	—	70	90	—	90	125	—	50	60

в кабинах машиниста и пассажирских помещениях ЭПС.

Устройства группы С предназначены к применению в пыльных и влажных помещениях, но обладают вместе с тем защищенным исполнением.

Примером этой группы является основная электротяговая аппаратура в кабинах управления, в вентилируемых высоковольтных камерах и машинных отделениях ЭПС в тех случаях, когда аппарат имеет прямую защиту от пыли и влаги.

Устройства группы Т предназначены к применению на ЭПС в условиях образования проводящей металлической пыли и сильного воздействия влаги (особенно талой воды). Примером этой группы является крышное электрооборудование всех видов электроподвижного состава и электрооборудование, располагаемое под кузовом.

Величина расстояния утечки (от поверхности изоляции) зависит не только от мате-

риала изоляционной детали и качества её поверхности, но в определённых случаях и от характера расположения этой поверхности. Так, меньшие величины расстояний (градация а) придается в случаях применения керамических материалов любого исполнения, стекла, слюды и миканита, эбонита, фасонных деталей из пластмассы, гетинакса и текстолита с точно горизонтальным или вертикальным расположением.

Увеличенные расстояния (градация б) придается для изоляционных деталей из мрамора при любом расположении деталей из пластмассы, текстолита и гетинакса при наклонном расположении изоляционных поверхностей.

В табл. 50 приведены данные расстояний утечки и электрических зазоров, которые не относятся к изоляционным деталям, работающим на открытом воздухе, где они должны завышаться и приниматься в соответствии с данными испытаний изоляторов.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

Электрические схемы отображают связи между тяговыми двигателями и аппаратами, обеспечивающие выполнение операций, необходимых для управления электроподвижным составом, питания собственных нужд и защиты электрооборудования.

Электрические схемы подразделяются на схемы силовых цепей, схемы цепей управления, схемы вспомогательных цепей и схемы защиты.

СХЕМЫ СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ

Силовые схемы должны обеспечивать следующие функции:

- 1) соединение системы с контактной сетью и ходовыми рельсами;
- 2) изменение направления движения локомотива;
- 3) переключение секций пусковых и тормозных сопротивлений;
- 4) переход с одного соединения тяговых двигателей на другое;
- 5) регулирование возбуждения тяговых двигателей;

6) переключение на тяговый режим и режим электрического торможения;

7) защиту двигателей, аппаратов и цепей схемы от коротких замыканий, перегрузок, перенапряжений и других ненормальных режимов, которые могут вызвать порчу электрического оборудования;

8) обеспечение работы системы при выключении части тяговых двигателей (аварийный режим).

Силовая схема должна обеспечивать эти функции при минимальном количестве переключающих и особенно дугогасящих аппаратов и соединительных проводов к ним.

На построение силовой схемы наибольшее влияние оказывают:

- 1) количество тяговых двигателей и их группировка в схеме;
 - 2) выбор схемы пуско-тормозных сопротивлений;
 - 3) система электрического торможения и способ перехода на режим торможения;
 - 4) способ перехода с одного соединения тяговых двигателей на другое.
- Схема пусковых и тормозных сопротивле-

ний должна иметь по возможности наибольшее число ступеней для получения плавного пуска и электроторможения и одновременно обеспечивать максимальное количество комбинаций из секций пусковых и тормозных сопротивлений, что позволяет получить наибольшее число ступеней при минимальном количестве контакторов.

Для лучшего использования пусковые и тормозные сопротивления обычно делятся на группы, а в пределах одной группы — на секции. Число групп обычно выбирают равным наибольшему числу параллельных цепей тяговых двигателей.

При аварийном режиме на зажимах тяговых двигателей, работающих в разных условиях, напряжение должно быть одинаковым.

При составлении схем должна быть предусмотрена надёжная защита цепей во всех режимах работы двигателей, машин и аппаратов.

Силовые схемы электровозов серии ВЛ22М

Часть электровозов серии ВЛ22М имеет оборудование для рекуперации электроэнергии при тормозном режиме. Часть электровозов этой серии режима электрического торможения не имеет. В обоих случаях электровозы имеют по шесть тяговых двигателей. На тяговом режиме предусмотрено три соединения: последовательное С, при котором все шесть двигателей соединяются последовательно; последовательно-параллельное СП, при котором двигатели соединяются по три последовательно в две параллельные группы; параллельное П, при котором образуется три параллельные группы с двумя двигателями в каждой.

На каждой группировке двигателей возможно применение двух ступеней ослабления поля возбуждения. Таким образом, общее количество экономических скоростей равно девяти.

Процесс пуска осуществляется переводом главной рукоятки контроллера машиниста

по его позициям. На последовательном соединении двигателей предусмотрено 15 реостатных и одна ходовая позиция; на последовательно-параллельном — 10 реостатных и одна ходовая и на параллельном — 8 реостатных и одна ходовая позиция. На каждом ходовом положении возможны ещё две позиции с ослабленным полем.

Схема электровоза с рекуперацией имеет 15 тормозных позиций. Она приведена на фиг. 1.

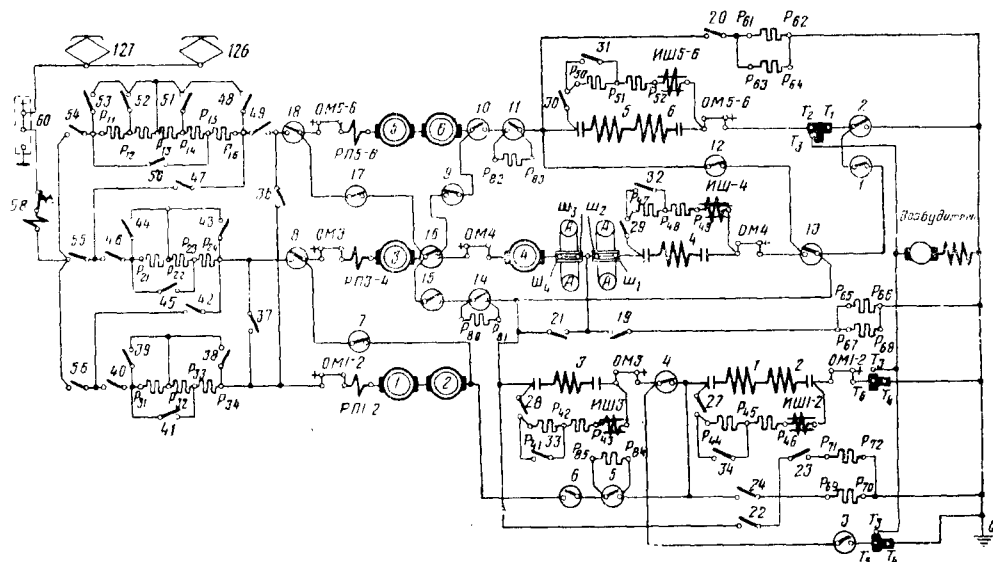
Работа схемы на тяговом режиме. Последовательное соединение двигателей (первая маневровая позиция) соответствует постановке съёмной реверсивной рукоятки контроллера машиниста в положение «Вперёд» или «Назад» и главной рукоятки в первое положение. При этом:

- 1) тормозной переключатель должен находиться в положении двигательного режима;
- 2) реверсор устанавливается в положение, соответствующее направлению движения («Вперёд» или «Назад»);
- 3) включается индивидуальный контактор 54 (первая группа пусковых сопротивлений);
- 4) включаются индивидуальные контакторы 40, 42, 46, 47 (соединяя последовательно три группы сопротивлений);
- 5) групповой переключатель находится в исходном первом положении и его контакторные элементы 1, 4, 7, 9, 12 и 17 замкнуты.

При этом все шесть тяговых двигателей и три группы пусковых сопротивлений включаются последовательно в одну цепь.

На дальнейших пятнадцати позициях происходит последовательное выведение пусковых сопротивлений переключением и закорачиванием их секций индивидуальными контакторами в соответствии с табл. 1.

На 16-й позиции все пусковые сопротивления выведены и двигатели работают при полном поле. На этой позиции могут быть осуществлены обе ступени ослабления поля. Первая ступень ОП-1 — замыканием контак-



Фиг. 1. Силовая схема электровоза ВЛ22М с рекуперативным торможением

горов 27, 28, 29, 30, вторая ступень ОП-2 — замыканием контакторов 31, 32, 33, 34.

Переход на последовательно-параллельное соединение производится переводом главной рукоятки контроллера машиниста с 16-й на 17-ю позицию и осуществляется шунтированием тяговых двигателей 4, 5, 6 сопротивлением $P_{80}-P_{81}$.

Перегруппировку двигателей производит групповой переключатель, причём различают следующие положения перехода:

I положение перехода — размыкаются индивидуальные контакторы 38, 39, 41, 43, 45, 47, 48 и 53, чем вводится вновь часть пусковых сопротивлений;

II положение перехода — замыкается контакторный элемент 15 группового переключателя, в результате чего тяговые двигатели 4, 5, 6 замыкаются на переходное сопротивление $P_{80}-P_{81}$;

III положение перехода — размыкаются контакторные элементы группового переключателя 1 и 17, размыкающие цепь тяговых двигателей 4, 5, 6;

замыкаются на 17-й позиции контакторные элементы 2, 14, 18 группового переключателя. Контакторы 2 и 18 подключают тяговые двигатели 5, 6, 4 параллельно двигателям 1, 2, 3. Контактный элемент 14 закорачивает сопротивление $P_{80}-P_{81}$.

Окончание перехода сопровождается замыканием индивидуального контактора 36, который включает уравнительную перемычку между обеими параллельными цепями двигателей.

На позиции 17-й цепь тока до быстрого действия выключателя сохраняется такой же, как и на 1-й позиции. От быстрого действия выключателя цепь разделяется на две параллельные ветви: первая — через замкнутый контактор 54, первую группу пусковых сопротивлений $P_{11}-P_{16}$, замкнутый контактор 49 и далее к уравнительному соединению, которое осуществляется контактором 36.

Вторая ветвь составляется от быстрого действия выключателя через замкнутые контакторы 55 и 46, вторую группу сопротивлений $P_{21}-P_{24}$, контакторы 42 и 40, третью группу сопротивлений $P_{31}-P_{34}$ и к уравнительному соединению.

От уравнительного соединения цепь тока разветвляется вновь по двум параллельным ветвям. Первая из них включает: якоря 1, 2 и 3 двигателей и обмотки возбуждения двигателей 3, 1 и 2, подходя к заземлительной шине. Во вторую цепь входят якоря двигателей 5, 6 и 4 и соответственно их обмотки возбуждения 4, 5 и 6 и далее шина заземления.

На последующих позициях по 27-ю включительно происходит постепенное выведение пусковых сопротивлений в соответствии с табл. 1. На позиции 27-й все сопротивления выведены и двигатели работают на полном поле при последовательно-параллельном соединении. На этой позиции также может быть применено ослабление поля двумя ступенями ОП-1 и ОП-2.

Переход на параллельное соединение производится переводом главной рукоятки контроллера машиниста с позиции 27-й на позицию 28-ю. Перегруппировку двигателей про-

изводит групповой переключатель, причём имеют место следующие переключения;

IV положение перехода — размыкаются индивидуальные контакторы 38, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 48, 50, 53, вводя все пусковые сопротивления, за исключением $P_{13}-P_{14}$;

V положение перехода — замыкаются контакторные элементы 6 и 10 группового переключателя. Контактный элемент 6 замыкает тяговый двигатель 3 на переходное сопротивление $P_{85}-P_{84}$. Контакт 10 замыкает двигатель 4 на сопротивление перехода $P_{82}-P_{83}$;

VI положение перехода — размыкаются контакторные элементы группового переключателя 4, 7, 9, 12, 15 и замыкаются цепи двигателей 3 и 4, которые замещаются сопротивлениями $P_{85}-P_{84}$ и $P_{82}-P_{83}$;

на 28-й позиции замыкаются контакторные элементы группового переключателя: 3, 8, 13, 16, соединяя двигатели 3 и 4 последовательно и подключая их параллельно двум другим группам, составленным из двигателей 1, 2 и 5, 6. Одновременно замыкаются контакторные элементы 5 и 11, закорачивая переходные сопротивления $P_{84}-P_{85}$ и $P_{82}-P_{83}$.

Переход заканчивается замыканием индивидуального контактора 37, соединяющего вместе с контактором 36 все три группы сопротивлений параллельно. До быстрого действия выключателя цепь сохраняется той же, что и на предыдущих позициях. Далее цепи тока разделяются на три параллельные ветви.

Первая из них включает первую группу сопротивлений $P_{11}-P_{16}$, якоря двигателей 5 и 6, их обмотки возбуждения 5 и 6, подходя к заземлительной шине.

Вторая ветвь включает вторую группу сопротивлений $P_{21}-P_{24}$, якоря двигателей 3 и 4, обмотку возбуждения двигателя 4, соединённую контакторным элементом 13 с обмоткой возбуждения двигателя 3, и далее через контакторный элемент 3 подходит к заземлительной шине.

Третья ветвь включает: третью группу сопротивлений $P_{31}-P_{34}$, якоря двигателей 1 и 2, их обмотки возбуждения 1 и 2 и далее также подходит к заземлительной шине.

Все три параллельные ветви за пусковыми сопротивлениями имеют уравнительные соединения, образованные замкнутыми контакторами 37 и 36.

При переходе на дальнейшие позиции, включая 36-ю, происходит постепенное выведение сопротивлений. На 36-й позиции все пусковые сопротивления полностью выведены и двигатели работают на характеристиках полного поля. Так же как и при предыдущих соединениях первая ступень ослабления поля осуществляется на позиции 36-й замыканием контакторов 27, 28, 29, 30, вторая ступень — замыканием контакторов 31, 32, 33, 34.

Пусковая диаграмма электровоза ВЛ22м при последовательном, последовательно-параллельном и параллельном соединениях тяговых двигателей приведена на фиг. 2.

Тяговый режим при частично отключённых тяговых двигателях (аварийный). Повреждённый двигатель или группа двигателей выводятся из схемы отключателями ОМ1-2, ОМ-3, ОМ-4, ОМ5-6, представляющими собой двухполюсные рубильники.

Последовательность замыкания контакторов электровоза

Режим	Соедине- ние дви- гате- лей	Позиции	Контакты группового пере											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Тяговый	Последовательное С	1	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		2	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		3	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		4	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		5	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		6	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		7	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		8	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		9	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		10	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		11	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		12	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		13	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		14	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		15	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		16	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
	Переход	ОП-1	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		ОП-2	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Последовательное- параллельное СП	17	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		18	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		19	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		20	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		21	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		22	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		23	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		24	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		25	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		26	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		27	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		ОП-1	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		ОП-2	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
	Переход	IV	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		V	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		VI	—	2	—	—	—	6	—	—	—	10	—	—
	Параллельное П	28	—	2	3	—	5	6	—	8	—	10	11	—
		29	—	2	3	—	5	6	—	8	—	10	11	—
		30	—	2	3	—	5	6	—	8	—	10	11	—
		31	—	2	3	—	5	6	—	8	—	10	11	—
		32	—	2	3	—	5	6	—	8	—	10	11	—
		33	—	2	3	—	5	6	—	8	—	10	11	—
		34	—	2	3	—	5	6	—	8	—	10	11	—
		35	—	2	3	—	5	6	—	8	—	10	11	—
		36	—	2	3	—	5	6	—	8	—	10	11	—
		ОП-1	—	2	3	—	5	6	—	8	—	10	11	—
		ОП-2	—	2	3	—	5	6	—	8	—	10	11	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Тормозной	Последовательное С	1	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		2	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		3	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		4	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		5	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		6	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		7	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		8	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		9	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		10	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		11	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		12	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		13	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		14	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		15	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
		16	1	—	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
	СП	16	—	2	—	4	—	—	7	—	9	—	—	12
	П	16	—	2	3	—	5	6	—	8	—	10	11	—

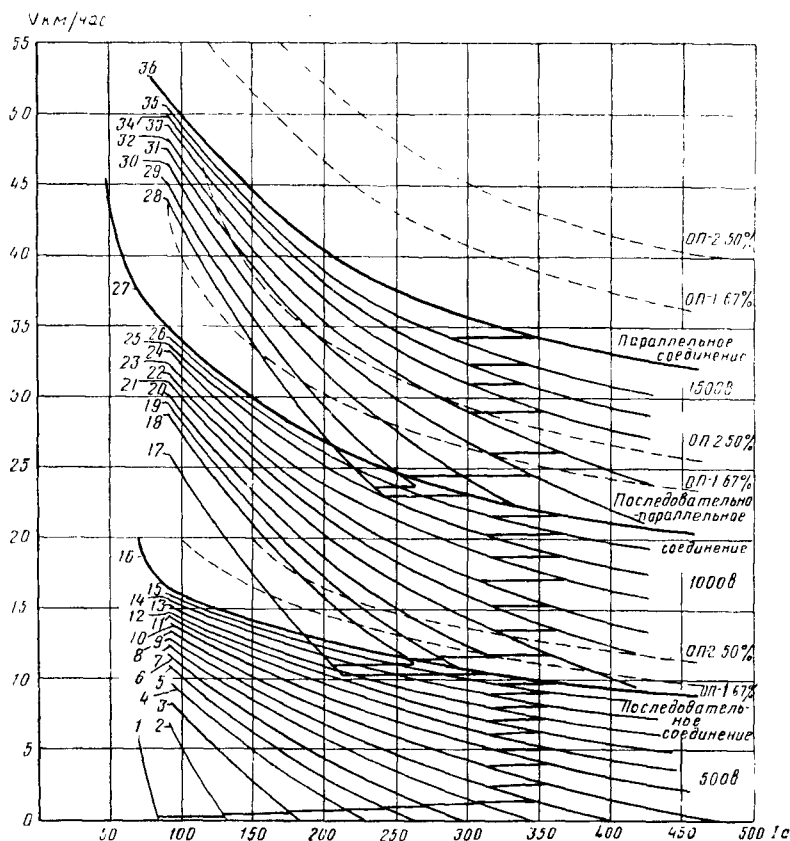
серии ВЛ22^М с рекуперативным торможением

[illegible]

Режим	Соединение двигателей	Позиции	Индивидуальные											
			30	31	32	33	34	35	37	38	39	40	41	42
Тяговый	Последовательное С	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—	42
		2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—	42
		3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—	42
		4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—	42
		5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—	42
		6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—	42
		7	—	—	—	—	—	—	—	—	39	40	—	42
		8	—	—	—	—	—	—	—	—	39	40	—	42
		9	—	—	—	—	—	—	—	—	39	40	—	42
		10	—	—	—	—	—	—	—	—	39	40	41	42
		11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	41	42
		12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	41	42
		13	—	—	—	—	—	—	—	38	—	40	41	42
		14	—	—	—	—	—	—	—	38	—	40	41	42
		15	—	—	—	—	—	—	—	38	—	40	41	42
		16	—	—	—	—	—	—	—	38	39	40	41	42
Тяговый	ОП-1 ОП-2	30	30	—	—	—	—	—	—	38	39	40	41	42
		30	30	31	32	33	34	—	—	38	39	40	41	42
	Переход	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—	42
		II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—	42
		III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—	42
	Последовательно-параллельное СП	17	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	—	42
		18	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	—	42
		19	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	—	42
		20	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	—	42
		21	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	—	42
		22	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	—	42
		23	—	—	—	—	—	36	—	—	39	40	—	42
		24	—	—	—	—	—	36	—	—	39	40	41	42
		25	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	41	42
		26	—	—	—	—	—	36	—	38	—	40	41	42
		27	—	—	—	—	—	36	—	38	39	40	41	42
	ОП-1 ОП-2	30	30	—	—	—	—	36	—	38	39	40	41	42
		30	30	31	32	33	34	36	—	38	39	40	41	42
Тормозной	Переход	IV	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	—	—
		V	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	—	—
		VI	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	—	—
	Параллельное П	28	—	—	—	—	—	36	37	—	—	40	—	—
		29	—	—	—	—	—	36	37	—	—	40	—	—
		30	—	—	—	—	—	36	37	—	—	40	—	—
		31	—	—	—	—	—	36	37	—	—	40	—	—
		32	—	—	—	—	—	36	37	—	39	40	—	—
		33	—	—	—	—	—	36	37	—	39	40	41	—
		34	—	—	—	—	—	36	37	—	—	40	41	—
		35	—	—	—	—	—	36	37	38	—	40	41	—
		36	—	—	—	—	—	36	37	38	39	40	41	—
		ОП-1	30	—	—	—	—	36	37	38	39	40	41	—
		ОП-2	30	31	32	33	34	36	37	38	39	40	41	—
Тормозной	Последовательное С	1	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	—	42
		2	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	—	42
		3	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	—	42
		4	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	—	42
		5	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	—	42
		6	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	—	42
		7	—	—	—	—	—	36	—	—	39	40	—	42
		8	—	—	—	—	—	36	—	—	39	40	—	42
		9	—	—	—	—	—	36	—	—	39	40	—	42
		10	—	—	—	—	—	36	—	—	39	40	41	42
		11	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	41	42
		12	—	—	—	—	—	36	—	—	—	40	41	42
		13	—	—	—	—	—	36	—	38	—	40	41	42
		14	—	—	—	—	—	36	—	38	—	40	41	42
		15	—	—	—	—	—	36	—	38	—	40	41	42
		16	—	—	—	—	—	36	—	38	39	40	41	42
Тормозной	СП	16	—	—	—	—	—	36	—	38	39	40	41	42
	П	16	—	—	—	—	—	36	37	38	39	40	41	42

Продолжение

контакты														Величины сопротивле- ний по пози- циям в ом
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	
—	—	—	46	47	—	—	—	—	—	—	54	—	—	30,789
—	—	—	46	47	—	—	—	51	—	—	54	—	—	19,529
—	—	—	46	47	—	—	—	51	52	—	54	—	—	14,979
—	44	—	46	47	—	—	—	51	52	—	54	—	—	12,049
—	44	45	46	47	—	—	—	51	52	—	54	—	—	10,369
—	—	45	46	47	—	—	—	51	52	53	54	—	—	8,919
—	—	45	46	47	—	—	—	51	—	53	54	—	—	7,589
—	—	45	46	47	—	—	50	51	—	53	54	—	—	6,339
43	—	45	46	47	—	—	50	—	—	—	54	—	—	5,235
43	—	45	46	47	—	—	50	—	—	—	54	—	—	4,228
43	—	45	46	47	48	—	50	—	—	—	54	—	—	3,326
43	—	45	46	47	48	—	50	51	—	—	54	—	—	2,532
43	—	45	46	47	48	—	50	51	—	—	54	—	—	1,773
43	—	45	46	47	48	—	50	51	—	53	54	—	—	1,047
43	44	45	46	47	48	—	—	51	—	53	54	—	—	0,381
43	44	45	46	47	48	49	—	51	—	53	54	55	—	0,000
43	44	45	46	47	48	49	—	51	—	53	54	55	—	0,000
—	44	—	46	—	—	49	—	51	—	—	54	55	—	—
—	44	—	46	—	—	49	—	51	—	—	54	55	—	—
—	44	—	46	—	—	49	—	51	—	—	54	55	—	—
—	44	—	46	—	—	49	—	51	—	—	54	55	—	4,050
—	44	—	46	—	—	49	—	51	52	—	54	55	—	2,950
—	44	45	46	—	—	49	—	51	52	—	54	55	—	2,590
—	44	45	46	—	—	49	—	51	52	53	54	55	—	2,160
43	44	55	46	—	—	49	—	51	52	53	54	55	—	1,785
43	44	45	46	—	—	49	50	51	52	53	54	55	—	1,430
43	44	45	46	—	—	49	50	—	52	—	54	55	—	1,140
43	44	45	46	—	—	49	50	—	52	—	54	55	—	0,777
43	44	45	46	—	48	49	50	—	52	—	54	55	—	0,486
43	44	45	46	—	48	49	50	51	52	—	54	55	—	0,221
43	44	45	46	—	48	49	50	51	52	53	54	55	56	0,000
43	44	45	46	—	48	49	50	51	52	53	54	55	56	0,000
—	—	—	46	—	—	49	—	51	52	—	54	55	56	—
—	—	—	46	—	—	49	—	51	52	—	54	55	56	—
—	—	—	46	—	—	49	—	51	52	—	54	55	56	—
—	—	—	46	—	—	49	—	51	52	—	54	55	56	1,560
—	44	—	46	—	—	49	—	51	52	—	54	55	56	1,293
—	44	—	46	—	—	49	50	51	52	—	54	55	56	1,010
—	44	45	46	—	—	49	50	—	—	—	54	55	56	0,790
—	—	45	46	—	48	49	50	—	—	—	54	55	56	0,593
—	—	45	46	—	48	49	50	—	52	—	54	55	56	0,381
43	—	45	46	—	48	49	50	—	52	—	54	55	56	0,281
43	—	45	46	—	48	49	50	51	52	—	54	55	56	0,166
43	44	45	46	—	48	49	50	51	52	53	54	55	56	0,000
43	44	45	46	—	48	49	50	51	52	53	54	55	56	0,000
—	—	—	46	47	—	—	—	51	—	—	54	—	—	19,529
—	—	—	46	47	—	—	—	51	—	—	54	—	—	19,529
—	—	—	46	47	—	—	—	51	52	—	54	—	—	14,979
—	44	—	46	47	—	—	—	51	52	—	54	—	—	12,049
—	44	45	46	47	—	—	—	51	52	—	54	—	—	10,369
—	—	45	46	47	—	—	—	51	52	53	54	—	—	8,919
—	—	45	46	47	—	—	—	51	52	53	54	—	—	7,589
—	—	45	46	47	—	—	50	51	—	53	54	—	—	6,339
43	—	45	46	47	—	—	50	51	—	—	54	—	—	5,235
43	—	45	46	47	—	—	50	51	—	—	54	—	—	4,228
43	—	45	46	47	48	—	50	51	—	—	54	—	—	2,532
43	—	45	46	47	48	—	50	51	—	—	54	—	—	2,532
43	—	45	46	47	48	—	50	51	—	—	54	—	—	1,773
43	—	45	46	47	48	—	50	51	—	53	54	—	—	1,047
43	44	45	46	47	48	—	—	51	—	53	54	—	—	0,381
43	44	45	46	47	48	49	—	51	—	53	54	55	56	0,000
43	44	45	46	47	48	49	—	51	—	53	54	55	56	0,000
43	44	45	46	47	48	49	—	51	—	53	54	55	56	0,000



Фиг. 2. Пусковая диаграмма электровоза ВЛ22М

За счёт блокировок отключателя работа электровоза при отключённой части двигателей возможна лишь с 17-й позиции контроллера машиниста.

При отключённых двигателях 1, 2, 3 цепь тока следующая: пантографы 126 или 127, быстродействующий выключатель, контактор 54, сопротивления $P_{11}-P_{12}$, $P_{14}-P_{15}$, $P_{22}-P_{24}$, $P_{31}-P_{34}$, контактор 36 и контакторный элемент 18 группового переключателя, якоря двигателей 5, 6 и 4; далее, обмотки возбуждения двигателей 4, 5 и 6 и заземлительная шина.

Подобно этому цепь составляется при отключении группы двигателей 5 и 6 или двигателя 4.

Перевод рукоятки контроллера с 17-й позиции на последующие вызывает постепенное выведение пусковых сопротивлений, причём замыкания контакторов будут происходить так, как указано в табл. 1 для последовательно-параллельного соединения двигателей, за исключением того, что контакторы 49 и 55 не включаются. Все сопротивления выводятся на 27-й позиции, на которой электровоз работает при одной группе из трёх последовательно соединённых тяговых двигателей. На этой позиции возможно применение ослабления поля ОП-1 и ОП-2.

В случае, если отключены двигатели 1 и 2, возможно получение параллельного соединения двух групп двигателей. При переводе

рукоятки контроллера с 27-й на 28-ю позицию от быстродействующего выключателя цепь тока разделяется на две параллельные ветви.

Первая ветвь: пусковое сопротивление $P_{11}-P_{12}$, $P_{14}-P_{15}$, якоря двигателей 5 и 6, их обмотки возбуждения 5 и 6, заземлительная шина.

Вторая ветвь: пусковые сопротивления $P_{31}-P_{34}$, контактор 37 якоря двигателей 3 и 4, обмотки возбуждения двигателей 4 и 3, заземлительная шина.

Подобным же образом схема собирается при отключении группы 5 и 6 двигателей. В этом случае параллельные группы состояются из двигателей 3, 4 и 1, 2. При отключении одного из двигателей 3 или 4 в параллельные группы на 28-й позиции входят двигатели 5, 6 и 1, 2.

Перевод рукоятки с позиции 28-й в 36-ю сопровождается последовательным выводом пусковых сопротивлений.

На 36-й позиции все сопротивления замкнуты и работа двигателей проходит по автоматическим характеристикам. На этой позиции возможно применение ослабления поля ОП-1 и ОП-2.

При отключении двигателей 1, 2 и 3 или 4, 5 и 6 на позициях 17—27-й будут включены последовательно три двигателя, а на позициях 28—36-й только два, что совершенно недостаточно. В этом случае разрешается езда

только до 27-й позиции. Езда при одновременном отключении двигателей 3 и 4; 1-2 и 4; 5-6 и 3; 1-2 и 5-6 не допускается.

Не допускается также применение рекуперативного торможения при работе двигателей по аварийной схеме.

Режим рекуперативного торможения. При рекуперативном торможении возможны три соединения групп двигателей: параллельное соединение якорей, последовательно-параллельное соединение якорей и последовательное соединение якорей (см. фиг. 37, стр. 47).

Необходимое соединение осуществляется установкой селективной рукоятки контроллера машиниста в соответствующее положение.

При всех этих соединениях якоря подключаются к сети через регулируемые сопротивления, в качестве которых используются пусковые. В цепи якорей включаются стабилизирующие сопротивления, а в цепи обмоток возбуждения — мотор-генератор (возбудитель) для их питания.

Процесс торможения регулируется перестановкой с позиции 1-й по позицию 15-ю рукоятки тормозного барабана контроллера, что изменяет режим работы возбудителя и, следовательно, ток обмоток возбуждения тяговых двигателей.

Переход с тягового на тормозной режим осуществляется в такой последовательности:

- 1) запускается мотор-генератор;
- 2) двигатели отключаются от контактной сети;
- 3) контакторами 19, 20, 21, 22, 23, 24 включаются стабилизирующие сопротивления;
- 4) тормозной переключатель устанавливается в положение торможения, присоединяя цепи обмоток возбуждения к возбудителю;
- 5) групповой переключатель устанавливается в положение, выбранное на контроллере машиниста;
- 6) тяговые двигатели присоединяются последовательно с сопротивлениями к контактной сети замыканием контакторов 54, 47, 46, 42, 40;
- 7) возбуждение возбудителя рекуперации устанавливается таким, чтобы ток в цепи якорей приблизился к нулю. После этого выводятся пусковые сопротивления;
- 8) устанавливается такой режим возбуждения возбудителя, который даёт нужный тормозной эффект.

При параллельном соединении якорей цепь тока составляется следующим образом: пантограф 126 или 127, быстродействующий выключатель; последовательно соединённые три группы пусковых сопротивлений; далее цепь разветвляется на три параллельные ветви.

Первая ветвь включает якоря двигателей 5 и 6, за которыми цепь разветвляется. В одной из её ветвей стабилизирующие сопротивления $P_{61}-P_{62}$ и $P_{63}-P_{64}$, соединённые с заземлительной шиной. В другой ветви обмотки возбуждения двигателей 5 и 6, контакты T_2-T_3 тормозного переключателя, возбудитель, так же соединённый с шиной заземления.

Вторая ветвь включает якоря двигателей 3 и 4, за которыми цепь разветвляется.

В одной из её ветвей стабилизирующие сопротивления $P_{65}-P_{66}$ и $P_{67}-P_{68}$, заземлительная шина. В другой (от точки Ш₃) обмотки возбуждения двигателя 4 и двигателя 3, контакты T_5-T_3 тормозного переключателя, якорь возбудителя и шина заземления.

Третья ветвь включает якоря тяговых двигателей 1 и 2, за которыми цепь разветвляется. В одной из её ветвей стабилизирующие сопротивления $P_{69}-P_{70}$ и $P_{71}-P_{72}$ и заземлительная шина. В другой ветви обмотки возбуждения двигателей 1 и 2, контакты T_6-T_3 тормозного переключателя, возбудитель, заземлительная шина.

При последовательно-параллельном соединении якорей цепь тока до уравнивающего контактора 36 составляется так же, как и при параллельном их соединении. Далее цепь составляется по двум параллельным ветвям.

Первая ветвь включает якоря двигателей 5, 6 и 4, за которыми цепь разветвляется. В одной из её ветвей стабилизирующие сопротивления $P_{65}-P_{66}$ и $P_{67}-P_{68}$ и земля. В другой ветви (от контакта Ш₃) обмотки возбуждения двигателей 5 и 6, контакты T_2-T_3 тормозного переключателя, возбудитель, заземлительная шина.

Вторая ветвь включает якоря двигателей 1, 2 и 3, за которыми цепь разветвляется. В одной из её ветвей стабилизирующие сопротивления $P_{69}-P_{70}$ и $P_{71}-P_{72}$ и заземлительная шина. В другой ветви (от контакторного элемента 14) обмотки возбуждения двигателей 3, 1 и 2, контакты T_6-T_3 тормозного переключателя, возбудитель, заземлительная шина.

При последовательном соединении якорей цепь тока до выхода из пусковых сопротивлений такая же, как и при предыдущих группировках. Далее цепь составляется из шести последовательно соединённых якорей тяговых двигателей 1, 2, 3, 5, 6 и 4. За ними идут параллельные ветви.

Первая ветвь: контактор 19, стабилизирующие сопротивления $P_{65}-P_{66}$ и $P_{67}-P_{68}$, заземлительная шина. Вторая ветвь: контакторы 21 и 22, стабилизирующее сопротивление $P_{69}-P_{70}$, заземлительная шина. К контакту шунта амперметра I_3 обмотки возбуждения присоединены двумя параллельными ветвями. Первая ветвь: обмотки возбуждения двигателей 4, 5 и 6, контакты T_2-T_3 тормозного переключателя, возбудитель и шина заземления.

Вторая ветвь: обмотки возбуждения двигателей 3, 1 и 2, контакты T_6-T_3 тормозного переключателя, возбудитель, заземлительная шина.

Силовая схема электровоза ВЛ22^М без электрического торможения (фиг. 3) значительно упрощена по сравнению со схемой электровоза ВЛ22^М, оборудованного рекуперативным торможением. Последовательность замыкания контакторов к ней указана в табл. 2.

Основные отличия этой схемы от рекуперативной сводятся к следующему:

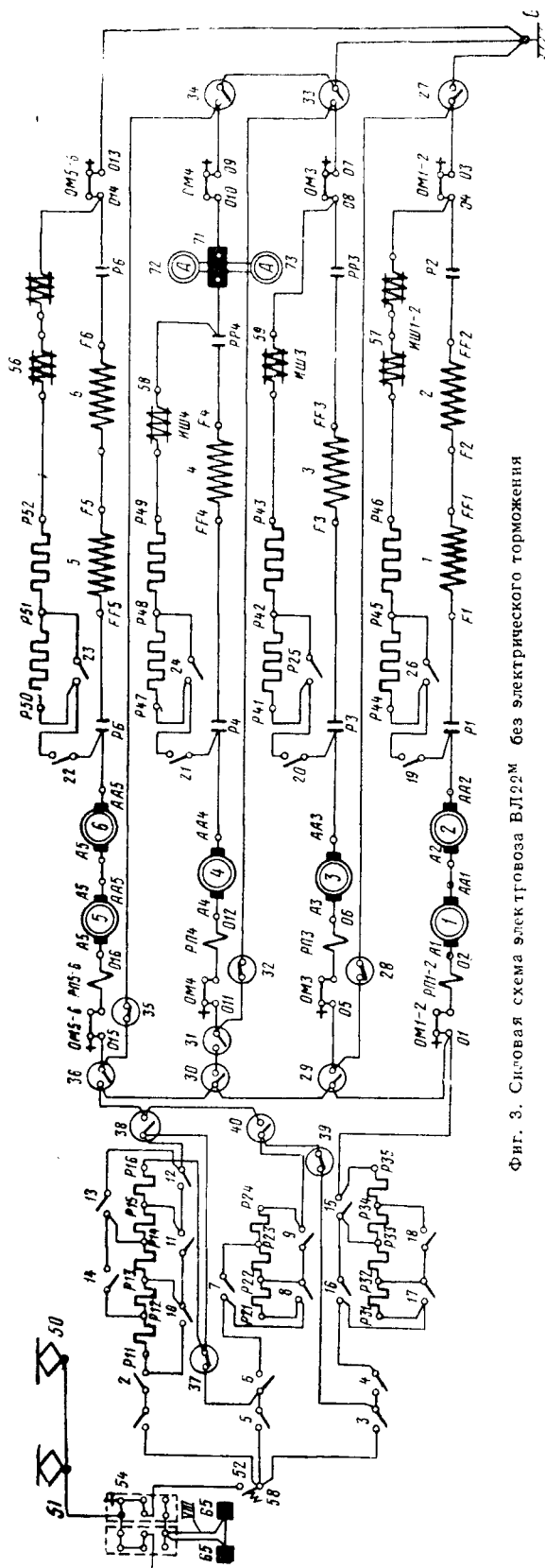
- а) переход с одного на другое соединение двигателей осуществляется коротким замыканием, а не шунтированием двигателей;
- б) обмотки возбуждения тяговых двига-

Последовательность замыкания контакторов электро

Соединение двигателей	Позиция	Индивидуальные																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Последовательное С	1	1	2	—	4	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	2	1	2	—	4	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	3	1	2	—	4	—	6	—	—	—	—	—	12	—	—	—	—	—	—	
	4	1	2	—	4	—	6	—	—	—	—	—	12	—	—	—	—	—	—	
	5	1	2	—	4	—	6	—	—	—	—	—	13	—	—	—	—	—	—	
	6	1	2	—	4	—	6	—	—	—	—	—	13	—	—	—	16	—	—	
	7	1	2	—	4	—	6	—	—	—	—	—	12	—	—	—	16	—	—	
	8	1	2	—	4	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	—	—	
	9	1	2	—	4	—	6	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	17	—	
	10	1	2	—	4	—	6	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	17	—	
	11	1	2	—	4	—	6	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	17	—	
	12	1	2	—	4	—	6	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	17	—	
	13	1	2	—	4	—	6	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	17	—	
	14	1	2	—	4	—	6	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	17	—	
	15	1	2	—	4	—	6	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	17	—	
	16	1	2	3	4	—	6	—	—	—	—	—	12	13	14	15	16	17	18	
	ОП-1 ОП-2	1	2	3	4	—	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1		2	3	4	—	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Переход	I	1	2	3	4	—	6	—	—	—	—	—	12	—	—	—	—	—	—	
	II	1	2	3	4	—	6	—	—	—	—	—	12	—	—	—	—	—	—	
	III	1	2	3	4	—	6	—	—	—	—	—	12	—	—	—	—	—	—	
	IV	1	2	3	4	—	6	—	—	—	—	—	12	—	—	—	—	—	—	
Последовательно-параллельное СП	17	1	2	3	4	—	6	—	—	—	—	—	12	—	—	—	—	—	—	
	18	1	2	3	4	—	6	—	—	—	—	—	12	—	—	—	—	—	—	
	19	1	2	3	4	—	6	—	—	—	—	—	12	—	—	—	—	—	—	
	20	1	2	3	4	—	6	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	—	—	
	21	1	2	3	4	—	6	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	—	—	
	22	1	2	3	4	—	6	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	—	—	
	23	1	2	3	4	—	6	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	—	—	
	24	1	2	3	4	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	25	1	2	3	4	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	26	1	2	3	4	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	27	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	—	13	14	15	16	17	18	
	ОП-1 ОП-2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	Переход	I	1	2	3	4	5	6	—	—	—	—	—	—	13	—	—	—	—	—
		II	1	2	3	4	5	6	—	—	—	—	—	—	13	—	—	—	—	—
		III	1	2	3	4	5	6	—	—	—	—	—	—	13	—	—	—	—	—
		IV	1	2	3	4	5	6	—	—	—	—	—	—	13	—	—	—	—	—
Параллельное П	28	1	2	3	4	5	6	—	—	—	—	—	—	13	—	—	—	—	—	
	29	1	2	3	4	5	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	30	1	2	3	4	5	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	31	1	2	3	4	5	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	32	1	2	3	4	5	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	33	1	2	3	4	5	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	34	1	2	3	4	5	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	35	1	2	3	4	5	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	36	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	—	13	14	15	16	17	18	
	ОП-1 ОП-2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

возов серии ВЛ22^М без электрического торможения

контакты										Контакты группового переключателя										Величины сопротивления по позициям	
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39		40
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	27,18
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	18,9
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	13,9
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	11,2
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	9,67
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	8,2
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	6,8
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	5,8
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	4,85
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	3,9
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	2,894
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	1,979
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	1,409
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	0,828
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	0,394
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	0,000
20	21	22	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	0,000
20	21	22	23	24	25	26	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	0,000
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	—	—	35	—	37	—	39	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	33	—	35	—	37	—	39	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	32	33	—	35	—	37	—	39	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	30	31	—	33	—	35	—	37	—	40	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	30	31	—	33	—	35	—	37	—	—	—	3,76
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	30	31	—	33	—	35	—	37	—	40	—	2,72
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	30	31	—	33	—	35	—	37	—	40	—	2,44
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	30	31	—	33	—	35	—	37	—	40	—	2,02
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	30	31	—	33	—	35	—	37	—	40	—	1,68
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	30	31	—	33	—	35	—	37	—	40	—	1,32
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	30	31	—	33	—	35	—	37	—	40	—	1,01
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	30	31	—	33	—	35	—	37	—	40	—	0,744
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	30	31	—	33	—	35	—	37	—	40	—	0,41
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	30	31	—	33	—	35	—	37	—	40	—	0,217
—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	30	31	—	33	—	35	—	37	—	40	—	0,000
20	21	22	—	—	—	—	—	28	—	30	31	—	33	—	35	—	37	—	—	40	0,000
20	21	22	23	24	25	26	—	28	—	30	31	—	33	—	35	—	37	—	—	40	0,000
—	—	—	—	—	—	—	—	27	28	—	—	30	31	—	35	—	37	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	27	28	—	—	30	31	—	35	36	37	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	27	28	—	29	30	31	32	—	36	37	38	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—									



Фиг. 3. Силовая схема электропоезда ВЛ22М без электрического торможения

телей включаются в цепи не после всех якорей, а непосредственно за якорями своей группы; в) часть переключений групп сопротивлений осуществляется не индивидуальными контакторами, а контакторными элементами группового переключателя (37, 38, 39, 40); г) отсутствует тормозное оборудование: мотор-генератор рекуперации, стабилизирующие сопротивления и т. д.

Схема силовой цепи восьмипольного электропоезда Н8¹

На электропоезде Н8 тяговые двигатели, на тяговом режиме соединяются последовательно (С), образуя одну группу; последовательно-параллельно (СП), образуя две параллельно соединённые группы из четырёх двигателей в каждой; параллельно (П), образуя четыре параллельные группы с двумя двигателями в каждой.

На каждом соединении двигателей возможно применение четырёх ступеней ослабления поля возбуждения (коэффициенты ослабления поля равны 75, 55, 43 и 36%).

Таким образом, общее количество экономических скоростей электропоезда равно 15.

На рекуперативном торможении тяговые двигатели имеют также три соединения: последовательное, последовательно-параллельное и параллельное, причём на электропоезде Н8 в отличие от электропоезда ВЛ22М, с целью уменьшения мощности мотор-генераторов применена новая схема рекуперативного торможения, разработанная инженерами Б. Н. Тихменевым и Г. В. Птициным. Особенность этой схемы — отсутствие стабилизирующих сопротивлений.

Противокомпаундная характеристика тяговых двигателей, необходимая для электрической устойчивости при рекуперативном торможении, получается с помощью генераторов, которые имеют независимые и встречно включённые, последовательные обмотки возбуждения, находящиеся в силовой цепи якорей тяговых двигателей.

Равномерное распределение тока на последовательно-параллельном соединении достигается применением для обмоток возбуждения двигателей каждой параллельной цепи отдельных генераторов, имеющих свои последовательные обмотки в соответствующих цепях якорей тяговых двигателей. На параллельном соединении равномерное распределение тока осуществляется с помощью схемы циклического соединения обмоток возбуждения тяговых двигателей.

Отсутствие в схеме рекуперативного торможения стабилизирующих сопротивлений позволяет существенно уменьшить мощность, габариты и вес мотор-генераторов (преобразователей). У электропоезда ВЛ22М отношение мощности генератора мотор-генератора к мощности тяговых двигателей составляет $\frac{57\,000}{2\,400} = 23,75 \text{ вт/квт}$, а у восьмипольного электропоезда всего $\frac{2 \cdot 22\,000}{4\,200} = 10,5 \text{ вт/квт}$, т. е. меньше в два с лишним раза.

Соединение схемы рекуперативного торможения производится автоматически, с по-

¹ Написано инж. В. К. Калинин.

мощью реле рекуперации, когда при наборе тормозного контроллера или увеличении скорости движения поезда электродвижущая сила тяговых двигателей становится равной или достаточно близкой к напряжению в контактной сети. На восьмиосном электровозе применено дифференциальное реле, действующее на отключение быстродействующего выключателя при электрических перебросах или замыканиях на землю в цепи тяговых двигателей и пусковых сопротивлений. Такая защита, обладающая значительными преимуществами, необходима при применении электрических схем, в которых обмотки возбуждения отдельных тяговых двигателей включаются до обмоток якорей.

Для каждого тягового двигателя применены дифференциальные сигнальные реле (без блокировок), которые с помощью специальных флажков позволяют определить в схеме место замыкания на землю.

Срабатывание реле перегрузок при недопустимом увеличении тока тяговых двигателей воздействует не на отключение быстродействующего выключателя, как на электровозах ВЛ22м, а на введение в цепь двигателей пусковых сопротивлений.

При рекуперативном торможении срабатывание реле перегрузок или реле максимального напряжения воздействует также не на отключение быстродействующего выключателя, а на увеличение сопротивления в цепи обмоток независимого возбуждения генераторов (преобразователей), приводящее к уменьшению электродвижущих сил тяговых двигателей и уменьшению напряжения.

На восьмиосных электровозах для каждой пары тяговых двигателей применены реле боксования, которые подают машинисту световой сигнал о нарушении сцепления колёс с рельсами. Это реле при рекуперативном торможении, кроме подачи светового сигнала, автоматически действует на токи возбуждения и рекуперации, уменьшая их, и этим снижает тормозную силу электровоза.

Для уменьшения количества низковольтных и высоковольтных проводов, идущих из одного кузова в другой, на электровозе установлено по два реверсора, тормозных переключателя и отключателя тяговых двигателей. Эти аппараты установлены по одному в каждой половине кузова.

Кроме того, на электровозе применено три групповых переключателя, каждый на два положения. Исходное положение групповых переключателей соответствует последовательному соединению тяговых двигателей. Нулевой групповой переключатель КСП0, расположенный в первой половине кузова, переключает тяговые двигатели на последовательно-параллельное соединение. Первый и второй групповые переключатели КСП1 и КСП2 переключают тяговые двигатели в соответствующих половинах кузова электровоза на параллельное соединение.

Действие силовой цепи на тяговом режиме¹. Для приведения электровоза в движение необходимо поднять пантограф 45-1 или 45-2 (фиг. 4), пустить вспомогательные машины,

включить быстродействующий выключатель 51 и установить селективно-реверсивную рукоятку контроллера машиниста в положение «Вперёд» или «Назад», а главную рукоятку на 1-ю позицию. При этом реверсоры устанавливаются в положение «Вперёд» или «Назад» и включаются индивидуальные контакторы 3-1, 4-1, 3-2 и 4-2, тормозные переключатели находятся в положении тягового режима, а групповые переключатели — в положении, соответствующем последовательному соединению тяговых двигателей, при котором замкнуты их контакторные элементы (контакты) 22-1, 25-1, 32-0, 22-2 и 25-2. После замыкания этих контакторов все тяговые двигатели включаются последовательно и присоединяются к контактному проводу через введённые полностью пусковые сопротивления. При этом образуется следующая электрическая цепь: пантограф, главный разъединитель 47, быстродействующий выключатель 51, дифференциальное реле 52, индивидуальные контакторы 3-1, 4-1, группа пусковых сопротивлений P1—P4, контактор 22-1 группового переключателя КСП1, группа пусковых сопротивлений P5—P8, катушка реле перегрузки РП1-2, нож ОМ1 отключателя тяговых двигателей, якорь двигателя 1, контактор Т4-1 тормозного переключателя, контактор Р1 реверсора, обмотка возбуждения двигателя 1, контактор РР1 реверсора, нож ОМ1 отключателя тяговых двигателей, контактор Т7-1 тормозного переключателя, нож ОМ2 отключателя тяговых двигателей, контактор Р2 реверсора, обмотка возбуждения двигателя 11, контакторы РР2 и Т2-1 реверсора и тормозного переключателя, якорь двигателя 11, нож ОМ2, контактор 25-1 группового переключателя, катушка реле перегрузки РП3-4, нож ОМ3 отключателя тяговых двигателей, якорь двигателя 111, контакторы Т14-1 и Р3 тормозного переключателя и реверсора, обмотка возбуждения двигателя 111, контактор РР3 реверсора, нож ОМ3 отключателя двигателей, контактор Т17-1 тормозного переключателя, нож ОМ4 отключателя двигателей, контактор Р4 реверсора, обмотка возбуждения двигателя 1V, контактор РР4 реверсора, шунт 67-1 амперметра 69-1, контактор Т12-1 тормозного переключателя, якорь двигателя 1V, нож ОМ4 отключателя двигателей, шунт 68-1 амперметра 70-1, контактор Т19-1 тормозного переключателя, контактор 32-0 группового переключателя КСП0, индивидуальные контакторы 3-2, 4-2, группа пусковых сопротивлений P23—P26, контактор 22-2 группового переключателя, группа пусковых сопротивлений P27—P30, катушка реле перегрузки РП5-6, нож ОМ5 отключателя двигателей, якорь двигателя V, контакторы Т4-2 и Р5 тормозного переключателя и реверсора, обмотка возбуждения двигателя V, контактор РР5 реверсора, нож ОМ5 отключателя двигателей, контактор Т7-2, нож ОМ6 отключателя двигателей, контактор Р6 реверсора, обмотка возбуждения двигателя VI, контакторы РР6 и Т2-2 реверсора и тормозного переключателя, якорь двигателя VI, нож ОМ6 отключателя двигателей, контактор 25-2 группового переключателя, катушка реле перегрузки РП7-8, нож ОМ7 отключателя двигателей, якорь двигателя VII, контакторы Т14-2 и Р7 тормозного переключателя.

¹ Описание схемы дано применительно к опытному электровозу Н8-010.

теля и реверсора, обмотка возбуждения двигателя VII, контактор PP7 реверсора, нож OM7 отключателя двигателей, контактор T17-2 тормозного переключателя, нож OM8 отключателя двигателей, контактор P8 реверса, обмотка возбуждения двигателя VIII, контактор PP8 реверсора, шунт 67-2 амперметра 69-2, контактор T12-2 тормозного переключателя, якорь двигателя VIII, нож OM8, шунт 68-2 амперметра 70-2, контактор T19-2 тормозного переключателя и земля через дифференциальное реле 52 и счётчик электрической энергии 106.

Прохождение тока в силовой цепи тяговых двигателей на I-й позиции контроллера машиниста показано стрелками на упрощённой принципиальной схеме, приведённой на фиг. 5.

Для разгона электровоза на последовательном соединении имеется 15 реостатных позиций, которые получаются при перемещении главной рукоятки контроллера машиниста с нулевой по 15-ю позицию и замыкании индивидуальных контакторов согласно табл. 3. Схемы включений секций пусковых сопротивлений на каждой реостатной позиции поясняются табл. 4. Условные обозначения секций, принятые в таблице, приведены на фиг. 6.

На 16-й позиции главной рукоятки контроллера все пусковые сопротивления закорочены и напряжение на зажимах каждого двигателя равно $3000 : 8 = 375$ в.

При переводе главной рукоятки контроллера машиниста на 17-ю позицию происходит переход на последовательно-параллельное соединение двигателей методом шунтирования двигателей на сопротивление.

Переход начинается выключением индивидуальных контакторов 7-1, 10-1, 11-1, 5-2, 7-2, 10-2 (фиг. 7), которые вводят в цепь двигателей секции пусковых сопротивлений P2—P4, P7—P8, P24—P26, P28—P30, соединённых последовательно (I переходное положение), затем начинает поворачиваться кулачковый вал группового переключателя КСПО, обеспечивая включение и выключение соответствующих контакторов. На II переходном положении включаются контакторы 30-0 и 31-0 (фиг. 8); контактор 31-0 шунтирует группу тяговых двигателей I, II, III и IV секциями пусковых сопротивлений P2—P4, P7—P8, что ограничивает ток генераторного режима в цепи зашунтированных двигателей.

На III переходном положении выключается контактор 32-0 (фиг. 9), вызывающий размыкание зашунтированной цепи тяговых двигателей I, II, III и IV. Далее, на IV переходном положении включаются контакторы 33-0, 34-0, 36-0 (фиг. 10), которые подсоединяют двигатели I, II, III и IV к цепи, и выключается индивидуальный контактор 12-1. Выключением контактора 12-1 вводятся в цепь тяговых двигателей I, II, III и IV секции пусковых сопротивлений P5—P7.

На V переходном положении включается контактор 29-0, который prepares цепь для работы на параллельном соединении при рекуперативном торможении (так как групповой переключатель КСПО заканчивает переход во II положение на 17-й позиции). На 17-й позиции групповой переключатель КСПО

заканчивает переход в положение последовательно-параллельного соединения, после чего включается индивидуальный уравнительный контактор 37-2 (фиг. 11), создающий уравнительное соединение между двумя параллельными цепями тяговых двигателей.

На 17-й позиции ток от быстродействующего выключателя 51 проходит: дифференциальное реле 52, индивидуальные контакторы 2-1 и 1-1 (см. фиг. 4), группу пусковых сопротивлений P2—P4, контактор 22-1 группового переключателя КСПИ, группу пусковых сопротивлений P5—P8, и параллельно этому пути ток от дифференциального реле 52 проходит контактор 31-0 группового переключателя, индивидуальные контакторы 3-2 и 4-2, группу сопротивлений P24—P26, контактор 22-2 группового переключателя, группу сопротивлений P28—P30. Эти параллельные цепи замкнуты уравнительным контактором 37-2.

Далее ток идёт двумя параллельными цепями:

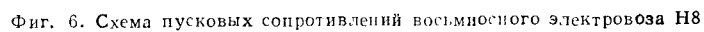
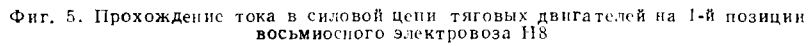
1) реле перегрузки РП1-2, нож OM1, якорь двигателя I, контакторы T4-1 и P1, обмотка возбуждения двигателя I, контактор PP1, нож OM1, контактор T7-1, нож OM2, контактор P2, обмотка возбуждения двигателя II, контакторы PP2 и T2-1, якорь двигателя II, нож OM2, контактор 25-1 группового переключателя, реле перегрузки РП3-4, нож OM3, якорь двигателя III, контакторы T14-1 и P3, обмотка возбуждения двигателя III, контактор PP3, нож OM3, контактор T17-1, нож OM4, контактор P4, обмотка возбуждения двигателя IV, контактор PP4, шунт амперметра, контактор T12-1, якорь двигателя IV, нож OM4, шунт амперметра, контактор T19-1, контакторы 33-0, 34-0 и 36-0 группового переключателя КСПО и земля через дифференциальное реле 52 и счётчик электрической энергии 106;

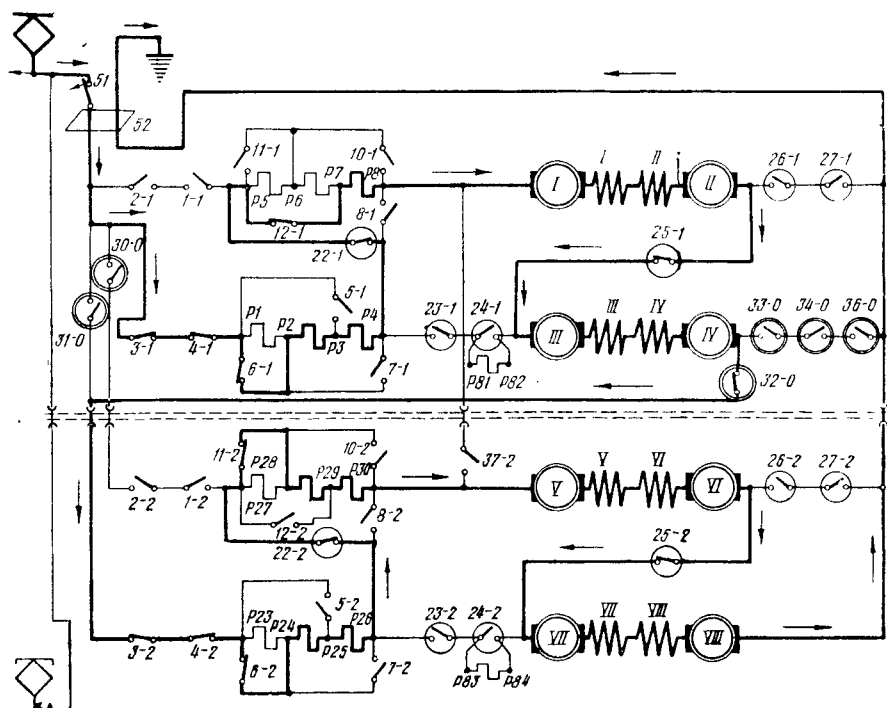
2) реле перегрузки РП5-6, нож OM5, якорь двигателя V, контакторы T4-2 и P5, обмотка возбуждения двигателя V, контактор PP5, нож OM5, контактор T7-2, нож OM6, контактор P6, обмотка возбуждения двигателя VI, контакторы PP6 и T2-2, якорь двигателя VI, нож OM6, контактор 25-2 группового переключателя, реле перегрузки РП7-8, нож OM7, якорь двигателя VII, контакторы T14-2 и P7, обмотка возбуждения двигателя VII, контактор PP7, нож OM7, контактор T17-2, нож OM8, контактор P8, обмотка возбуждения двигателя VIII, контактор PP8, шунт амперметра, контактор T12-2, якорь двигателя VIII, нож OM8, шунт амперметра, контактор T19-2 и земля по цепи двигателей I, II, III и IV.

Дальнейшим переводом главной рукоятки контроллера машиниста с 17-й по 27-ю позицию осуществляется включение и выключение индивидуальных реостатных контакторов в соответствии с табл. 3.

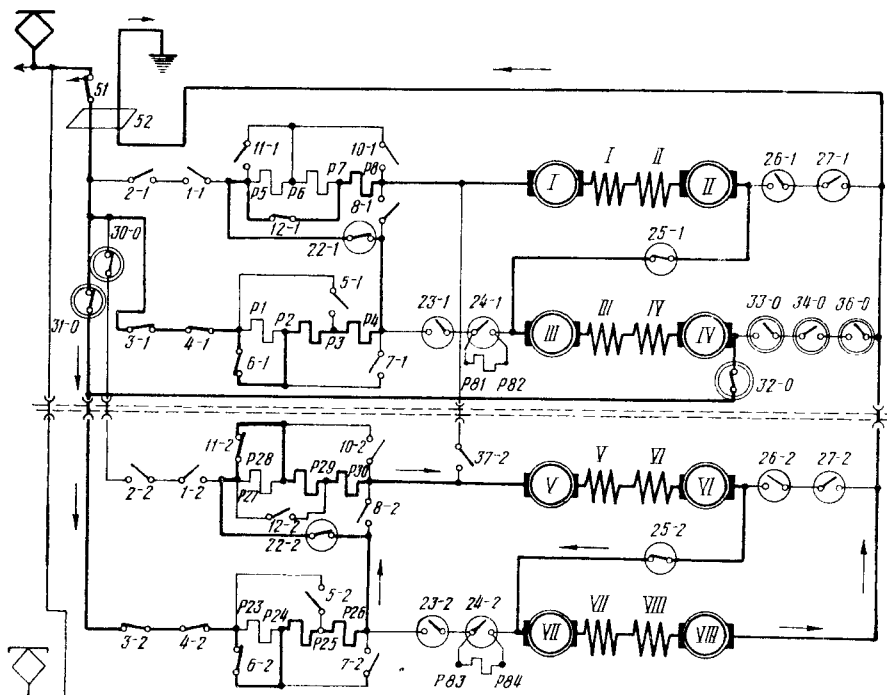
Схема включений секций пусковых сопротивлений на каждой реостатной позиции поясняется табл. 4 и фиг. 8.

На 27-й позиции все пусковые сопротивления закорочены, выключен уравнительный контактор 37-2 и напряжение на зажимах каждого двигателя равно $3000 : 4 = 750$ в.





Фиг. 7. Прохождение тока в силовой цепи на I положении при переходе с последовательного на последовательно-параллельное соединение тяговых двигателей восьмиосного электровазона Н8



Фиг. 8. Прохождение тока в силовой цепи на II положении при переходе с последовательного на последовательно-параллельное соединение тяговых двигателей восьмиосного электровазона Н8

Последовательность замыканий контакторов восьмиосного электровоза Н8

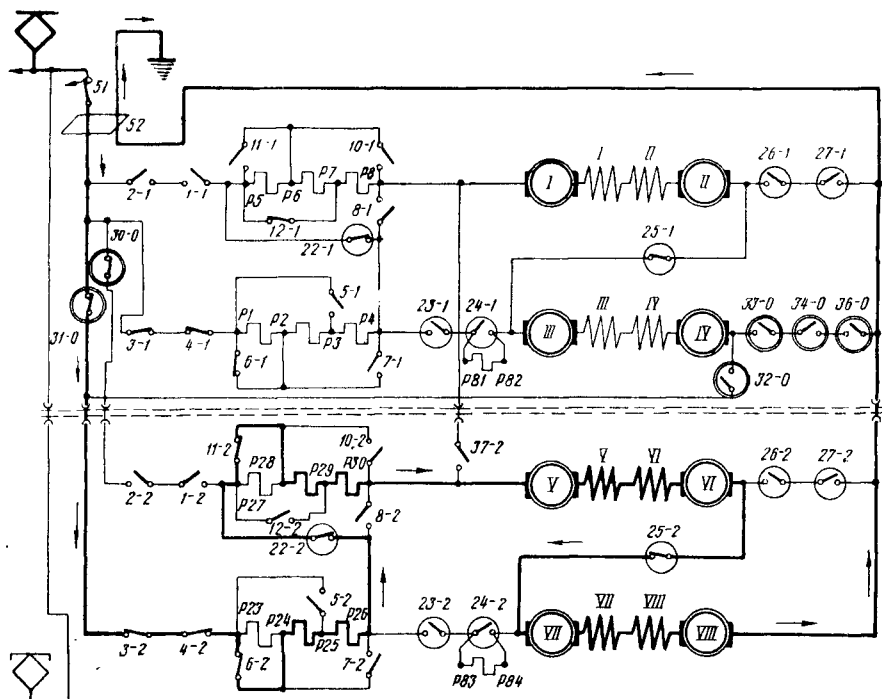
[illegible]

ТЯГОВЫЙ

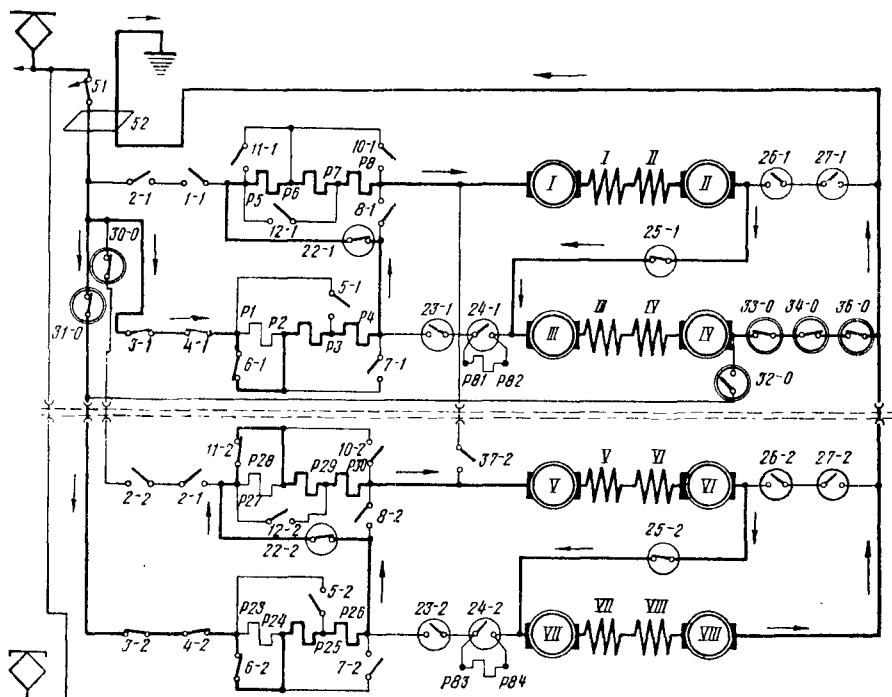
[illegible]

Таблица 4

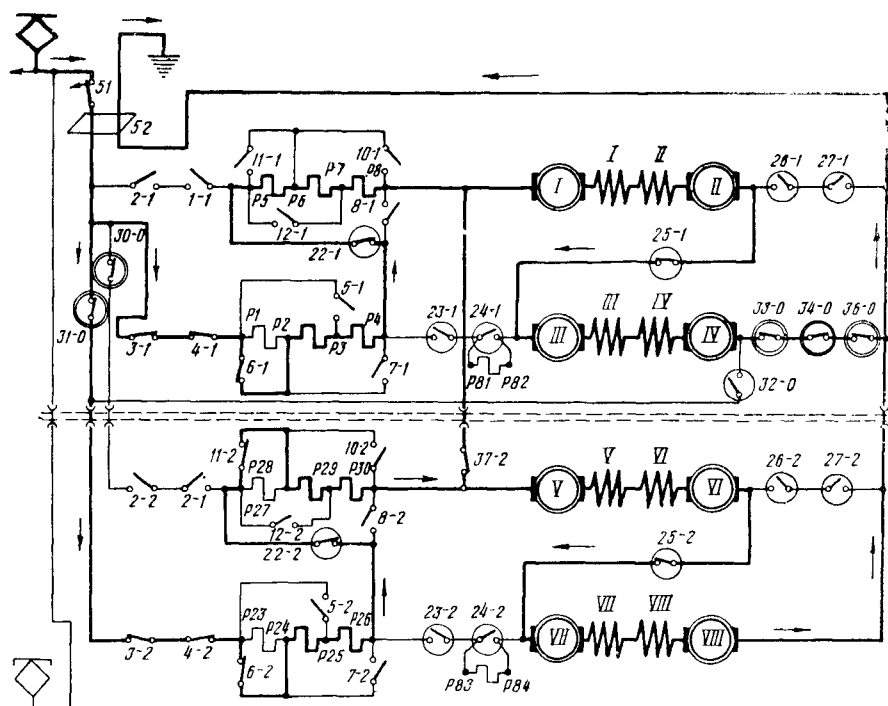
Соединение двигателей	Позиции	Соединение секций												Величина сопротивлений в ом
		а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к	л	м	
Последовательное	1	$a + б + в + г + д + е + ж + з + и + к + л + м$												25,47
	2	$a + б + в + г + д + е + ж + з + и + л + м$												18,57
	3	$a + б + в + д + е + ж + з + и + л + м$												13,57
	4	$б + в + д + е + ж + з + и + л + м$												10,13
	5	$б + в + д + е + ж + з + и + л + м$												7,97
	6	$в + д + е + ж + з + и + л + м$												6,61
	7	$в + д + е + ж + з + и + л + м$												5,57
	8	$в + е + ж + з + и + л + м$												4,61
	9	$в + е + ж + з + и + л + м$												3,81
	10	$(a \parallel б \parallel в) + д + е + ж + з + и + л + м$												3,075
	11	$(a \parallel б \parallel в) + (г \parallel д \parallel е) + ж + з + и + л + м$												2,365
	12	$(a \parallel б \parallel в) + (г \parallel д \parallel е) + ж + з + и + л + м$												1,835
	13	$(г \parallel д \parallel е) + ж + з + и + л + м$												1,28
	14	$ж + з + и + л + м$												0,8
	15	$к \parallel л \parallel м$												0,378
Последовательно-параллельное	17	$(a + б + в + д + е) \parallel (ж + з + и + л + м)$												2,29
	18	$(б + в + д + е) \parallel (ж + з + и + л + м)$												1,91
	19	$(в + д + е) \parallel (ж + з + и + л + м)$												1,65
	20	$(в + д + е) \parallel (ж + з + и + л + м)$												1,315
	21	$(в + е) \parallel (ж + з + и + л + м)$												1,145
	22	$[(a \parallel б \parallel в) + д + е] \parallel (ж + з + и + л + м)$												0,964
	23	$[(a \parallel б \parallel в) + е] \parallel (ж + з + и + л + м)$												0,757
	24	$[(a \parallel б \parallel в) + (г \parallel д \parallel е)] \parallel [(ж + з + и) + л + м]$												0,538
	25	$г \parallel д \parallel е \parallel [(ж + з + и) + л + м]$												0,334
	26	$г \parallel д \parallel е \parallel ж + з + и + л + м$												0,186
Параллельное	28	$(a + б + в) \parallel (г + д + е) \parallel (ж + з + и) \parallel (к + л + м)$												1,463
	29	$(a + б + в) \parallel (д + е) \parallel (ж + з + и) \parallel (к + л + м)$												0,986
	30	$(б + в) \parallel (д + е) \parallel (ж + з + и) \parallel (к + л + м)$												0,816
	31	$(б + в) \parallel (д + е) \parallel (ж + з + и) \parallel (к + л + м)$												0,627
	32	$(б + в) \parallel (д + е) \parallel (ж + з + и) \parallel (л + м)$												0,475
	33	$в \parallel е \parallel (ж + з + и) \parallel (л + м)$												0,348
	34	$в \parallel е \parallel и \parallel (л + м)$												0,242
	35	$a \parallel б \parallel в \parallel е \parallel и \parallel л \parallel м$												0,173
	36	$a \parallel б \parallel в \parallel г \parallel д \parallel е \parallel ж \parallel з \parallel и \parallel к \parallel л \parallel м$												0,102



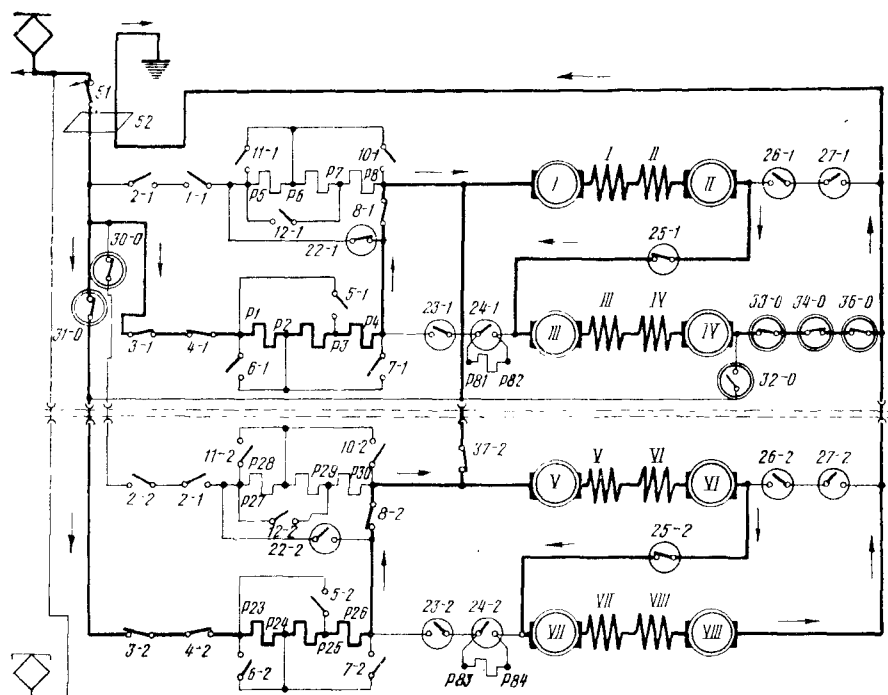
Фиг. 9. Прохождение тока в силовой цепи на III положении при переходе с последовательного на последовательно-параллельное соединение тяговых двигателей восьмисного электровоза Н8



Фиг. 10. Прохождение тока в силовой цепи на IV положении при переходе с последовательного на последовательно-параллельное соединение тяговых двигателей восьмисного электровоза Н8



Фиг. 11. Прохождение тока в силовой цепи тяговых двигателей на 17-й позиции восьмьюосного электровоза Н8



Фиг. 12. Прохождение тока в силовой цепи на I положении при переходе с последовательно-параллельного на параллельное соединение тяговых двигателей восьмьюосного электровоза Н8

Выключение уравнительного контактора 37-2 на 27-й позиции вызывает выравнивание тока в обходных цепях групп пусковых сопротивлений, что уменьшает нагревание реостатных контакторов 6-1, 7-1, 10-1, 11-1, 6-2, 7-2, 10-2, 11-2 и линейных контакторов 3-1, 4-1, 3-2, 4-2. Включение контактора 37-2 на реостатных позициях необходимо для выравнивания тока в параллельных цепях тяговых двигателей.

Для подготовки силовой цепи к переходу на параллельное соединение на 27-й позиции включаются уравнительные контакторы 8-1 и 8-2 (см. фиг. 4), которые дублируют обходные цепи секций сопротивлений $P5-P8$ и $P27-P30$.

При переводе главной рукоятки контроллера машиниста на 28-ю позицию происходит переход на параллельное соединение методом шунтирования двигателей на сопротивление.

На I переходном положении выключаются индивидуальные контакторы 5-1, 6-1, 7-1, 10-1, 11-1, 5-2, 6-2, 7-2, 10-2, 11-2, 12-2 (фиг. 12), которые вводят в цепь двигателей секции пусковых сопротивлений $P1-P4$ и $P23-P26$ и включается уравнительный контактор 37-2. Введение сопротивления (общее сопротивление равно 3,98 ом) в цепь двигателей вызывает уменьшение в них тока и снижение силы тяги у всех осей электровоза.

Затем начинают поворачиваться кулачковые валы групповых переключателей КСП, и КСПИ, обеспечивая включение и выключение соответствующих контакторов.

На II переходном положении выключаются контакторы 22-1 и 22-2 (фиг. 13), которые замыкают секции сопротивлений $P5-P8$ и $P27-P30$. На III переходном положении замыкаются контакторы 23-1 и 23-2, которые шунтируют двигатели I, II и V, VI на специально предусмотренные для этого шунтирующие сопротивления $P81-P82$ и $P83-P84$ (по 2,01 ом каждое). Это сопровождается некоторым увеличением тока в двигателях III, IV и VII, VIII и силы тяги их осей. Ток в зашунтированных двигателях I, II и V, VI, вызванные противоэлектродвижущими силами, теперь уже зависят от внутренних сопротивлений обмоток и падения напряжения в сопротивлениях $P81-P82$ и $P83-P84$. Эти токи быстро спадают до нуля, меняют направление и за счёт размагничивания двигателей стремятся к нулевым значениям. Кратковременно, когда по двигателям I, II и V, VI протекают токи обратного направления, они работают в генераторном режиме и на их осях развивается тормозная сила от реостатного торможения. Шунтирующие сопротивления $P81-P82$ и $P83-P84$ несколько уменьшают величину генераторного тока, а следовательно, и величину тормозной силы, чем достигается большая плавность при переключении двигателей.

На IV переходном положении выключаются контакторы 25-1 и 25-2, вызывающие размыкание зашунтированных цепей двигателей I, II и V, VI (фиг. 14). Далее в процессе вращения кулачковых валов групповых переключателей на V переходном положении включаются контакторы 24-1, 26-1, 27-1, 24-2, 26-2, 27-2 (фиг. 15). Контактры 24-1 и 24-2 замыкают шунтирующие сопротивления $P81-P82$ и $P83-P84$ в цепях двигателей III,

IV и VII, VIII, а контакторы 26-1, 27-1, 26-2 и 27-2 подсоединяют двигатели I, II и V, VI к цепи параллельно двигателям III, IV и VII, VIII.

На 28-й позиции после перехода групповых переключателей в положение параллельного соединения включаются индивидуальные контакторы 2-1, 1-1, 2-2 и 1-2 (фиг. 16), которые подсоединяют группы пусковых сопротивлений $P5-P8$ и $P27-P30$ параллельно группам сопротивлений $P1-P4$ и $P23-P26$. Общее сопротивление уменьшается до 1,463 ом.

На 28-й позиции ток от быстродействующего выключателя проходит по четырем параллельным цепям пусковых сопротивлений: индивидуальные контакторы 2-1, 1-2, группу пусковых сопротивлений $P5-P8$; индивидуальные контакторы 3-1, 4-1, группу пусковых сопротивлений $P1-P4$; контактор 30-0 группового переключателя КСПО, индивидуальные контакторы 2-2, 1-2, группу пусковых сопротивлений $P27-P30$ и контактор 31-0 группового переключателя КСПО, индивидуальные контакторы 3-2, 4-2, группу пусковых сопротивлений $P23-P26$. Далее ток идёт по четырем параллельным цепям тяговых двигателей (см. фиг. 4):

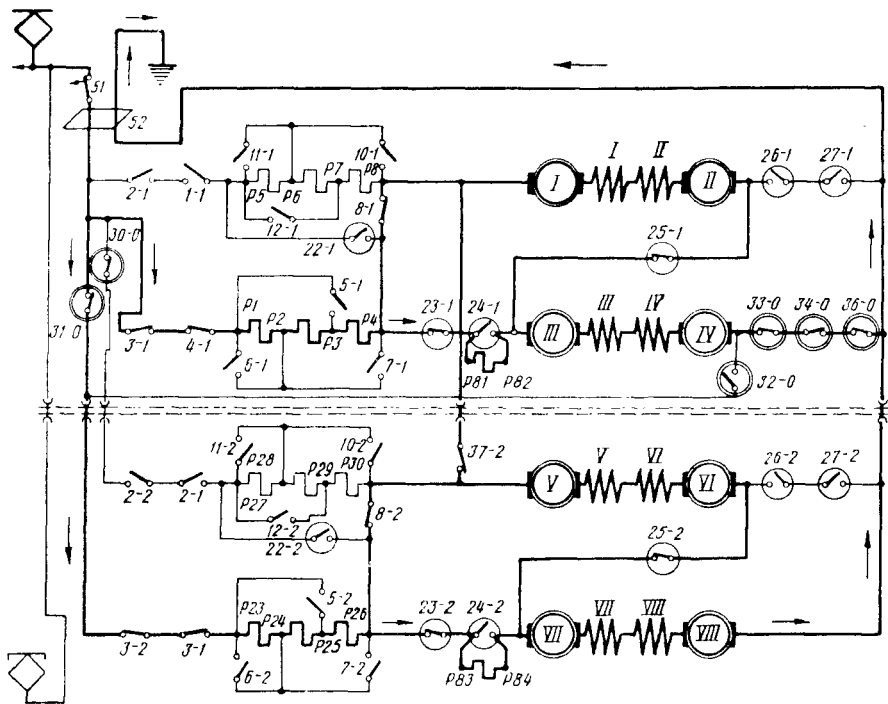
1) реле перегрузки РП1-2, нож ОМ1, якорь двигателя I, контакторы Т4-1 и Р1, обмотка возбуждения двигателя I, контактор РП1, нож ОМ1, контактор Т7-1, нож ОМ2, контактор Р2, обмотка возбуждения двигателя II, контакторы РР2 и Т2-1, якорь двигателя II, ножи ОМ2 и ОМ1-2, контакторы 26-1 и 27-1 группового переключателя, контактор Т9-1 и земля через дифференциальное реле 52 и счётчик электрической энергии 106;

2) нож ОМ3-4, контакторы 23-1 и 24-1 группового переключателя, нож ОМ3-4, реле перегрузки РП3-4, нож ОМ3, якорь двигателя III, контакторы Т14-1 и Р3, обмотка возбуждения двигателя III, контактор РР3, нож ОМ3, контактор Т17-1, нож ОМ4, контактор Р4, обмотка возбуждения двигателя IV, контактор РР4, шунт амперметра, контактор Т12-1, якорь двигателя IV, нож ОМ4, шунт амперметра, контактор Т19-1, контакторы 33-0, 34-0 и 36-0 группового переключателя и земля по цепи двигателей I, II;

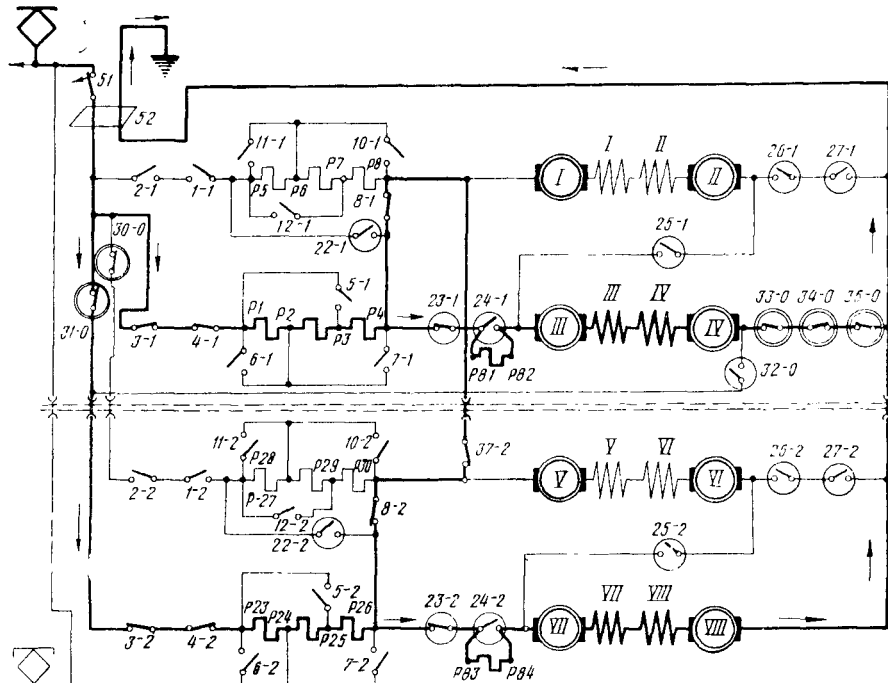
3) реле перегрузки РП5-6, нож ОМ5, якорь двигателя V, контакторы Т4-2 и Р5, обмотка возбуждения двигателя V, контактор РР5, нож ОМ5, контактор Т7-2, нож ОМ6, контактор Р6, обмотка возбуждения двигателя VI, контакторы РР6 и Т2-2, якорь двигателя VI, ножи ОМ6 и ОМ5-6, контакторы 26-2 и 27-2 группового переключателя, контактор Т9-2 и земля по цепи двигателей I, II;

4) нож ОМ7-8, контакторы 23-2 и 24-2, нож ОМ7-8, реле перегрузки РП7-8, нож ОМ7, якорь двигателя VII, контакторы Т14-2 и Р7, обмотка возбуждения двигателя VII, контактор РР7, нож ОМ7, контактор Т17-2, нож ОМ8, контактор Р8, обмотка возбуждения двигателя VIII, контактор РР8, шунт амперметра, контактор Т12-2, якорь двигателя VIII, нож ОМ8, шунт амперметра, контактор Т19-2 и земля по цепи двигателей I, II.

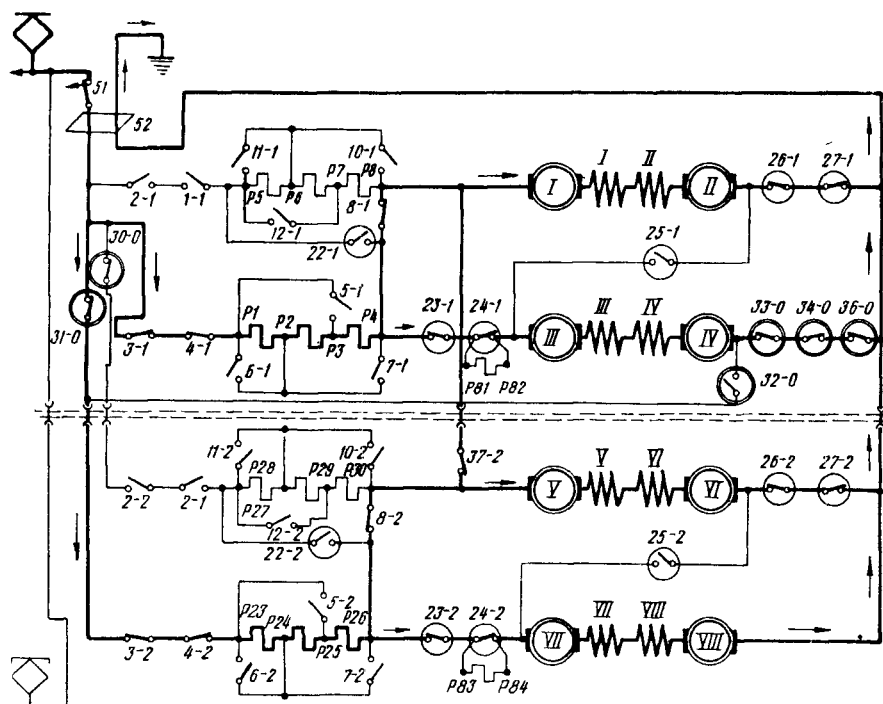
Дальнейшим переводом главной рукоятки контроллера машиниста с 28-й по 37-ю позицию осуществляется включение и выключение индивидуальных реостатных контакторов



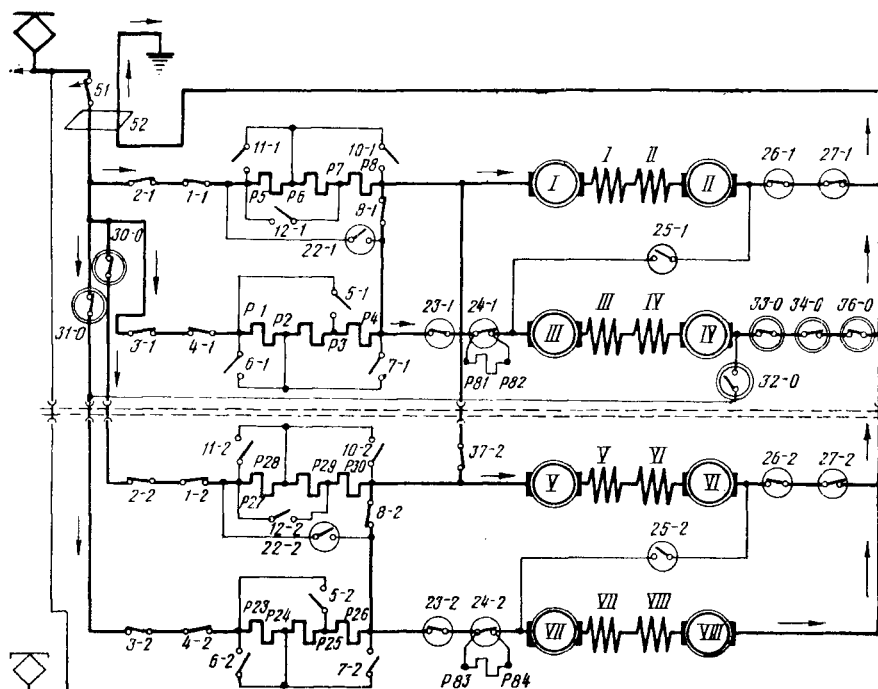
Фиг. 13. Прохождение тока в силовой цепи на III положении при переходе с последовательно-параллельного на параллельное соединение тяговых двигателей восьмьюосного электроваза И8



Фиг. 14. Прохождение тока в силовой цепи на IV положении при переходе с последовательно-параллельного на параллельное соединение тяговых двигателей восьмьюосного электроваза И8



Фиг. 15. Прохождение тока в силовой цепи на V положении при переходе с последовательно-параллельного на параллельное соединение тяговых двигателей восьмьюосного электроваза Н8



Фиг. 16 Прохождение тока в силовой цепи тяговых двигателей на 28-й позиции восьмьюосного электроваза Н8

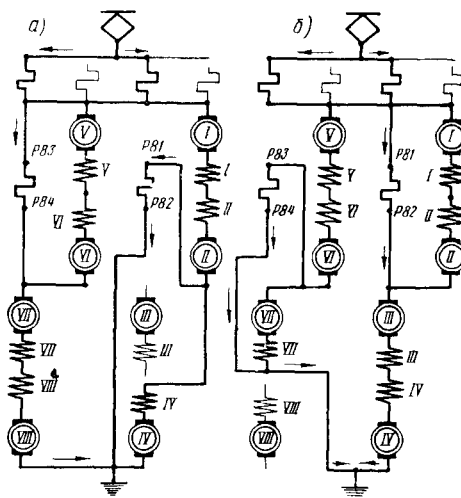
в соответствии с табл. 3. Схемы включений секций пусковых сопротивлений на каждой реостатной позиции поясняются табл. 4 и фиг. 8.

На 37-й позиции все пусковые сопротивления закорочены, выключены уравнильные контакторы 8-1, 8-2 и 37-2 и напряжение на зажимах каждого двигателя равно $3\,000:2 = 1\,500$ в.

Таким образом, 16-я, 27-я и 37-я позиции являются ходовыми. Кроме того, на каждой из этих позиций может быть произведено ослабление поля двигателей четырьмя ступенями, что даёт ещё двенадцать дополнительных ходовых позиций. При включении индивидуальных контакторов 13-1, 213-1, 13-2, 213-2 (см. фиг. 4), подключающих к обмоткам возбуждения двигателей группы сопротивлений P9-P12, P15-P18, P31-P34 и P37-P40 и индуктивные шунты 71-1, 72-1, 71-2 и 72-2, ослабляется ток до 75% (1-я ступень ослабления — ОП-I), при включении контакторов 14-1, 214-1, 14-2, 214-2, замыкающих сопротивления P9-P10, P15-P16, P31-P32, P37-P38, — до 55% (2-я ступень ослабления — ОП-II); при включении контакторов 15-1, 215-1, 15-2, 215-2, замыкающих сопротивления P10-P11, P16-P17, P32-P33, P38-P39, — до 43% (3-я ступень ослабления — ОП-III), а при включении контакторов 16-1, 216-1, 16-2, 216-2, замыкающих сопротивления P11-P12, P17-P18, P33-P34, P39-P40, в цепях остаются только индуктивные шунты и ослабляется ток до 36% (4-я ступень ослабления поля — ОП-IV).

Действие силовой цепи на тяговом режиме при отключённом тяговом двигателе. При повреждении какого-либо тягового двигателя он отключается соответствующими но-

жениями двигателя начинается с 1-й позиции; при этом на последовательном соединении работают семь двигателей, последовательно-параллельном и параллельном — по шести двигателей.

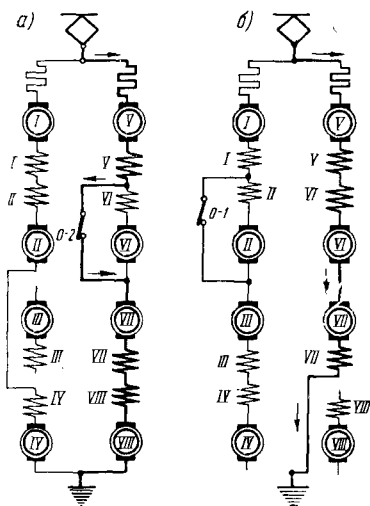


Фиг. 18. Прохождение тока в силовой цепи на III положении при переходе с последовательно-параллельного на параллельное соединение тяговых двигателей: а — при отключении двигателя III; б — при отключении двигателя VIII

Действие силовой цепи при переходах с последовательного на последовательно-параллельное и с последовательно-параллельного на параллельное соединение зависит от номера отключённого двигателя. Так, например, при отключении одного из двигателей I, II, III или IV при переходе с последовательного на последовательно-параллельное соединение закорачивается двигатель VI контактором 0-2 аварийного режима (фиг. 17, а); если же отключён один из двигателей V, VI, VII или VIII, то закорачивается двигатель II контактором 0-1 (фиг. 17, б). Необходимость закорачивания двигателей VI или II вытекает из условия равномерности распределения нагрузок в параллельных цепях тяговых двигателей, образующихся после перехода. При переходе с последовательно-параллельного на параллельное соединение и отключении двигателя III (фиг. 18, а) или IV шунтируется сопротивлением P81-P82 соответственно двигатель IV или III, а не двигатели I и II, как это имеет место при обычном режиме; если отключён двигатель VII или VIII (фиг. 18, б), шунтируется сопротивлением P83-P84 соответственно двигатель VIII или VII, а не двигатели V и VI. Сделано это для того, чтобы исключить ненормальное повышение напряжения и на нешунтированных двигателях.

Изменения в шунтировании двигателей осуществляются ножами OM3-4 или OM5-6 (см. фиг. 4) отключателя двигателей.

Включение двигателей под напряжением 3 000 в при параллельном соединении предотвращается, так как каждая аварийная группа двигателей при этом разомкнута ножами OM1-2, OM5-6, OM3-4 или OM7-8 или со стороны земли (для двигателей I, II, V или VI)



Фиг. 17. Прохождение тока в силовой цепи на III положении при переходе с последовательного на последовательно-параллельное соединение тяговых двигателей: а — при отключении двигателя III; б — при отключении двигателя VIII

жами отключателя двигателей. Иногда двигатель отключают и из-за неисправности колёсной пары. В отличие от электровозов других серий предыдущих выпусков действие силовой цепи восьмиступенчатого электровоза Н8 при отклю-

или со стороны пусковых сопротивлений (для двигателей *III*, *IV*, *VII* или *VIII*).

Конструкция отключателя двигателей выполнена таким образом, что отключить, например, двигатель *III* можно в том случае, если предварительно отключены ножи *ОМЗ-4*, т. е. ножи *ОМЗ* могут быть отключены, если отключены ножи *ОМЗ-4*. Такая конструкция отключателя предотвращает ошибки при отключении двигателей.

При отключении двух и более двигателей работа электровоза на тяговом режиме осуществляется при последовательном соединении тяговых двигателей. На других соединениях тяговых двигателей работать нежелательно, так как это может привести к недопустимым повышениям напряжения на коллекторах и перегрузкам. Применение ослабления поля и рекуперативного торможения при аварийном режиме не допускается.

Для того чтобы иметь возможность применить ослабление поля на аварийном режиме, необходимо для обмотки возбуждения каждого тягового двигателя предусмотреть самостоятельные шунтирующие цепи, что требует увеличения количества контакторов ослабления поля в два раза.

Действие силовой цепи при рекуперативном торможении. Для перехода на рекуперативное торможение вначале пускаются мотор-генераторы (возбудители), затем в зависимости от скорости движения электровоза реверсивно-селективной рукояткой выбирают схему соединения тяговых двигателей.

Диапазон скоростей рекуперативного торможения зависит от напряжения в контактной сети. При напряжении в контактной сети 3000 в и скорости 45—90 км/час применяют параллельное, при скорости 23—50 км/час — последовательно-параллельное и при скорости 12—30 км/час — последовательное соединение тяговых двигателей.

П а р а л л е л ь н о е с о е д и н е н и е. При нулевом положении главной рукоятки и установке реверсивно-селективной рукоятки в положение «Вперед П», а тормозной — на подготовительную позицию 02 включаются контакторы 8-1, 8-2 (см. фиг. 4) и групповые переключатели переходят: *КСПО* в последовательно-параллельное положение, а *КСП I* и *КСП II* — в параллельное, которые соединяют группы тяговых двигателей параллельно. Одновременно с переходом групповых переключателей *КСП I* и *КСП II* в параллельное положение переключаются тормозные переключатели с тягового режима на тормозной. После этого главная рукоятка переводится на 1-ю позицию и включается электромагнитный контактор 74, и на обмотки независимого возбуждения *Н4-НН4* генераторов *ПГ1* и *ПГ2* подаётся напряжение через полностью введенные сопротивления *r1-r14* (см. фиг. 36).

В результате прохождения тока по обмоткам возбуждения *Н4-НН4* (см. фиг. 4) появляется магнитный поток и э. д. с. генераторов *ПГ1* и *ПГ2*, что вызывает ток в обмотках возбуждения тяговых двигателей. У тяговых двигателей появляются магнитный поток и э. д. с., которая вызывает прохождение тока через группу пусковых сопротивлений *P1-P4*, добавочное сопротивление *P73-P74* и двигательную катушку реле рекуперации 62.

Реле рекуперации 62 имеет катушки сетевую и двигательную, которые включены так, что их магнитные потоки направлены встречно.

Схема рекуперативного торможения рассчитана так, что при установке тормозной рукоятки на позиции 02 тяговые двигатели имеют минимальную э. д. с., а обмотки реле рекуперации 62 — большую разность ампер-витков. Благодаря этому якорь реле 62 притянут, блокировка в цепи катушек вентилей линейных контакторов разомкнута и они не включены.

Для того чтобы якорь реле рекуперации отпал и замкнулась блокировка, необходимо, чтобы э. д. с. двух тяговых двигателей была больше или равна напряжению контактной сети.

Следовательно, пока тормозная рукоятка находится на позиции 02, включение линейных контакторов не произойдет, хотя схема полностью собрана и готова к рекуперации. Схема рекуперации восьмьюсильного электровоза коренным образом отличается от схем электровозов ВЛ22м, ВЛ22, Сс, Си позволяет машинисту весьма просто осуществить рекуперацию, так как подготовляемые операции можно проделать ещё на выбеге, а торможение начать тогда, когда оно необходимо, оперируя при этом одной лишь тормозной рукояткой.

Перемещение тормозной рукоятки на 1-ю и последующие позиции приводит к уменьшению сопротивления в цепи обмоток *Н4-НН4*, а следовательно, к увеличению э. д. с. генераторов *ПГ1* и *ПГ2* и тяговых двигателей, срабатыванию реле рекуперации 62, включению линейных контакторов и отдаче электроэнергии в контактную сеть. На 1-й позиции главной рукоятки будут включены контакторы согласно табл. 3. Прохождение тока в силовой цепи на 1-й позиции главной рукоятки контроллера при рекуперативном торможении и параллельном соединении тяговых двигателей показано на фиг. 19.

Как видно из фиг. 19, обмотки возбуждения двигателей каждой половины электровоза питаются отдельно от своих генераторов *ПГ1* и *ПГ2* и соединены по циклической (перекрёстной) схеме. Например, в первой половине электровоза обмотки возбуждения двигателей *II* и *III* образуют одну параллельную ветвь, а обмотки возбуждения двигателей *I* и *IV* другую параллельную ветвь, т. е. в каждую параллельную ветвь включены обмотки возбуждения тех двигателей, якоря которых находятся в различных цепях. В каждой параллельной цепи якорей двигателей находится уравнительное сопротивление (*P45-P43*, *P44-P43A*, *P48-P46* или *P47-P46* по 0,15 ом каждое) и противо-компаундные обмотки генератора *ПГ1* или *ПГ2*.

В отличие от первого опытного электровоза Н8-001 на электровозах Н8 последующих выпусков противокомпаундные обмотки каждого генератора *ПГ1* и *ПГ2* включаются отдельно в цепи якорей каждой пары тяговых двигателей.

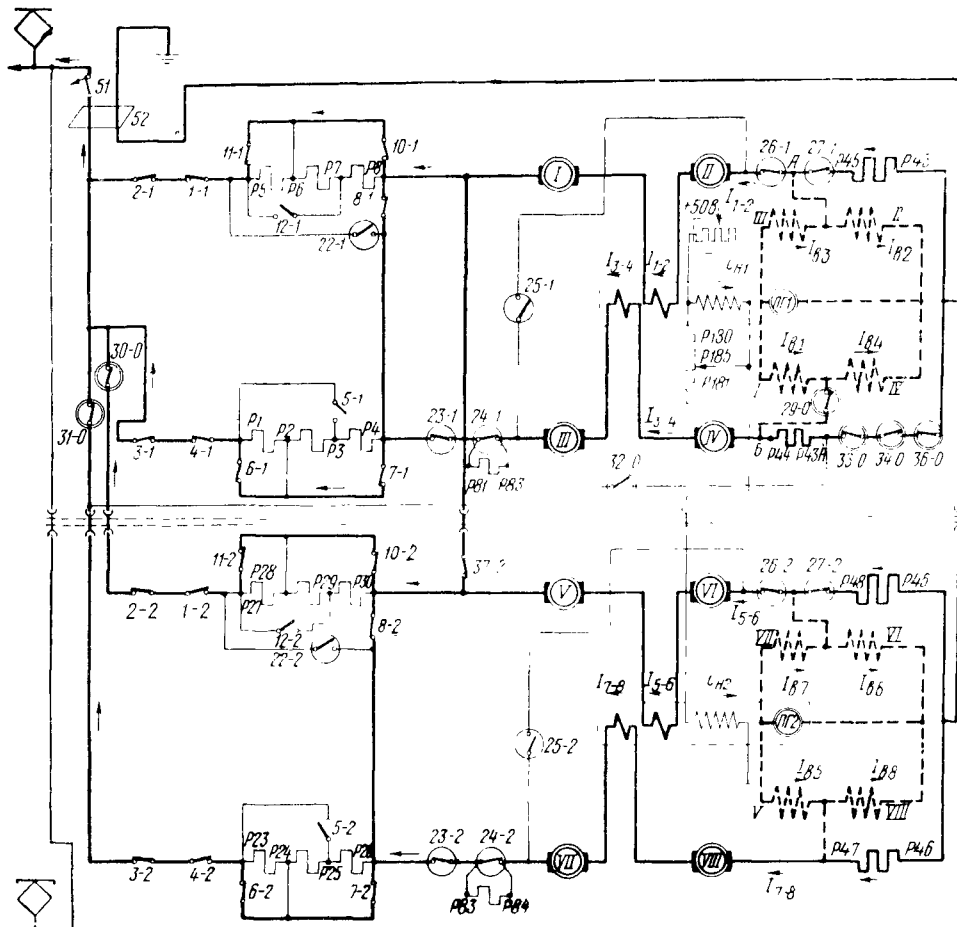
Токи рекуперации, проходящие по этим обмоткам, создают ампер-витки, направленные против ампер-витков обмотки независимого возбуждения. За счёт этого тяговые двигатели искусственно получают противо-

компаундную характеристику, необходимую для устойчивой работы рекуперативного торможения.

Кроме того, действие указанных обмоток приводит к сглаживанию толчков тока и тормозной силы при изменениях напряжения в контактной сети. Например, в результате прекращения тяги другого вблизи идущего электровоза напряжение в контактной сети

электровоза достигается регулировкой э. д. с. генераторов $ПГ1$ и $ПГ2$ с помощью потенциометра $P180-P185-P181$, воздействующего на соотношение токов i_{H1} и i_{H2} в обмотках независимого возбуждения.

Токи i_{H1} и i_{H2} в обмотках независимого возбуждения регулируются тормозной рукояткой контроллера.



Фиг. 19. Прохождение тока в силовой цепи при рекуперативном торможении и параллельном соединении тяговых двигателей

увеличилось. Это должно было бы привести к резкому уменьшению тока рекуперации и тормозной силы. Однако при уменьшении тока рекуперации за счёт уменьшения ампер-витков противокомпаундных обмоток генераторов $ПГ1$ и $ПГ2$ увеличиваются их магнитный поток и э. д. с. Это приводит к росту тока возбуждения, магнитного потока и э. д. с. тяговых двигателей. Увеличение э. д. с. тяговых двигателей препятствует сильному уменьшению тока рекуперации и тормозной силы.

Аналогично при уменьшении напряжения в контактной сети действие противокомпаундных обмоток генераторов $ПГ1$ и $ПГ2$ направлено на предотвращение сильного увеличения тока рекуперации и тормозной силы.

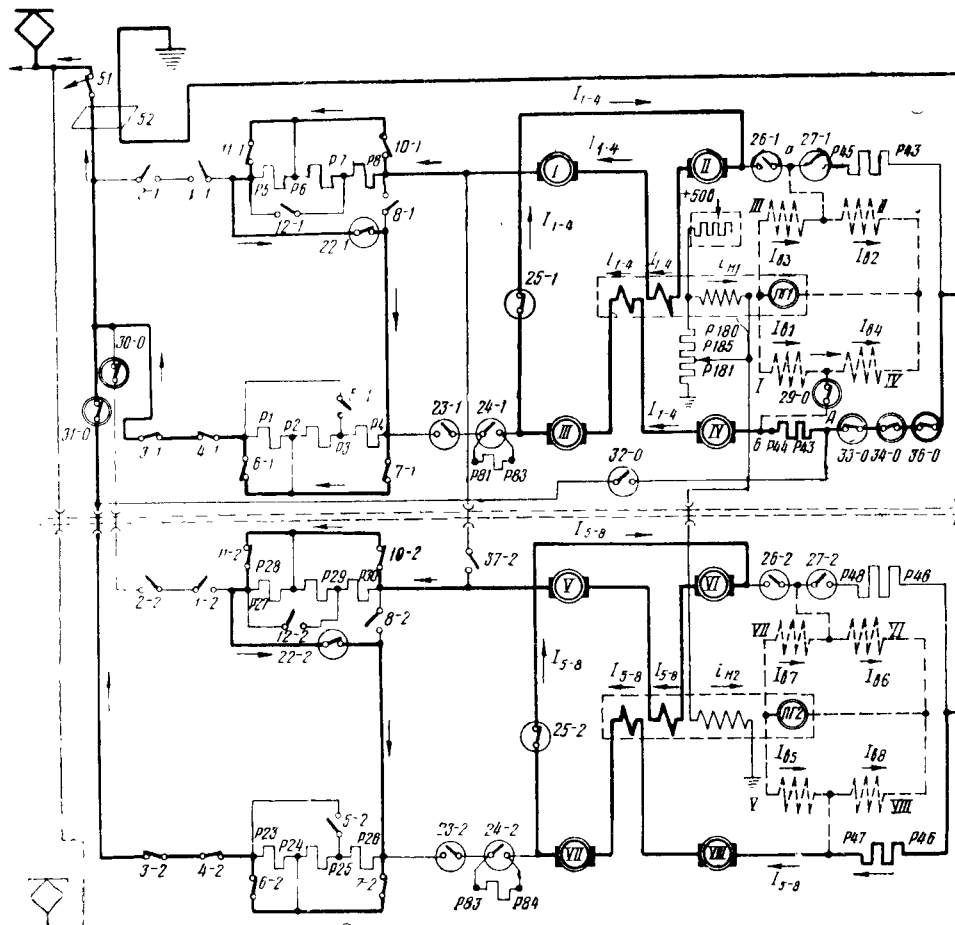
Равномерное распределение токов возбуждения и рекуперации между группами тяговых двигателей первой и второй половины

Правильное распределение токов рекуперации между параллельными цепями тяговых двигателей каждой половины электровоза осуществляется благодаря применению циклической схемы включения обмоток возбуждения тяговых двигателей. Допустим, например, что за счёт расхождения характеристик э. д. с. тяговых двигателей I и II несколько меньше, чем э. д. с. двигателей III и IV . При отсутствии в схеме выравнивающего действия это привело бы к тому, что ток I_{1-2} был бы меньше тока I_{3-4} . В рассматриваемой схеме, когда ток I_{3-4} стремится стать больше тока I_{1-2} , падение напряжения в уравнительном сопротивлении, включенном между точкой A и землей, будет уменьшаться, а в таком же сопротивлении, включенном между точкой B и землей, — увеличиваться. В ре-

зультате потенциал точки *A* относительно земли будет возрастать быстрее потенциала точки *B*. Это вызовет протекание уравнильного тока от точки *A* через параллельные цепи обмоток возбуждения тяговых двигателей к точке *B*. Уравнильный ток в обмотках возбуждения двигателей *I* и *II*, как видно из фиг. 19, совпадает с основным током, а в обмотках двигателей *III* и *IV* направлен навстречу основному току. Такое

При передвижении тормозной рукоятки на вышестоящие позиции увеличивается э. д. с. тяговых двигателей, ток рекуперации I_p и тормозная сила. При неизменном напряжении в контактной сети каждой позиции тормозной рукоятки и скорости соответствуют определённые величины рекуперативного тока и тормозной силы.

Например, при напряжении в контактной сети 3 300 в и скорости 70 км/час на 7-й пози-



Фиг. 20. Прохождение тока в силовой цепи при рекуперативном торможении и последовательно-параллельном соединении тяговых двигателей

изменение токов возбуждения приводит к увеличению э. д. с. двигателей *I* и *II* и тока I_{1-2} и уменьшению э. д. с. двигателей *III* и *IV* и тока I_{3-4} .

Таким образом, при некотором значении уравнильных токов в обмотках возбуждения уравниваются токи рекуперации в обоих параллельных цепях тяговых двигателей данной половины электроваза. Циклическая схема включения обмоток возбуждения также выравнивает токи в параллельных цепях тяговых двигателей при юзе. Например, если проскальзывает *I* или *II* ось, то уменьшение э. д. с. и токов рекуперации двигателей этих осей, как было указано выше для случая расхождения характеристик, приводит к выравниванию токов в параллельных цепях тяговых двигателей.

ции тормозной рукоятки и параллельном соединении двигателей ток рекуперации составляет 360 а, а тормозная сила 26 800 кг.

Для обеспечения нормальной коммутации тяговых двигателей ток рекуперации I_p не должен превышать ток возбуждения I_e более

$$\text{чем в } 2,8 \text{ раза, т. е. } \frac{I_p}{I_e} \leq 2,8.$$

При рекуперативном торможении, начиная с 6-й позиции тормозной рукоятки, повышается скорость вращения электродвигателей мотор-генераторов путём ослабления поля возбуждения, что соответственно увеличивает мощность мотор-генераторов.

Указанные мероприятия позволили значительно улучшить использование мощности электроваза в режиме рекуперативного торможения.

Как видно из фиг. 19, на параллельном соединении включены контакторы 27-1 и 27-2 групповых переключателей. Эти контакторы необходимы для двукратного разрыва цепи и дают возможность непосредственно подключать к точке А уравнительное соединение.

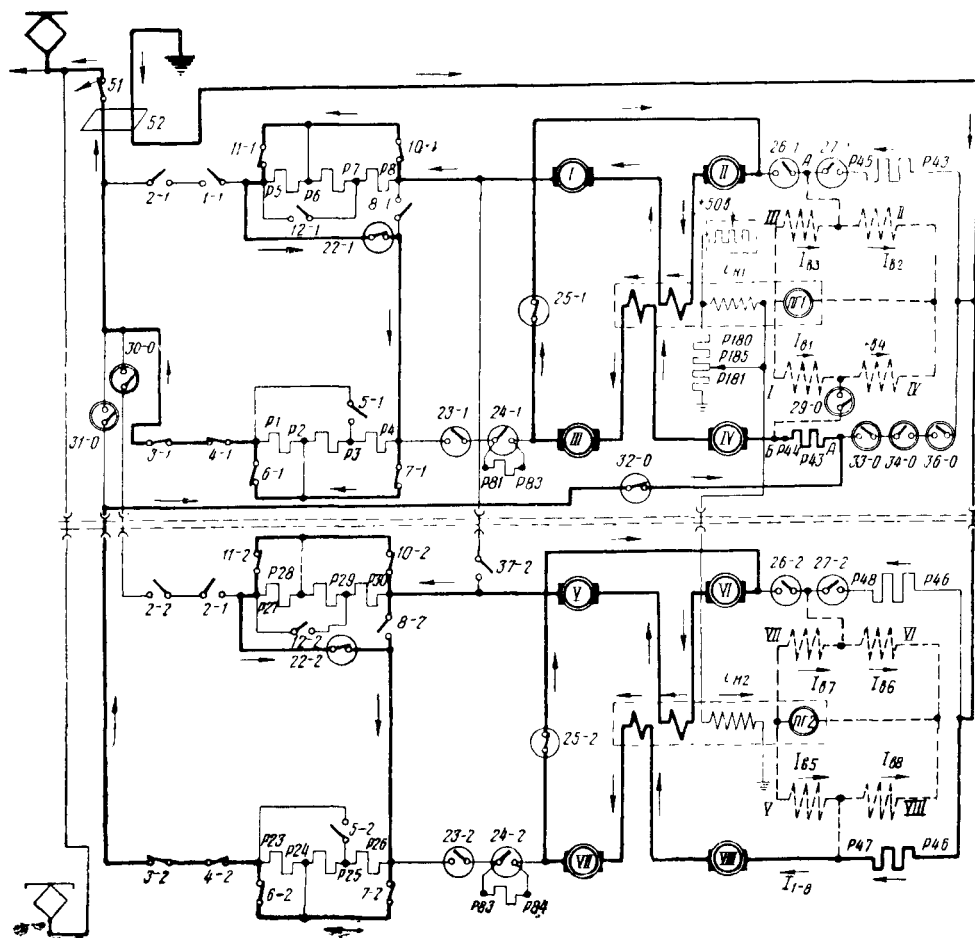
Для повышения устойчивости действия схемы обмотки независимого возбуждения генераторов соединены последовательно.

Для выключения рекуперативного тормо-

жателя КСПИ и КСПИИ остаются в своём первоначальном положении.

После установки главной рукоятки на 1-ю позицию перемещают тормозную рукоятку на 1-ю и последующие позиции, пока не сработает реле рекуперации. Затем включаются контакторы согласно табл. 3.

Прохождение тока в силовой цепи на 1-й позиции главной рукоятки, при рекуперативном торможении и последовательно-параллельном соединении показано на фиг. 20.



Фиг. 21. Прохождение тока в силовой цепи при рекуперативном торможении и последовательном соединении тяговых двигателей

жения тормозная рукоятка постепенно перемещается на нижестоящие позиции, пока ток рекуперации не станет близким к нулю. После этого перемещаются на нулевые позиции сначала главная, а затем тормозная рукоятка.

Последовательно-параллельное соединение. Для перехода на тормозной режим при последовательно-параллельном соединении реверсивно-селективная рукоятка устанавливается в положение «Вперёд СП», а тормозная — на позицию 02.

При этом происходит соединение схемы рекуперативного торможения в таком же порядке, как и при параллельном соединении, за исключением того, что групповые переключатели КСПИ и КСПИИ остаются в своём первоначальном положении.

Действие схемы аналогично схеме при параллельном соединении, с той лишь разницей, что отсутствует циклическая стабилизация тока рекуперации в параллельных цепях тяговых двигателей.

Выравнивание токов рекуперации в параллельных цепях тяговых двигателей осуществляется за счет применения отдельных генераторов преобразователей для питания обмоток возбуждения каждой цепи двигателей, а также за счет регулировки э. д. с. этих генераторов потенциометром P180-P185-P181.

Последовательное соединение. Переход на рекуперативное торможение при последовательном соединении осуществляется

таким же порядком, как это было разобрано выше для параллельного и последовательно-параллельного соединения двигателей. При этом реверсивно-селективная рукоятка устанавливается в положение «Вперёд С».

Последовательность включения контакторов на I-й позиции при рекуперативном торможении и последовательном соединении тяговых двигателей приведена в табл. 3, а прохождение тока показано на фиг. 21.

Силовые схемы электросекций C^P и C_3^P

Моторвагонные секции серии C^P имеют две схемы: для работы на двух напряжениях контактной сети 1 500 или 3 000 в (C^P) и одном напряжении 3 000 в (C_3^P).

Обе схемы включают в себя по четыре тяговых двигателя и не предусматривают режима электрического торможения.

Двигатели секции, предназначенной для работы при 1 500 и 3 000 в при напряжении в контактной сети 1 500 в во время пуска, имеют последовательно-параллельное и затем параллельное соединение. Переход с одного соединения на другое осуществляется по схеме моста. При напряжении контактной сети 3 000 в двигатели соединяются последовательно и затем последовательно-параллельно. Такую же группировку двигателей имеет и схема, рассчитанная на работу при напряжении только 3 000 в.

Переключение групп двигателей на одно или другое напряжение выполняется двухпозиционным переключателем напряжения ПН, управление которым осуществляется из кабины машиниста и находится под контролем реле напряжения (см. фиг. 55 стр. 431).

На каждой группировке двигателей на секциях C^P возможно применение одной ступени ослабления поля возбуждения, а на секциях C_3^P — двух. Общее количество экономических скоростей равно трём.

Процесс разгона может осуществляться автоматически, под контролем реле ускорения, и переводом главной рукоятки контроллера машиниста по его позициям («ручной пуск»).

Схема допускает «аварийный» режим работы при двух отключённых тяговых двигателях.

Контакты, выводящие ступени сопротивления, имеют групповой привод.

Схема на два напряжения. Режим 3 000 в — последовательное соединение двигателей, первая маневровая позиция соответствует постановке съёмной реверсивной рукоятки контроллера машиниста в положение «Вперёд» или «Назад» и главной рукоятки на I положение. При этом:

- 1) переключатель напряжения должен быть в положении Н-3 и его контакты Н3 и Н4 замкнуты, а контакты Н1, Н2, Н5 и Н6 разомкнуты;
- 2) реверсор устанавливается в положение, соответствующее направлению движения;
- 3) реостатный контроллер находится в исходном I положении;
- 4) включаются индивидуальные линейные контакторы ЛК1—ЛК4.

При переводе главной рукоятки контроллера машиниста на II положение следующие

позиции последовательного соединения двигателей получаются выведением реостатным контроллером секций пусковых сопротивлений в соответствии с таблицей замыкания (фиг. 22). При достижении реостатным контроллером 7-й позиции все пусковые сопротивления выведены и двигатели работают при полном поле. Эта позиция не является ходовой, так как реостатный контроллер переходит на 8-ю позицию. На 8-й позиции замыкаются контакторы Ш1-Ш4, которые параллельно обмоткам возбуждения двигателей включают индуктивные шунты и сопротивления, дающие ослабление поля на 53%.

Переход на последовательно-параллельное соединение двигателей производится переводом главной рукоятки контроллера машиниста из II в III положение.

При этом замыкаются контакторы параллельного соединения П1, П2, П3, П4, размыкаются контакторы шунтировки поля Ш1 и Ш4 и мостовые контакторы М1, М2. Силовая цепь после ЛК4 составляется из двух параллельных ветвей.

Первая включает якорь и обмотку возбуждения двигателя 1 и сопротивления Р1-Р4. Вторая цепь включает пусковые сопротивления Р5-Р8 и двигатель 2. Через контакторы Н4-Н3 цепь первой группы двигателей соединяется последовательно с цепью второй группы, разветвляясь на две параллельные ветви после контактора Н3. Одна из этих параллельных цепей включает двигатель 3 и пусковые сопротивления Р9-Р12. Вторая ветвь включает пусковые сопротивления Р13-Р16 и двигатель 4.

С 9-й по 15-ю позиции реостатного контроллера его контакторами постепенно выводятся секции пусковых сопротивлений. 15-я позиция является ходовой параллельного соединения двигателей.

Переход на режим ослабления поля осуществляется переводом главной рукоятки контроллера машиниста в IV положение. При этом замыкаются контакторы Ш1-Ш4, осуществляя ослабление поля.

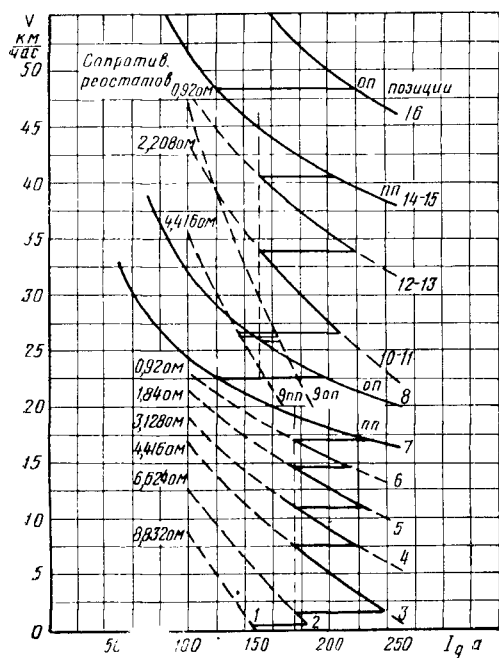
Режим 1 500 в. Силовые цепи при работе на напряжении 1 500 в составляются подобным же образом, как и при напряжении 3 000 в, но при разомкнутых контакторах Н3, Н4 и замкнутых Н1, Н2, Н5 и Н6.

Группы тяговых двигателей 1-2 и 3-4 с их пусковыми сопротивлениями оказываются соединёнными параллельно. Последовательность работы схемы точно такая же, как и при напряжении 3 000 в.

Пусковые диаграммы для обоих случаев приведены на фиг. 23а и 23б.

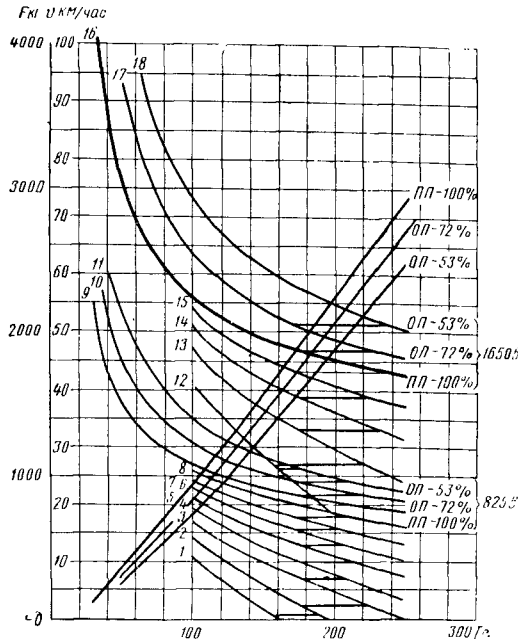
В связи с переключениями, необходимыми для работы на двух напряжениях, реверсирование тяговых двигателей осуществляется раздельным переключением их обмоток возбуждения. Аварийное отключение двигателей осуществляется попарно 1-3 и 2-4 двумя шестиполусными переключателями, отдельные участки схемы при этом замещаются перемычками.

Режим работы при аварийной схеме на напряжении 3 000 в возможен только при последовательном соединении оставшихся тяговых двигателей, а при напряжении 1 500 в только при параллельном соединении. При



г) осуществляется попарное аварийное отключение двигателей целыми группами 1-2 и 3-4;

д) предусмотрена дифференциальная противобоксовочная защита тяговых двигателей, воздействующая на систему управления.



Фиг. 25. Пусковая диаграмма электросекции C_3^P

Пусковая диаграмма электросекции C_3^P показана на фиг. 25, а порядок замыкания контакторов — в помещённой ниже таблице.

Таблица замыкания контакторов на электросекции C_3^P

Поз.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Сопрот. Ом
1	•																		17,63
2	•	•																	14,18
3	•	•	•																10,68
4	•	•	•	•															8,47
5	•	•	•	•	•														6,26
6	•	•	•	•	•	•													4,60
7	•	•	•	•	•	•	•												2,94
8	•	•	•	•	•	•	•	•											1,47
9	•	•	•	•	•	•	•	•	•										0,0
10	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•									0,0
11	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•								0,0
12	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•							8,84
13	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•						5,34
14	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					3,13
15	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•				1,47
16	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			0,0
17	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		0,0
18	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0,0

Силовые схемы вагонов метрополитена

Вагоны типа А и Б. Схема включает четыре тяговых двигателя, электрического торможения как рабочего не предусматривает.

Двигатели во время пуска имеют последовательно-параллельное соединение, а затем — параллельное соединение. Переход с одной

группировки на другую осуществляется по схеме моста.

Ослабление поля предусмотрено лишь при параллельном соединении двигателей. Общее количество экономических скоростей равно трём. Процесс разгона осуществляется автоматически под контролем реле ускорения (фиг. 26).

Работа с частью отключённых тяговых двигателей схемой не предусмотрена.

Все контакторы силовой схемы индивидуальные.

Силовые схемы вагонов типа А и Б полностью одинаковые. Первая маневровая позиция соответствует постановке рукоятки контроллера машиниста в I положение — «Вперёд» или «Назад» с последующим включением кнопки управления контроллера машиниста. При этом:

1) реверсор устанавливается в положение, соответствующее направлению движения;

2) включаются контакторы $LB1$, $1R$ и 12 .

При переводе рукоятки контроллера машиниста во II положение и нажатии кнопки управления следующие позиции последовательно-параллельного соединения двигателей получаются выведением секций пусковых сопротивлений включением контакторов в соответствии с таблицей, помещённой на стр. 398. При включении контактора I на 9-й позиции все пусковые сопротивления выведены и двигатели работают на характеристике полного поля. Эта позиция является ходовой.

Переход на параллельное соединение двигателей производится переводом рукоятки контроллера машиниста из II в III положение с последующим нажатием кнопки управления. При этом замыкаются контакторы $LB2$ и G . Мостовой контактор I размыкается. Силовая цепь после главного предохранителя состоит из двух параллельных ветвей. Первая включает: контактор $LB1$, два параллельно соединённых тяговых двигателя 1 и 3 , пусковые сопротивления $P6-P10$. Вторая включает: контактор $LB2$, ступени пусковых сопротивлений $P1-P5$ и два параллельно соединённых тяговых двигателя 2 и 4 .

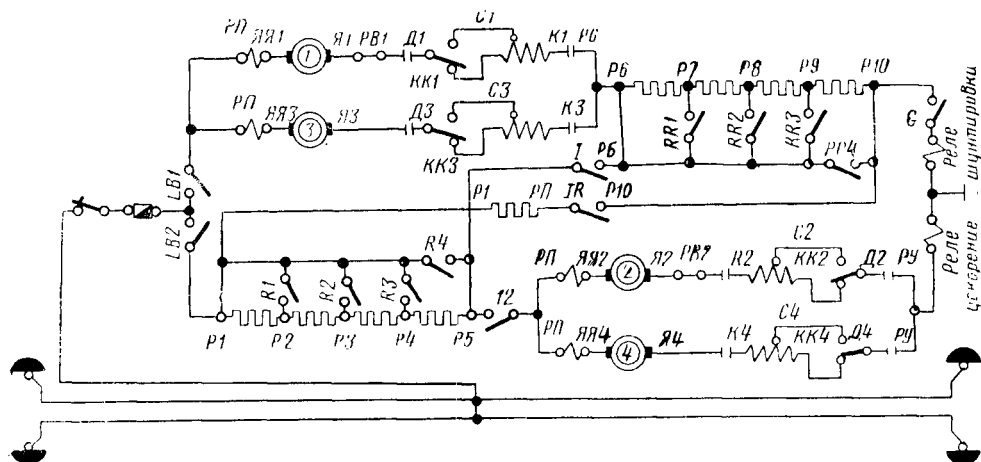
При этой группировке так же под контролем реле ускорения в цепях двигателей выводятся пусковые сопротивления. На 14-й позиции двигатели работают по характеристике полного поля. Эта позиция является ходовой.

Переход на позицию ослабленного поля осуществляется переводом рукоятки контроллера в IV положение и нажатием кнопки управления. Ослабление поля до 67% осуществляется секционированием обмоток возбуждения двигателей контактами переключателя шунтировки поля.

Пусковая диаграмма приведена на фиг. 27. Вследствие того, что включение первых четырёх контакторов, выводящих пусковые сопротивления, замедленно, первые позиции пуска осуществляются хронометрически, без контроля реле ускорения.

При положении контроллера машиниста на «Ход назад» — возможно получение только последовательно-параллельного соединения двигателей.

В случае, если движение вагона происходит «Вперёд», а рукоятка контроллера маши-



Фиг. 26. Силовая схема вагонов метрополитена типа А и Б

ниста будет установлена в положение «Назад», в контурах двигателей первой группы (1 и 3) и второй группы (2 и 4) возникнет электроторможение. В каждом контуре оба двигателя первоначально в течение доли секунды работают как генераторы. Затем один из них «опрокидывается», переходя в тяговый режим. Момент опрокидывания сопровождается резким повышением тока в контурах, вызывающим оплавление контактов реверсора и круговой огонь по коллектору. В дальнейшем процесс электроторможения протекает спокойно. Применение электроторможения на этих вагонах не допускается. Для разрыва цепей контуров групп тяговых двигателей при транспортировке вагонов за 1 и 2 якорями установлены контакты РУМ (РВ1 и РВ2).

Вагоны типа Г и Д имеют по четыре тяговых двигателя. В качестве рабочего предусматривается электрическое (реостатное) торможение.

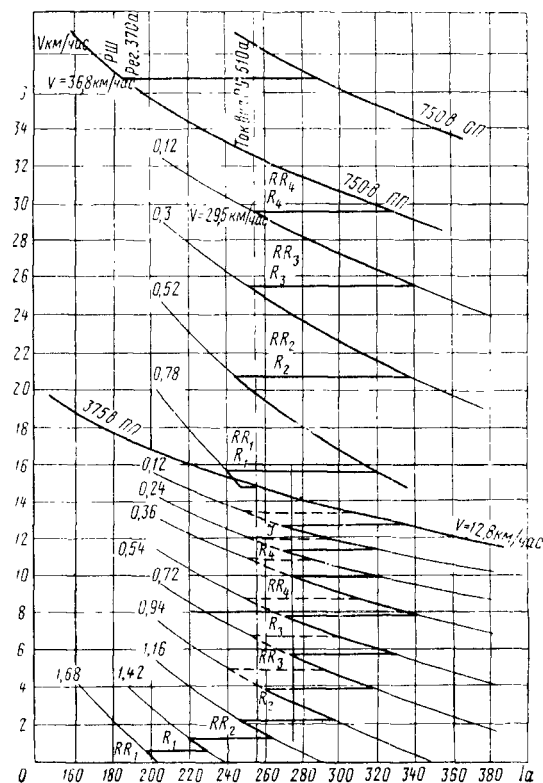
На тяговом режиме группы двигателей имеют два соединения: последовательное и параллельное. Переход с одного соединения

групп двигателей на другое осуществляется по схеме моста.

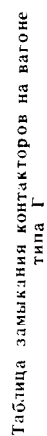
Процессы пуска и электрического торможения автоматизированы и происходят под контролем реле ускорения и реле торможения. Переключения пусковых сопротивлений на тяговом и тормозном режимах производятся контакторными элементами группового реостатного контроллера (РК). Ослабление поля тяговых двигателей на вагонах типа Г осуществляется также реостатным контроллером, а на вагонах типа Д — индивидуальными

Таблица замыкания контакторов на вагонах типа А и Б

Позиции		Контакторы													
		LB1	LB2	12	14	6	RR1	RR2	RR3	RR4	RR5	RR6	RR7	RR8	RR9
Последовательное соединение	1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	3	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	5	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	6	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	7	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	8	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	9	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Переходное	10	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Параллельное соединение	11	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	12	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	13	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	14	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Шунтировки		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•



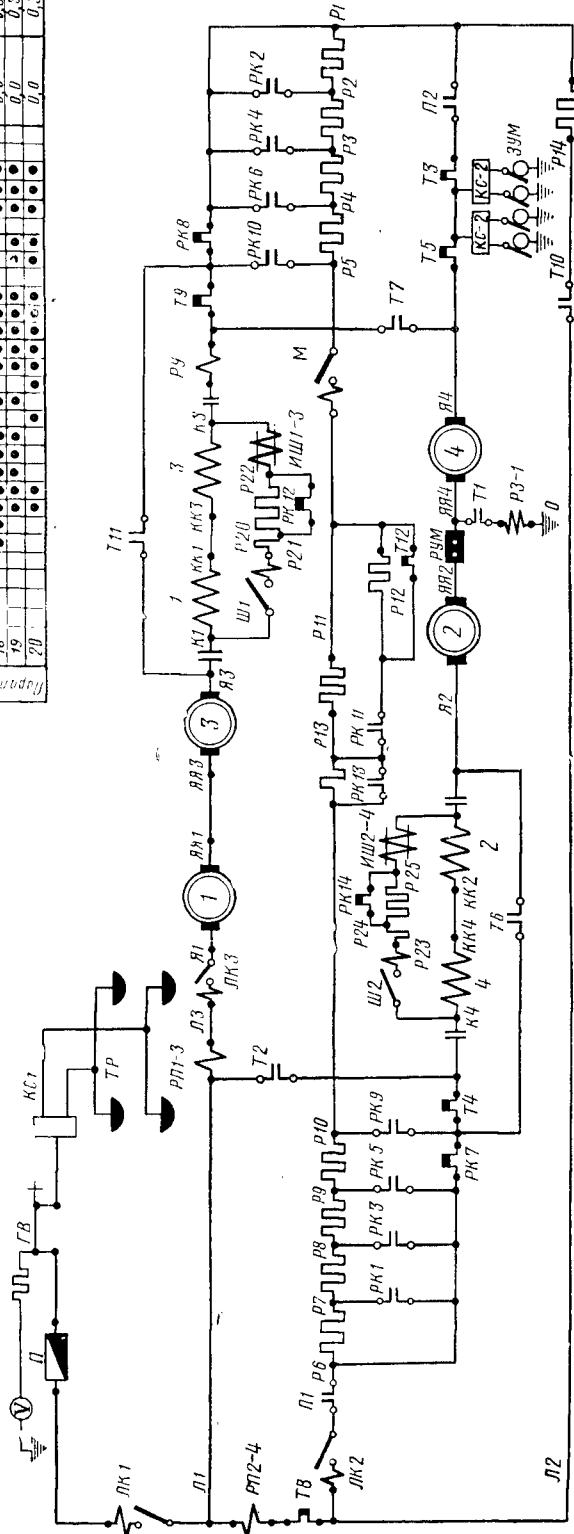
Фиг. 27. Пусковая диаграмма вагонов метрополитена типа А и Б

[illegible]

Фиг. 28. Силовая схема вагонов метрополитена типа I.

Таблица замыкания контакторов
на вагоне типа Д

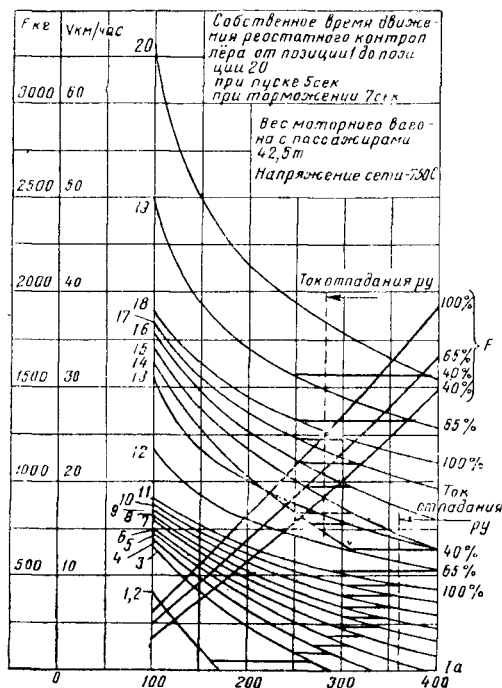
Соединение	Замыкание контактных элементов при тяговом и тормозном режимах														При тяговом режиме		При тормозном режиме		Величина сопротивления по позициям в Ом	
	Л031-Л032	ПК1	ПК2	ПК3	ПК4	ПК5	ПК6	ПК7	ПК8	ПК9	ПК10	ПК11	ПК12	ПК13	ПК14	ПК15	ПК16	Тяговый режим	Тормозный режим	
1																		4,635	4,635	
2																		2,428	2,428	
3																		1,638	2,43	
4																		1,325	2,097	
5																		1,062	1,834	
6																		0,812	1,584	
7																		0,608	1,38	
8																		0,387	1,199	
9																		0,190	0,962	
10																		0,00	0,772	
11																		0,00	0,772	
12																		0,594/0,905	0,597	
13																		0,401/0,411	0,495	
14																		0,197/0,190	0,328	
15																		0,0	0,328	
16																		0,0	0,328	
17																		0,0	0,328	
18																		0,0	0,328	
19																		0,0	0,328	
20																		0,0	0,328	



Фиг. 30. Силовая схема вагонов метрополитена типа Д

по отношению к земле не может подняться выше напряжения одного якоря. Реле заземления защищает силовую цепь на тормозном режиме от токов утечки, превышающих 4,5 а, посредством воздействия на реле перегрузки.

Тяговый режим. Первая маневровая позиция соответствует постановке съёмной рукоятки контроллера машиниста на положение «Вперёд» или «Назад», а главной — на I положение «хода» (схема вагонов типа Г — фиг. 28 и схема вагонов типа Д — фиг. 30). При этом:



Фиг. 31. Пусковая диаграмма вагонов метрополитена типа Д

- 1) тормозной переключатель *ТП* устанавливается в положение двигательного режима;
- 2) реверсор устанавливается в положение, соответствующее направлению движения;
- 3) переходной переключатель *ПП* (вагон типа Г) устанавливается в положение, соответствующее последовательному соединению двигателей;

4) реостатный контроллер *РК* находится в исходном I положении;

5) включаются индивидуальные контакторы *ЛК2*, *ЛК1*, *ЛК3* (вагоны типа Г) и контакторы *ЛК1*, *ЛК3*, *М* и *ЛК2* (вагоны типа Д).

При этом двигатели работают с ослабленным полем возбуждения. При переводе главной рукоятки контроллера машиниста во II положение следующие позиции последовательного соединения двигателей получают выведение секций пусковых сопротивлений контакторными элементами реостатного контроллера.

На вагонах типа Г на позиции 2-й реостатного контроллера осуществляется первая ступень усиления поля посредством включения контакторных элементов *Р13* и *Р16* и выключения *Р12* и *Р15*. Обмотки 3 и 2 двигателей вводятся в цепь полностью, а обмотки 1 и 4

двигателей остаются включёнными частично. На позиции 3-й производится вторая ступень усиления поля посредством включения контакторных элементов *Р14* и *Р17* и выключения *Р13* и *Р16*. В результате все обмотки возбуждения оказываются включёнными полностью и двигатели имеют наибольшее возбуждение до 23 позиций включительно.

Схема построена так, что выключение контакторных элементов реостатного контроллера *Р1—Р11* и *Р14* и *Р17* осуществляется без разрыва тока; контакторы *Р12*, *Р13*, *Р15* и *Р16* выполнены с дугогашением и, выключаясь, разрывают ток, обусловленный индуктивностью обмоток возбуждения.

На позиции 12-й все секции сопротивлений полностью закорочены, двигатели выходят на автоматическую характеристику при последовательном соединении. Позиция 12а является ходовой.

На вагонах типа Д при II положении главной рукоятки контроллера машиниста реостатный контроллер переходит последовательно с 1-й на 13-ю позицию, которая и является ходовой для этой группировки двигателей. Со 2-й позиции двигатели работают с полным полем возбуждения. Ослабление поля осуществляется вновь на позициях 12-й и 13-й.

Переход на параллельное соединение групп двигателей производится переводом рукоятки контроллера машиниста из II в III положение. При этом в схеме вагонов типа Г контакторные элементы *П1* и *П3* переходного переключателя замыкаются, а *П2* — отключается.

В результате обе группы тяговых двигателей оказываются включёнными параллельно, причём в цепь каждой группы двигателей введены сопротивления.

В дальнейшем *РК* начинает вращаться в обратном направлении, при этом последовательность включений и выключений его контакторных элементов обратна тому, что было при последовательном соединении (зеркальное отражение).

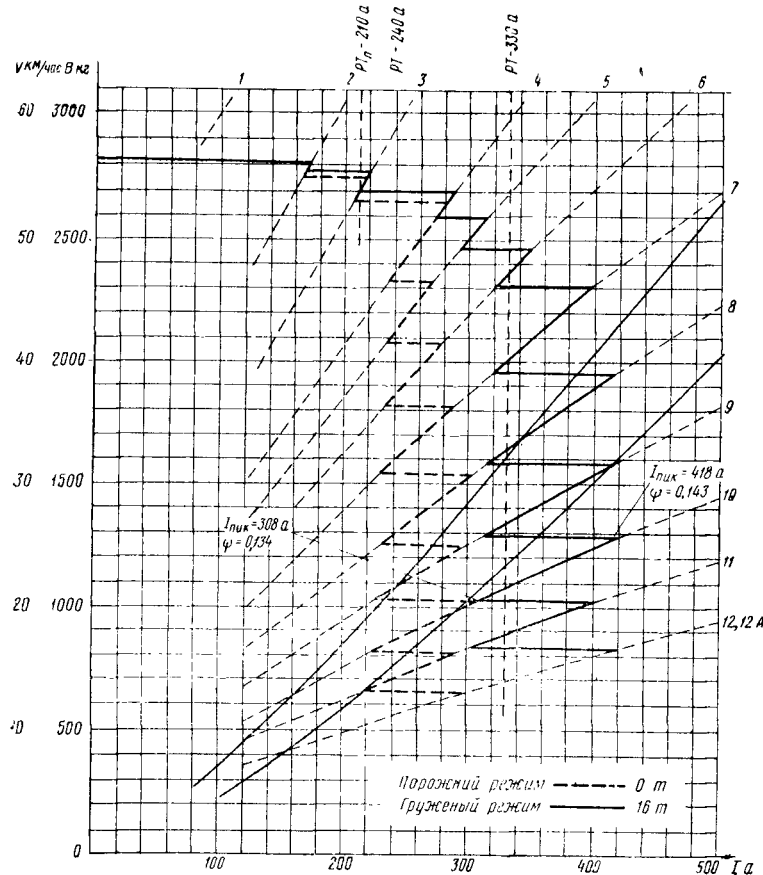
На позиции 21-й все секции сопротивлений полностью закорочены, двигатели выходят на автоматическую характеристику, имея максимальное или полное возбуждение. Позиции 22-я и 23-я подобны 21-й, за исключением того, что на 22-й размыкается контакторный элемент *Р8*, а на 23-й — *Р6*.

На позиции 24-й производится первая ступень ослабления поля, а на позиции 25-й — вторая. 25-я позиция является основной ходовой позицией.

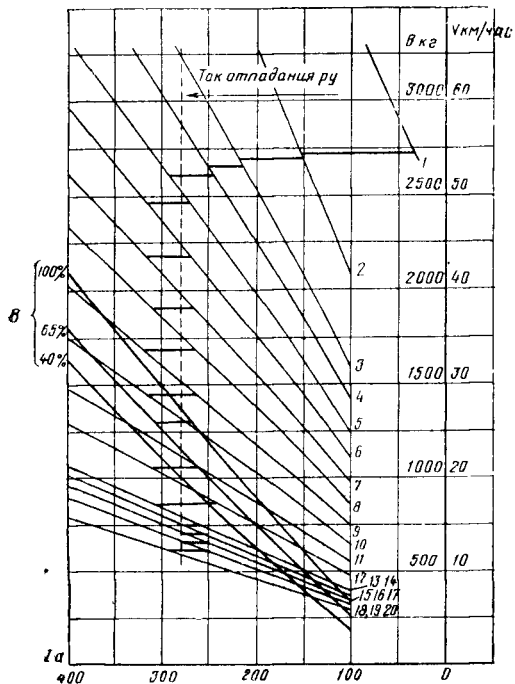
В схеме вагонов типа Д при установке главной рукоятки контроллера машиниста в III положение реостатный контроллер переходит с 13-й позиции на 14-ю. При этом включаются контакторные элементы *П1* и *П2* и отключаются контакторы *Ш1* и *Ш2*. На 15-й позиции отключается контактор *М*, чем осуществляется параллельное соединение групп двигателей.

В дальнейшем до 18-й позиции выводятся секции пусковых сопротивлений, а на 19-й и 20-й позициях производится двукратное ослабление возбуждения двигателей. Позиция 20-я является окончательной ходовой позицией.

Пусковая диаграмма двигателей вагонов типа Г дана на фиг. 29, а двигателей вагонов типа Д — на фиг. 31.



Фиг. 32. Тормозная диаграмма вагонов метрополитена типа Г



Фиг. 33. Тормозная диаграмма вагонов метрополитена типа Д

Тормозной режим. Для получения электрического реостатного торможения главная рукоятка контроллера машиниста устанавливается в положение «Тормоз 1» или «Тормоз 2».

При переходе с двигательного режима на тормозной происходит выключение линейных контакторов. Затем тормозной переключатель устанавливается в положение «Тормоз», реостатный контроллер — на 1-ю позицию, а переходной переключатель (в схеме вагонов типа Г) — на позицию «Последовательно». При этом вся силовая цепь отсоединяется от питающей сети как со стороны третьего рельса, так и со стороны земли. Процесс торможения начинается с момента включения линейных контакторов.

При установке рукоятки контроллера машиниста в положение «Тормоз 2» реостатный контроллер, вращаясь, выводит соответствующие секции сопротивления. Реостатное торможение происходит обычно автоматически под контролем реле торможения, однако возможно и неавтоматическое (ручное) торможение. Для его осуществления главная рукоятка контроллера машиниста последовательно переставляется из положения «Тормоз 1» в положение «Тормоз 1А» и обратно.

В отличие от тягового режима в силовую цепь дополнительно включено одно невыключаемое сопротивление $ТС$ в схеме вагона типа Г и

P14 в схеме вагона типа Д. Когда реостатный контроллер приходит на последнюю позицию тормозного режима это сопротивление остаётся единственным во всей цепи.

Силовая схема вагонов типа Г и Д на тормозном режиме представляет собой две параллельно включённые группы машин, работающих в генераторном режиме на общую нагрузку — реостаты.

Тормозная диаграмма вагона типа Г представлена на фиг. 32 и вагона типа — Д на фиг. 33.

СХЕМЫ ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

Требования и принципы построения

Через схемы управления осуществляется дистанционное воздействие на аппараты силовых цепей и обеспечивается их правильное взаимодействие. Схемы управления должны соответствовать следующим требованиям:

1) действия машиниста при управлении ЭПС должны быть простыми и сводиться к выполнению возможно меньшего числа операций. Механические блокировки между рукоятками и кнопками управления должны исключать возможность ошибочной последовательности их применения;

2) если при переводе рукоятки контроллера машиниста с одной позиции на другую должно действовать несколько аппаратов, то правильная последовательность их работы должна обеспечиваться их собственными блокировками;

3) отказ от работы отдельных аппаратов не должен вызывать опасного нарушения режима работы ЭПС, например, самопроизвольного движения в противоположную сторону, тягового режима вместо тормозного, «самохода» и т. д.; неправильных соединений в силовой цепи, опасных для тяговых двигателей и аппаратов, короткого замыкания цепей.

Для обеспечения надёжности работы необходимо введение дополнительных блокировок аппаратов. При разработке схемы цепей управления учитывается возможность возникновения одновременно лишь одной неисправности — совпадение нескольких неисправностей считается маловероятным. В тех случаях, когда неисправность не вызывает опасного нарушения режима работы, не грозит повреждением и может привести лишь к временной перегрузке системы или её части, дополнительные блокировки, как правило, не вводятся в предположении, что такие перегрузки отключаются аппаратами общей защиты;

4) должна быть исключена возможность разрыва мощности аппаратами, не предназначенными для таких отключений и не имеющими дугогашения, — реверсоры, тормозные переключатели и ряд других;

5) соединение силовой цепи с контактной сетью, а также включение двигателей на режим электрического торможения должно осуществляться лишь после того, как соберётся вся силовая схема, включая пусковые сопротивления. До перехода на рекуперативный режим должен быть включён возбудитель рекуперации;

6) должно предотвращаться опасное для заклинивания колёс одновременное применение электрического и воздушного тормозов;

7) должна полностью исключаться воз-

можность возникновения вредных контуров и обходных соединений, которые могут вызвать неправильное действие силовых аппаратов как на отдельно взятом локомотиве, так и при их работе по системе многих единиц.

При управлении по системе многих единиц работа автоматики пуска или торможения на каждой единице ЭПС должна проходить независимо от других, таким образом, чтобы обеспечивать правильное распределение нагрузок между локомотивами. Вместе с этим схема должна обеспечивать обязательный выход на естественные безреостатные характеристики двигателей для всех локомотивов;

8) переход на работу по аварийной схеме с отключёнными двигателями в тех случаях, когда он требует изменения порядка действий силовых аппаратов, должен производиться при условии автоматического изменения схемы управления блокировочными устройствами отключателей двигателей. Как правило, должна предусматриваться возможность параллельной работы ЭПС с отключёнными двигателями и с нормальной схемой;

9) при отключении аппаратов защиты схема управления должна допускать их восстановление только при отсутствии тока в силовой цепи;

10) схема независимо от положения ЭПС в процессе движения должна допускать постановку рукоятки контроллера машиниста на любое положение непосредственно из нулевого. Процесс пуска или торможения должен при этом происходить со степенью плавности, практически не зависящей от скорости перестановки рукоятки контроллера управления.

Хотя для систем автоматического управления не всегда обязательна возможность обратного перехода с высших ступеней на низшие, однако постановка рукоятки на низшие позиции не должна сопровождаться размыканием силовой цепи.

Перевод рукоятки контроллера машиниста с тормозного на нулевое положение должен подготавливать систему к переходу на исходную позицию двигательного режима.

При применении системы автоматического управления для локомотивов, работающих с поездами различного веса (электровозы), машинисту должна предоставляться возможность менять основную регулировку автоматики: пусковой или тормозной ток, тяговое или тормозное усилие при работе системы без перерыва режима движения;

11) схема управления должна быть по возможности простой и содержать наименьшее количество блокировок, особенно электрических;

12) при неавтоматических системах управления следует предусматривать, чтобы при резком передвижении рукоятки контроллера машиниста положение аппаратов силовой цепи приходило в соответствие с конечной позицией, на которую поставлена рукоятка. При этом, хотя и может быть допущено некоторое нарушение обычной последовательности в работе аппаратов, должна быть полностью исключена возможность возникновения коротких замыканий и разрывов силовой цепи, которые не возникают при нормальном темпе передвижения рукоятки. Для электровозов должна

быть предусмотрена возможность обратного перехода с высших позиций на низшие при двигателном режиме и с низших на высшие — при тормозном.

Схемы управления электровозов ВЛ22М

Питание цепей управления осуществляется от одного или двух генераторов тока управления. Кроме того, имеется аккумуляторная батарея ёмкостью около 80 ампер-часов.

Поддержание постоянного напряжения на зажимах генератора управления на уровне 50 в осуществляется с помощью регулятора напряжения, включённого в цепь обмотки возбуждения каждой машины.

Все электроаппараты управления генераторами и зарядкой аккумуляторной батареи собраны на распределительном щите РЩ-31 или щите ПУ-3А.

При нормальном режиме работы аккумуляторная батарея находится непрерывно в состоянии подзарядки. Работа батареи на разряд возможна лишь при отключении обоих генераторов или кратковременно в момент приведения электровоза в действие. При падении напряжения на зажимах генератора ниже 48 в возможны случаи параллельной работы генератора и батареи.

Для периодической зарядки батарей повышенным напряжением на щите предусмотрен рубильник усиленной зарядки. При размыкании этого рубильника в цепь катушек регуляторов напряжения вводятся добавочные сопротивления. Этим вызывается изменение режима работы регулятора и повышение напряжения генераторов управления.

Непосредственно от распределительного щита через плавкие предохранители питаются: выключатели управления в кабинах; освещение машинного помещения электровоза; освещение высоковольтной камеры; лампа освещения щитка; управление вспомогательными цепями и обмотка независимого возбуждения мотор-генератора рекуперации; штепсельная розетка в кабине; кнопки управления пантографами.

Управление быстродействующими выключателями БВ. Для включения БВ на кнопочном выключателе 100 и 101 имеется по две кнопки: «Быстродействующий выключатель» и «Восстановление БВ» (см. фиг. 36).

Питание к кнопке «Быстродействующий выключатель» подводится от выключателя управления.

При включении этой кнопки подаётся питание к кнопке «Восстановление БВ» и, кроме того, через кнопку «Быстродействующий выключатель», удерживающей катушке БВ, в цепи которой имеются блокировки, всех реле перегрузки РП тяговых двигателей, реле максимального напряжения РМН и реле перегрузки мотор-генератора рекуперации 82. Между удерживающей катушкой и землёй при тяговом режиме включена блокировка ТК тормозного переключателя.

При тормозном режиме, когда эта блокировка размыкается, в цепь введены прямая блокировка контактора 63, включающего мотор-генератор рекуперации, и две блокировки АВУ, обеспечивающие правильное взаимодей-

ствие электрического и воздушного торможения.

Для включения БВ необходимо, кроме возбуждения удерживающей катушки, кратковременно возбудить и катушку электропневматического клапана восстановления БВ, которая получает питание при нажатии на кнопку «Восстановление БВ» через блокировочный контакт контроллера машиниста, в цепи проводов 29—29А (29Б), замкнутый в нулевом положении главной рукоятки контроллера. Кнопка «Восстановление БВ» импульсного действия. При включении БВ замыкается его блокировка в цепи проводов 50-50М, включая красные сигнальные лампы в кабинах электровоза.

Блокировки в цепи удерживающей катушки БВ имеют следующее назначение:

а) блокировки РП1-2, РП3-4, РП5-6 разрывают цепь удерживающей катушки при перегрузках в соответствующих группах двигателей;

б) блокировка РМН разрывает цепь удерживающей катушки при повышении напряжения в контактной сети свыше 3750 в;

в) блокировка реле перегрузки 82 разрывает цепь при перегрузках и коротком замыкании мотор-генератора рекуперации;

г) блокировка контактора 63 обеспечивает включение БВ лишь после замыкания контактора мотор-генератора;

д) блокировка АВУ в проводе 50Ж-50И разрывает цепь при повышенном давлении в тормозном цилиндре сверх 1,8—2,0 атм в момент одновременного применения рекуперативного и воздушного вспомогательного тормоза;

е) блокировка ТК-М служит для выключения действия блокировок АВУ и контактора 63 при тяговом режиме;

ж) блокировка АВУ в проводах 50Н разрывает цепь удерживающей катушки при применении экстренного воздушного торможения.

Цепи управления при работе на тяговом режиме начнут собираться после включения выключателя управления 105(106) (фиг. 34), постановки реверсивной рукоятки контроллера машиниста в одно из положений «Вперёд» или «Назад» и главной рукоятки на 1-ю позицию. При этом произойдут следующие переключения, соответствующие последовательному соединению тяговых двигателей:

а) замыкаются контакторные элементы контроллера машиниста: 1, 5, 10, 49, Н1 (Н2), G. Напряжение по проводу Н1 (Н2), поступает ко всем контакторным элементам, за исключением 29, 14, 49 и G;

б) групповой переключатель находится в положении последовательного соединения, так как катушки его привода не возбуждены. При этом замкнуты лишь его блокировки КСП-С и КСП-С-СП;

в) катушка ТК-М тормозного переключателя получает питание от провода 10. В нулевом положении рукоятки тормозного барабана, а также на положениях ОП-1 и ОП-2 провод 16 замыкается с контакторным элементом G главного барабана контроллера, замкнутом лишь на 1-й позиции. На двигателном режиме контактор 19 должен быть разомкнут, а его блокировка 16Б-16А-16В должна быть замкнута, что обеспечивает питание катушки ТК-М и переключение тормозного пере-

ключателя в двигательный режим. Этим вызывается размыкание всех блокировок *ТК-Т* и замыкание блокировок *ТК-М*;

г) от провода *10* через контакты реверсивного барабана контроллера машиниста *10-0* или *10-8* питаются соответствующие катушки реверсора. Реверсор устанавливается в нужное положение.

От провода *8 (0)* через блокировку реверсора *ВП* получает питание катушка контактора *54*, имеющая в своей цепи блокировки *БВ*, *ТК-М*, контактора *19* и далее такую же цепь, как и для питания катушки *ТК-М*. Этим вызывается включение контактора *54*, сопровождающееся замыканием его блокировок в цепях проводов: *49-Г*, *7В-Г* и *1В-8В*, через которые для невозможности включения силовой схемы на каких-либо других позициях, кроме 1-й, проходит цепь заземления большинства реостатных контакторов;

д) от провода *1* через замкнутую блокировку *КСП-С*, *1-1А* и блокировку *ОМ*, *1А-1В* получает питание катушка контактора *47*, имеющая после блокировки контактора *54* такую же цепь, как и катушка контактора *54*;

е) от провода *5* питается катушка контактора *42*. Её обратный провод соединён с землёй через блокировку *КСП-С-СП*, *5А-1В* и далее так же, как катушка контактора *47*;

ж) от провода *10* через блокировку *ОМ* *10-10А* питаются катушки контакторов *40* и *46*. Их дальнейшая цепь составляется так же, как и цепь контактора *47*.

При замыкании контакторов *47*, *42*, *40* и *46* устанавливается 1-я позиция последовательного соединения.

Замыкание контактора *40* сопровождается включением его блокировок в цепях проводов *6Д-Г*, *6Е-Г*, *28Б-28Г*. Первые две блокировки имеют то же назначение, что и блокировки контактора *54*. Блокировка в проводах *28Б-28Г* не даёт возможности замкнуться контактору *79*, включающему обмотку независимого возбуждения возбудителя при рекуперативном торможении до того, как установится последовательное соединение пусковых сопротивлений.

Дальнейшее перемещение главной рукоятки контроллера до 16-й позиции вызывает включение в цепь тока управления катушек контакторов в соответствии с табл. 1. В цепи катушек контакторов, группирующих сопротивления (со стороны земли), и катушки *ТК-М*, начиная со 2-й позиции контроллера, включаются блокировка контактора *54* и контакторный элемент *49* контроллера машиниста. В цепи катушек реостатных контакторов (кроме *51* и *52*) включены блокировки контакторов *37*, *42*, *45*.

Контактор *43* включён через блокировку контактора *45*. Такая взаимная связь цепей управления контакторов обеспечивает введение сопротивлений при переходе с одного соединения тяговых двигателей на другое (*16—17*-й позиций и *27—28*-й позиций), а также правильную последовательность размыканий при обратном движении рукоятки контроллера машиниста.

На позиции 16-й замыкается контакторный элемент *6* контроллера машиниста. От провода *6* получают питание катушки контакторов *49* и *55*.

Включение контактора *49* вызывает размыкание его блокировки в проводах *6-6А* и замыкание другой его блокировки в цепи проводов *10-6А*.

В момент перехода с 16-й на 17-ю позицию контакторный элемент *1* контроллера машиниста размыкается, прекращая питание провода *1*, что вызывает отключение контактора *47* и размыкание его блокировки в цепи проводов *6-6В*. Одновременно происходит замыкание блокировки этого контактора в цепи проводов *6А-6В*.

Таким образом, питание катушек контакторов *49* и *55* переводится с провода *6* на провод *10*. За счёт такого взаимного блокирования контакторов *49*, *55* и *47* обеспечивается правильная последовательность пересоединения групп сопротивлений одновременно с переключением группового переключателя, осуществляющего перегруппировку тяговых двигателей.

На 16-й позиции главной рукоятки возможно применение ступеней *ОП-1* и *ОП-2* ослабления поля путём постановки в соответствующие положения тормозной рукоятки контроллера машиниста. Когда рукоятка поставлена в положение *ОП-1*, напряжение по проводу *27* подводится к катушке контактора *27*. Так как от электропневматического вентиля контактора *27* воздух поступает в цилиндры контакторов *28*, *29* и *30*, то все эти контакторы замыкаются одновременно. При постановке тормозной рукоятки в положение *ОП-2* напряжение по проводу *26* через блокировку замкнутого контактора *27* подводится к катушке контактора *34*, вентиль которого одновременно подаёт сжатый воздух также в цилиндры контакторов *31*, *32* и *33*.

Для перехода на последовательно-параллельное соединение необходима постановка тормозной рукоятки контроллера машиниста в нулевое положение и перестановка главной рукоятки с позиции 16-й в позицию 17-ю. При этом размыкаются все контакторы ослабления поля и происходят следующие переключения:

а) прекращается питание катушек всех реостатных контакторов, за исключением контакторов *44* и *51*;

б) размыкается контактор *47*, соединяющий последовательно первую группу сопротивлений с остальными двумя;

в) по замыкании контакторного элемента *2* контроллера машиниста по проводу *2* получают питание две включающие катушки *II* и *III* группового переключателя и одна выключающая катушка *IV*, что вызывает его переход во *II* положение, соответствующее последовательно-параллельному соединению двигателей. При этом размыкаются блокировки *КСП-С* и замыкаются блокировки *КСП-СП* и *КСП-СП-П*;

г) от провода *4* через блокировку *КСП-СП-П*, *4-4А* получает питание катушка контактора *36*.

Перемещение главной рукоятки контроллера машиниста с 17-й позиций до 27-й сопровождается последовательным выведением пусковых сопротивлений путём замыкания контакторов, как показано в табл. 1.

На 27-й позиции, кроме реостатных контакторов, от провода *7* включается контактор

56 по следующей цепи; провод 7, блокировка ТК-М, 7-7А и 7А-7Б, катушка контактора, блокировка контактора 54, 7В-Г и земля.

Кроме того, от этого же провода получают питание две катушки группового переключателя (включающая и выключающая) по следующей цепи: провод 7, блокировка ТК-М, 7-7А, блокировка КСП-СП, 7А-ЗА, катушки группового переключателя и земля.

На 27-й позиции с помощью тормозной рукоятки могут быть осуществлены две позиции ослабления поля. Соединения при этом такие же, что и на 16-й позиции.

Для перехода на параллельное соединение двигателей необходим перевод главной рукоятки контроллера машиниста с 27-й позиции в 28-ю. При этом:

а) прекращается питание катушек всех реостатных контакторов, сопровождающееся их размыканием, за исключением контакторов 51 и 52;

б) прекращается питание провода 5, что вызывает размыкание контактора 42, соединяющего последовательно вторую и третью группы пусковых сопротивлений;

в) прекращается питание провода 2, что прерывает питание II, III и IV катушек группового переключателя. Однако I и IV катушки будут питаться от провода 7, что вызывает его поворот в положение, соответствующее параллельному соединению тяговых двигателей. При этом разомкнутся блокировки КСП-С-СП и КСП-СП и замкнутся блокировки КСП-П.

При замыкании блокировки КСП-СП, 7А-ЗА питание катушек вентилях I и IV переводится на провод 3 через блокировку КСП-П в цепи проводов 3-ЗА;

г) от провода ЗА через блокировку КСП-П, ЗА-ЗБ, получит питание катушка контактора 37. Замыкание этого контактора устанавливает второе уравнительное соединение между тремя группами пусковых сопротивлений.

Поворот главной рукоятки далее до 36-й позиции сопровождается замыканием реостатных контакторов и последовательным выведением соответствующих сопротивлений согласно табл. 1.

На 36-й позиции возможно применение двух ступеней ослабления поля.

Цепи управления при рекуперативном торможении. Переход на режим рекуперативного торможения осуществляется после предварительного пуска мотор-генератора и постановки главной и тормозной рукояток контроллера машиниста на первые позиции, а селективной рукоятки на необходимое соединение машин.

При установке селективной рукоятки в положение «С», соответствующее последовательному соединению якорей, происходят следующие переключения:

а) от провода 10 главного барабана напряжение подводится к пальцу 10 тормозного барабана контроллера машиниста, затем к проводу 28 и через контакты селективного барабана к проводам 30 и 32;

б) от провода 28, через блокировку ОМ, 28-28Б получает питание катушка контактора 19, в цепи которой имеется блокировка БВ, 28Д-Г.

Замыкание контактора 19 осуществляет

включение двух групп стабилизирующих сопротивлений: $P_{65}-P_{66}$ и $P_{67}-P_{68}$;

в) от проводов 32 и 30 получают питание катушки контакторов 21 и 22. Контакторм 22 включается стабилизирующее сопротивление $P_{69}-P_{70}$. Контакторм 21 соединяет обмотки возбуждения тяговых машин в две группы;

г) включение контактора 19 сопровождается замыканием его блокировки 28-28А и размыканием блокировки 16-16А-16Б. Через блокировку 28-28А получает питание катушка тормозного переключателя ТК-Т, вызывая его переход в положение рекуперативного торможения, что сопровождается размыканием блокировок ТК-М и замыканием блокировок ТК-Т;

д) от проводов 8 (0) через блокировку реверсора 8-8А (0-8А) получает питание катушка контактора 54, имеющая в своей цепи блокировки БВ, 8Б-16В; ТК-Т, 16В-15Г; ОМ, 15Б-15Г; контакторов 21 и 22, 15А-15В и 15-15А; контакты тормозного барабана контроллера машиниста и контакторный элемент Г главного барабана. Контакторм 54 остаётся включённым при всех рекуперативных соединениях.

Так как контакторы 21 и 22 включены не на всех рекуперативных соединениях, то в случае размыкания их блокировок в цепи катушки контактора 54 катушка шунтируется блокировками КСП-СП или КСП-П последовательно с блокировкой контактора 24;

е) после замыкания контактора 54 от проводов 1, 5 и 10 включаются катушки контакторов 36, 40, 42, 46, 47, обеспечивающие последовательное соединение пусковых сопротивлений. Включение их осуществляется точно так же, как и при двигательном режиме. Так как при режиме рекуперативного торможения контакторы 47 и 42 должны быть включены на всех соединениях якорей тяговых машин, блокировки группового контактора в цепях их катушек КСП-С, 1-1А и КСП-С-СП, 5А-1В зашунтированы блокировками ТК-Т. Катушка контактора 36 включается от провода 1 через блокировку ТК-Т, 1-4А;

ж) включение контактора 40 сопровождается замыканием его блокировок 28Б-28Г и возбуждением катушки контактора 79 (питание обмотки независимого возбуждения возбудителя);

з) от провода 10 через блокировку ТК-Т, 10-11 получает питание катушка реостатного контактора 51.

На этом заканчивается сборка схемы рекуперативного торможения. Главная рукоятка контроллера машиниста постепенно переводится на 16-ю позицию, вследствие чего получают питание провод 6 и катушки контакторов 49 и 55. Включение контактора 49, сопровождающееся замыканием его блокировки 10-10Б, обеспечивает питание катушки контактора 56. Все эти переключения осуществляются так же, как и при двигательном режиме.

Тормозным барабаном контроллера машиниста производится регулирование возбуждения мотор-генератора изменением сопротивлений реостата 80 и 81.

На 3-й позиции тормозного барабана получает питание провод 26, от которого через блокировки контактора 27, 26-26Б и БВ,

26В-26В возбуждается катушка вентиля регенерации 121.

При рекуперативном торможении на последовательно-параллельном соединении якорей тяговых машин цепи управления те же, что при последовательном соединении, за исключением следующего.

Рукоятка селективного барабана переводится в положение «СП», что вызывает прекращение питания провода 32 и одновременное включение провода 2.

Прекращение питания провода 32 и, следовательно, катушки контактора 21 вызывает размыкание этого контактора, что сопровождается замыканием его обратной блокировки 28В-28В и питанием через неё катушки контактора 23.

От провода 2 устанавливается питание (как и при двигательном режиме) катушек II, III, IV группового переключателя и он переходит в положение, соответствующее последовательно-параллельному соединению.

Управление режимом торможения в этом случае осуществляется также последовательным переводом главной рукоятки контроллера из 1-й в 16-ю позицию и перестановкой по позициям рукоятки тормозного барабана.

Рекуперативное торможение при параллельном соединении якорей осуществляется установкой рукоятки селективного барабана в положение «П». При этом происходят следующие изменения.

Прекращается питание провода 2 и, следовательно, катушек вентиля II, III, IV группового переключателя. Прекращается также питание провода 30 и включается провод 31, от которого через замкнутую блокировку ТК-Т, 31-3А получают питание I и IV катушки группового переключателя. Это вызывает его переход в положение параллельного соединения и замыкание блокировки 31А-28Д, что даёт питание катушкам контакторов 20 и 24 от провода 31. Контактors 20 и 24 замыкаются, включая стабилизирующие сопротивления $R_{61}-R_{62}$, $R_{63}-R_{64}$, $R_{71}-R_{72}$ и $R_{69}-R_{70}$. Управление режимом осуществляется, как и при предыдущих соединениях.

Цепи управления при аварийном режиме. Отключение какого-либо тягового двигателя или группы двигателей сопровождается размыканием блокировок ОМ в цепях проводов 1А-1Б, 6В-6Г, 6А-6Б, 10А-10 и замыканием блокировок в цепях проводов 4А-10А и 10А-1Б. При этом происходят следующие изменения включения контакторов при двигательном режиме:

а) контактор 47 включается с 17-й позиции главной рукоятки контроллера машиниста от провода 4 через блокировки КСП-СП-П, 4-4А, ОМ, 4А-10А и 10А-1Б и остаётся замкнутым до 36-й позиции;

б) катушка контактора 55 питания не получает, так как её цепь размыкается блокировкой ОМ, 6В-6Г;

в) питание катушек контакторов 40 и 46 начинается только с 17-й позиции от провода 4 через блокировки КСП-СП-П, 4-4А и ОМ, 4А-10А. На позициях с 1-й по 16-ю силовая цепь этими контакторами разорвана;

г) катушка контактора 49 получает питание с 28-й позиции, когда замкнута блокировка КСП-П, 6А-6Б.

При перемещении главной рукоятки с 17-й на 28-ю позицию происходит замыкание остатных контакторов согласно табл. 1. Переход на параллельное соединение двигателей происходит так же, как при нормальной работе схемы, лишь пусковые сопротивления группируются в две параллельные цепи. Средняя группа сопротивлений на 28-й позиции и далее выключена.

Схема управления электровоза ВЛ22м без электрического торможения дана на фиг. 35. В связи с отсутствием рекуперативного торможения схема управления значительно проще. В частности, сокращается значительное число блокировок контакторов.

Схема управления восьмисосного электровоза Н8*

Питание цепей управления. Цепи управления, подобно электровозу ВЛ22м, питаются от двух генераторов управления типа ДК-405К, а когда они не работают, — от аккумуляторной батареи типа 40-НКН-100 ёмкостью 100 а-ч.

Питание цепей управления осуществляется через выключатели управления 79 (80) (фиг. 36) типа ВУ221, установленные по одному в каждой кабине управления, и плавкие предохранители, смонтированные на панели управления типа ПУ-3А-1.

Управление генераторами тока и зарядкой аккумуляторной батареи на восьмисосном электровозе принципиально ничем не отличается от электровоза ВЛ22м.

Управление быстродействующим выключателем БВ1 цепи тяговых двигателей. Включением выключателя управления 79 (80) напряжение по проводу Н1 (Н2) подаётся к кнопкам «Песок» выключателя 201 (202), БВ1 выключателя 81 (82) и контактам контакторов главного и реверсивного валов контроллера машиниста.

При включении кнопки БВ1 от провода 348 через добавочное сопротивление 300 ом в цепи проводов 348-347 получают питание низковольтная катушка дифференциального реле 52 и катушка вентиля «Возврат БВ1». Однако добавочное сопротивление настолько ограничивает ток в этих катушках, что дифференциальное реле и вентиль «Возврат БВ1» не могут сработать. Благодаря этому блокировка 52 в проводах Н65-Н66 остаётся разомкнутой. При нажатии кнопки «Возврат БВ1» напряжение 50 в от кнопки БВ1 по проводу Н27 (Н28) через контактор контроллера машиниста, замкнутый только на нулевой позиции, и провод 347 подаётся на катушки вентиля «Возврат БВ1» и дифференциального реле 52.

Так как при включении кнопки «Возврат БВ1» добавочное сопротивление в проводах 348-347 закорачивается, катушки дифференциального реле 52 и вентиля «Возврат БВ1»

* Написано ниж. В. К. Калинин.

получают форсировку. Дифференциальное реле срабатывает, замыкается блокировка 52 в проводах *H65-H66* и подаётся напряжение на удерживающую катушку *БВ1* при тяговом режиме по цепи: провод *Э48*, блокировка тормозного переключателя *ТК1-М*, провод *H65*, блокировка 52, провод *H66*, удерживающая катушка *БВ1* и земля. Возбуждается удерживающая катушка *БВ1*.

Одновременно с возбуждением удерживающей катушки *БВ1* и форсировки возбуждения катушки вентилей «Возврат *БВ1*» осуществляется сближение якоря быстродействующего выключателя с его сердечником.

После прекращения нажатия кнопки «Возврат *БВ1*» она под воздействием пружины возвращается в первоначальное положение и в цепь катушек дифференциального реле 52 и вентилей «Возврат *БВ1*» вводится снова добавочное сопротивление 300 ом и уменьшается их ток. Однако уменьшенное значение тока в катушке дифференциального реле 52 является достаточным для удержания его якоря в притяннутом положении, при котором блокировка 52 в проводах *H65-H66* остаётся замкнутой.

При уменьшении тока в катушке вентилей «Возврат *БВ1*» якорь его не в состоянии удержаться в притяннутом состоянии и возвращается в первоначальное положение. При этом цилиндр привода сообщается с атмосферой, включается быстродействующий выключатель *БВ1* (замыкаются главные контакты), замыкаются все блокировки *БВ1* и на панелях измерительных приборов в кабинах управления загораются сигнальные лампы *БВ1*.

Параллельно блокировкам *ТК1-М* и 52 и удерживающей катушке *БВ1* подключено разрядное сопротивление *P136-P137*.

При рекуперативном торможении блокировка *ТК1-М* разомкнута и в цепь удерживающей катушки *БВ1* вводится блокировки быстродействующего выключателя *БВ2*, автоматических выключателей управления (*АВУ*) *113* и *89* и контакторов *40-2* и *40-1*. Назначение этих блокировок такое же, как и блокировки *АВУ123*, *АВУ124* и *63* электровоза *ВЛ22М* с рекуперативным торможением.

Дифференциальное реле 52 (типа Д-4) отрегулировано так, что при токе небаланса более 100 а и напряжении 50 в на катушке с добавочным сопротивлением якорь отпадает и размыкаются блокировки 52 в проводах *H65-H66*. Размыкание блокировки 52 вызывает разрыв цепи удерживающей катушки *БВ1* и отключение быстродействующего выключателя.

Управление при тяговом режиме. Прямое перемещение главной рукоятки контроллера. Для приведения электровоза в движение реверсивно-селективная рукоятка контроллера машиниста сдвигается в положение «Вперёд М» или «Назад М», после чего главная рукоятка переводится на 1-ю позицию. При этом замыкаются контакторы главного вала контроллера в цепи проводов *Э0*, *Н1(Н2)*, пятого сверху, *Э8*, *Э23* и *Э24* и контакторы реверсивно-селективного вала (если рукоятка находится, например, в положении «Вперёд М») в цепи проводов *Э1* (*Э2*), *Э3* и *Э6*.

От провода *Н1* (*Н2*) получают питание про-

вода *Э8*, *Э23* и *Э24* главного вала и провода *Э1* (*Э2*), *Э3* и *Э6* реверсивно-селективного вала контроллера. Провод *Э0* соединяется с землёй через верхний контактор главного вала контроллера и контактор тормозного вала, замкнутый на нулевой позиции. От провода *Э1* (*Э2*) возбуждаются катушки вентилей реверсоров вперёд *ВП1* и *ВП11*; от провода *Э3* — катушки вентилей тягового режима тормозных переключателей *ТК1-М* и *ТК11-М*; от провода *Э23* через блокировку второго группового переключателя *КСП11-С-СП* и провод *К29* напряжение подаётся к катушкам вентилей контакторов 6-2, 6-1, 11-2 и 5-1; от провода *Э24* через блокировку тормозного переключателя *ТК11-М* и провод *К30* возбуждаются катушки вентилей возврат реле перегрузок 65-1, 66-1, 65-2, 66-2 и реле максимального напряжения 64.

После поворачивания реверсоров в положение «Вперёд» и тормозных переключателей в положение тягового режима и замыкания блокировок *ВП11*, *ВП1* и *ТК1-М* от провода *Э1* создаётся цепь тока: блокировка реверсоров *ВП11* и *ВП1*, провод *Н3*, блокировка тормозного переключателя *ТК1-М*, провод *Н4*, блокировка быстродействующего выключателя *БВ1* и провод *К3*. Далее идёт ток по двум направлениям:

1) катушка вентилей сдвоенных контакторов 3-1 и 4-1 и земля через блокировку *ТК1-М*, провод *К6*, блокировку *ТК1-М*, провод *Н7*, блокировки *КСПО-С*, *КСП1-С-СП*, *КСП11-С-СП*, провод *Э0* и контакторы главного и тормозного валов, замкнутые на первой позиции главной рукоятки и нулевой позиции тормозной рукоятки;

2) катушка вентилей сдвоенных контакторов 3-2 и 4-2 и земля по цепи провода *К6*.

Включаются линейные контакторы 3-1, 4-1, 3-2 и 4-2, которые завершают образование замкнутой силовой цепи на 1-й позиции при последовательном соединении тяговых двигателей, так как с 1-й по 16-ю позицию ни одна из катушек вентилей групповых переключателей не возбуждена и они находятся в исходном положении, при котором замкнуты их контакторы 22-1, 25-1, 32-0, 22-2 и 25-2 (см. фиг. 5).

После включения контактора 4-1 и замыкания всех его блокировок, через блокировку 4-1 в проводах *Н7-Г* (см. фиг. 36) от провода *Н7* образуется вторая цепь земли катушек вентилей сдвоенных контакторов 3-1, 4-1 и 3-2, 4-2. Эта блокировка контактора 4-1 требует от машиниста некоторой задержки главной рукоятки контроллера на 1-й позиции, чтобы обеспечить правильную очередность срабатывания аппаратов и предотвратить перевод главной рукоятки на следующие позиции при незаконченном ещё процессе включения аппаратов.

После включения контактора 4-1 и восстановления реле перегрузок от провода *Э6* через блокировки групповых контакторов *КСПО-С*, *КСП1-С-СП* и *КСП11-С-СП*, провод *К18*, блокировки реле перегрузок тяговых двигателей 66-2, 65-2, 66-1 и 65-1, провод *Н30*, блокировку 4-1 и провод *К27* подаётся напряжение к катушкам вентилей контакторов 11-1, 12-1, 12-2, 5-2, 10-1, 7-1, 10-2 и 7-2.

Катушки вентилях этих контакторов не возбуждены, так как разомкнуты их цепи со стороны земли.

На 2-й позиции контроллера размыкаются контакторы в цепи проводов *Э0* и *Э24* и замыкается контактор в цепи провода *Э11*. Контакт *Э0* прерывает начальное соединение с землёй катушек вентилях двоянных контакторов *3-1*, *4-1* и *3-2*, *4-2*. Контакт *Э24* разрывает цепь питания катушек возврат реле перегрузок *65-1*, *66-1*, *65-2*, *66-2* и реле максимального напряжения *64*. Замкнувшийся контактор в цепи провода *Э11* соединяет с землёй катушку вентиля контактора *6-2*, которая находится под напряжением от провода *Э23*. Контакт *6-2* включает и закорачивает секцию пусковых сопротивлений *Р23-Р24* (см. фиг. 4). Пусковое сопротивление уменьшается на 6,9 ом и становится равным 18,57 ом.

На каждой последующей позиции со 2-й по 16-ю производится уменьшение пускового сопротивления как за счёт закорачивания его секций, так и соединения некоторых из них в параллельные цепи.

Порядок действия схемы при разгоне электровагона можно проследить по табл. 3.

В процессе разгона, когда напряжение на тяговых двигателях и введённом в их цепь пусковом сопротивлении второй половины электровагона станет больше 1 900 в, срабатывает реле пониженного напряжения *63*. Блокировка этого реле в цепи проводов *К18-К40* (см. фиг. 36) замкнёт цепь тока сигнальных ламп, указывающих машинисту на правильное действие схемы.

На 16-й позиции замыкаются контакторы главного вала контроллера в цепи проводов *Э9* и *Э11*. Контакт *Э9* замыкает цепь катушки вентиля контактора *12-1* со стороны земли, которая находится под напряжением от провода *Э6*. Контакт *12-1* включается и закорачивает секции пусковых сопротивлений *Р5-Р7* (см. фиг. 4). Контакт *Э11* замыкает цепь катушки вентиля контактора *6-2* со стороны земли, которая находится под напряжением от провода *Э23*. При включении контактора *6-2* закорачивается последняя группа пусковых сопротивлений *Р23-Р26*.

При переводе главной рукоятки на 17-ю позицию осуществляется переход на последовательно-параллельное соединение. При этом происходит размыкание контакторами главного вала контроллера цепи проводов пятого сверху *Э13*, *Э18*, *Э19*, *Э20*, *Э21*, *Э22* и выключение реостатных контакторов *7-1*, *10-1*, *11-1*, *5-2*, *7-2*, *10-2* (см. фиг. 7) и замыкание цепи проводов *Э5*, *Э7* и *Э24* (см. фиг. 36). Размыкание цепи провода пятого сверху прекращает питание провода *Э6*, что приводит к погасанию сигнальных ламп реле пониженного напряжения. Выключением реостатных контакторов вводятся в цепь тяговых двигателей пусковые сопротивления.

От провода *Э7* получают питание катушки двух вентилях нулевого группового переключателя *КСП-0*. Однако кулачковый вал группового переключателя не может сразу же начать вращаться, так как для входа сжатого воздуха в цилиндр привода, через включающий ventиль и для выхода воздуха из противо-

положного цилиндра через выключающий ventиль необходимо некоторое время и, кроме этого, кулачковый вал группового переключателя должен развить необходимое угловое ускорение. Поэтому индивидуальные реостатные контакторы успевают выключиться и ввести в цепь тяговых двигателей часть пусковых сопротивлений. После перехода нулевого группового переключателя в положение последовательно-параллельного соединения размыкаются его блокировки *КСПО-С* и замыкаются все блокировки *КСПО-СП* и *КСПО-СП-П*.

При замыкании блокировки *КСПО-СП-П* в проводах *Э5-Н11* снова через провод *К27* подаётся напряжение к катушкам вентилях контакторов *11-1*, *12-1*, *12-2*, *5-2*, *10-1*, *7-1*, *10-2* и *7-2* и восстанавливается питание сигнальных ламп реле пониженного напряжения *63*.

От провода *Э24*, так же как на 1-й позиции, через блокировку *ТК11-М* и провод *К30* возбуждаются катушки вентилях возврат реле перегрузки *65-1*, *66-1*, *65-2*, *66-2* и реле максимального напряжения *64*. Это предусмотрено для возможности восстановления их в случае срабатывания на позициях 17—27-й.

На позициях с 17-й по 26-ю включительно происходит реостатный пуск электровагона на последовательно-параллельном соединении тяговых двигателей. При этом осуществляется включение и выключение реостатных контакторов в соответствии с развёрткой кулачковых шайб главного вала контроллера (табл. 3).

На 27-й позиции замыкаются контакторы контроллера в цепи проводов *Э10*, *Э12* и *Э14*. От провода *Э10* получают питание катушки вентилях контакторов *8-1* и *8-2*. Эти контакторы включаются и дублируют обходные цепи секций сопротивлений *Р5-Р8* и *Р27-Р30*, подготавливая их для работы на параллельном соединении. Контакт *Э12* и *Э14* соединяют катушки вентилях контакторов *6-1* и *11-2* с землёй. Контакт *Э14* включает и закорачивает группы пусковых сопротивлений *Р23-Р26* и *Р27-Р30*.

При переводе главной рукоятки на 28-ю позицию происходит переход на параллельное соединение. При этом контакторами главного вала контроллера размыкаются цепи проводов *Э5*, *Э11*, *Э12*, *Э13*, *Э14*, *Э16*, *Э17*, *Э18*, *Э19*, *Э20*, *Э21*, *Э22*, *Э23*.

Размыкание цепи проводов приводит к прекращению питания сигнальных ламп реле пониженного напряжения и выключению реостатных контакторов *5-1*, *6-1*, *7-1*, *10-1*, *11-1*, *5-2*, *6-2*, *7-2*, *10-2*, *11-2*, *12-2*, которые закорачивали все секции пусковых сопротивлений.

Этим выключением реостатных контакторов подготавливаются пусковые сопротивления для работы на реостатных позициях параллельного соединения и вводятся секции сопротивлений *Р1-Р4* и *Р23-Р26* (см. фиг. 12) в цепи тяговых двигателей. На 28-й позиции замыкаются контакторы в цепи проводов *Э4* и *Э24* (см. фиг. 36). От провода *Э4* возбуждаются катушки вентилях первого и второго групповых переключателей *КСП1* и *КСП11* по цепи: провод *Э4*, нормально замкнутые блокировки контакторов аварийного режима *0-1* и *0-2*, провод *Н26*, блокировки контакто-

ров 8-1 и 8-2, провод *K16*, катушки вентиля групповых переключателей и земля. Несмотря на возбуждение катушек вентиля, контакторы первого и второго групповых переключателей, так же как и нулевого группового переключателя, при переходе с 16-й на 17-ю позицию начинают переключаться после небольшой выдержки времени. За счёт этого фиксируется 1-е переходное положение.

От провода *Э24*, так же как на 1-й и 17-й позициях, возбуждаются катушки вентиля реле перегрузки и реле максимального напряжения *Б4*.

После перехода групповых переключателей *КСП* и *КСП/* в положение параллельного соединения тяговых двигателей размыкаются все их блокировки *КСП-СП* и *КСП/*-*СП* и замыкаются блокировки *КСП-П* и *КСП/*-*П*. После замыкания этих блокировок подаётся напряжение от провода *Э4* к проводам *K17* и *K29*, с которыми соединены катушки вентиля всех реостатных контакторов.

Одновременно от провода *Э4* восстанавливается питание сигнальных ламп реле пониженного напряжения. Эти лампы гаснут в начале и загораются в конце переключения тяговых двигателей, указывая машинисту на правильную работу аппаратов и схемы.

На 29-й позиции замыкается контактор в цепи провода *Э12*, соединяя с землёй цепь катушки вентиля контактора *Б-1*. Контактор включает и закорачивает секцию сопротивления *P1—P2*, чем уменьшается общее пусковое сопротивление до 0,986 ом.

При перемещении главной рукоятки с 29-й на последующие позиции происходит закорачивание секций пусковых сопротивлений и соединение их в параллельные цепи, что приводит к дальнейшему уменьшению пускового сопротивления согласно табл. 3.

На 34-й позиции в результате соединения провода *Э16* с землёй включается контактор *12-2*, блокировка которого в цепи проводов *Н11—Н220* создаёт второй путь земли для катушки вентиля контактора *Б-2*. Поэтому на следующей, 35-й, позиции размыкание контактора в цепи провода *Э11*, прерывающего первую цепь земли катушки вентиля контактора *Б-2*, не приводит к его выключению. Этот контактор выключается лишь в результате замыкания контактора в цепи провода *Э18*, после того, когда включится контактор *5-2* и своей блокировкой в цепи проводов *Н220—Н25* прервёт вторую цепь земли катушки вентиля контактора *Б-2*. Таким образом, при переходе с 34-й на 35-ю позицию контактор *Б-2* выключается только после включения контактора *5-2*. Это сделано для того, чтобы в случае замедленного включения контактора *5-2* не могло бы произойти временное увеличение пускового сопротивления за счёт введения в его параллельную цепь секции реостата *P23—P24* (при выключении контактора *Б-2* до включения контактора *5-2*).

На 37-й позиции замыкаются контакторы в цепи проводов *Э11*, *Э12*, *Э13* и *Э14* и соединяются катушки вентиля реостатных контакторов *Б-2*, *Б-1*, *11-1* и *11-2* с землёй и выключается контактор в цепи провода *Э10*. Контакторы *Б-2*, *Б-1*, *11-1* и *11-2* включают и полностью закорачивают пусковые сопротивления в цепи тяговых двигателей, а управ-

нительные контакторы *8-1*, *8-2* и *37-2* выключаются. Для сохранения цепи питания катушек вентиля групповых переключателей *КСП* и *КСП/* от провода *Э4* после выключения на 37-й позиции контакторов *8-1* и *8-2* их блокировки в цепи проводов *Н26* и *K16* на 36-й позиции шунтируются блокировкой контактора *7-1*.

Управление ослаблением поля тяговых двигателей. При установке тормозной рукоятки (от себя) на первую ступень ослабления поля *ОП-1* замыкается контактор тормозного вала в цепи провода *Э31* и подаётся напряжение на катушки вентиля двоянных контакторов *13-1*, *213-1* и *13-2*, *213-2* через блокировки отключателей двигателей *ОМ1* и *ОМ/*. Контакторы включаются и подключают соединённые последовательно сопротивление шунтировки поля и обмотку индуктивного шунта параллельно обмоткам возбуждения каждой пары тяговых двигателей. При установке тормозной рукоятки на ступени ослабления поля *ОП-1/*, *ОП-1/1* и *ОП-1/4* замыкаются контакторы соответственно в цепи проводов *Э30*, *Э29* и *Э28* и возбуждаются катушки вентиля двоянных контакторов *14-1*, *214-1* и *14-2*, *214-2*; *15-1*, *215-1* и *15-2*, *215-2* и *16-1*, *216-1* и *16-2*, *216-2*.

Обратное перемещение главной рукоятки. Индивидуальные контакторы и групповые переключатели имеют разное время срабатывания, поэтому, чтобы обеспечить при обратном перемещении главной рукоятки строгую последовательность включения и выключения контакторов, в схему управления вводится ряд блокировок.

При перемещении рукоятки контроллера от 37-й до 28-й позиции включаются и выключаются только индивидуальные контакторы, поэтому специальных блокировок обратного перехода в схеме не предусмотрено.

При переходе с 28-й на 27-ю позицию сначала должны установиться в положение последовательно-параллельного соединения первый и второй групповые переключатели, а затем для закорачивания пусковых сопротивлений должны включиться индивидуальные контакторы. Для обеспечения этой последовательности срабатывания аппаратов в схеме предусмотрены блокировки: *КСП-С-СП* в цепи проводов *Н11—K19* и *КСП/*-*С-СП* в цепи проводов *K19—K18* и *Э23—K29*. Эти блокировки обеспечивают замыкание цепи тока катушек вентиля индивидуальных реостатных контакторов (от проводов *Э5* и *Э23*) только после того, когда с помощью групповых переключателей закончится переключение тяговых двигателей на последовательно-параллельное соединение.

При отсутствии в схеме указанных блокировок индивидуальные контакторы, имеющие малое время срабатывания, включились бы до переключения групповых переключателей, т. е. тогда, когда тяговые двигатели были соединены ещё параллельно, на некоторое время образовалась бы 37-я позиция. Естественно, что это привело бы к недопустимым броскам тока двигателей и силы тяги электровоза.

Для предотвращения разрыва цепи тяговых двигателей *1-1/* и *V-VI* контакторами *8-1* и *8-2* при переходе с 28-й на 26-ю или нижестоящие позиции, минуя 27-ю позицию, в цепи катушки вентиля указанных контакторов

предусмотрены параллельно соединённые блокировки групповых переключателей *КСП-I* и *КСП-II*. Эти блокировки дают возможность выключиться контакторам 8-1 и 8-2 только после того, когда в процессе переключения тяговых двигателей включатся контакторы групповых переключателей 22-1 и 22-2. Размыкание цепи тяговых двигателей является недопустимым как по непригодности для этого одного контактора (8-1 или 8-2), так и по причине прекращения силы тяги частью двигателей.

При переходе с 17-й на 16-ю позицию задержку включения индивидуальных контакторов до окончания переключения тяговых двигателей на последовательное соединение осуществляет блокировка нулевого группового контактора *КСПО-С* в цепи проводов 36-Н11.

При быстром сбрасывании рукоятки контроллера с позиций 37—28-й на позиции 16—1-ю с целью задержки переключения нулевого группового переключателя до установки первого и второго групповых переключателей в положение последовательно-параллельного соединения в схеме предусмотрена блокировка контактора 8-2, которая соединяет находящийся под напряжением с 1-й по 37-ю позицию провод 38 с катушками клапанов нулевого группового переключателя. При этом катушка клапана контактора 8-2 питается от того же провода 38 через параллельно соединённые блокировки *КСП-I* и *КСП-II*, которые размыкаются лишь в самом конце переключения первого и второго групповых переключателей в положение последовательно-параллельного соединения тяговых двигателей.

Управление при отключённом тяговом двигателе. При отключении ножами отключателя двигателей какого-либо тягового двигателя действие схемы цепи управления с 1-й по 16-ю позицию не изменяется.

Действие цепи управления при переходах с последовательного на последовательно-параллельное и с последовательно-параллельного на параллельное соединение тяговых двигателей зависит от номера отключённого двигателя. Так, например, при отключении одного из двигателей I, II, III или IV (т. е. двигателей первой половины кузова) и переходе с 16-й на 17-ю позицию после поворачивания кулачкового вала группового переключателя *КСПО* в положение последовательно-параллельного соединения тяговых двигателей и замыкания блокировок *КСПО-СП* образуется следующая цепь тока: контактор контроллера в цепи провода 323, блокировка группового контактора *КСПО-СП-II* в проводах 323-Н20, провод Н20, блокировка отключателя двигателей *ОМ1*, провод К11, блокировка отключателя двигателей *ОМII*, провод Н21, катушка клапана контактора 0-2 аварийного режима, провод Н221, блокировка второго группового контактора *КСП-II-С-СП* и земля. Включается контактор 0-2, который закорачивает тяговый двигатель VI (см. фиг. 17, а).

На позициях с 17-й по 27-ю действие схемы цепи управления не отличается от обычного режима.

При переходе с 27-й на 28-ю позицию

прекращается питание провода 323 (см. фиг. 36) и выключается контактор 0-2, который вводит тяговый двигатель VI в цепь двигателей V, VII и VIII. С выключением контактора 0-2 замыкается его блокировка в проводах 34-К5 и от провода 34 подаётся напряжение на катушки клапанов первого и второго групповых переключателей. Блокировка контактора 0-2 в проводах 34-К5 предотвращает возможность попадания двигателя V под увеличенное напряжение при закороченном двигателе VI и поворачивании групповых переключателей в положение параллельного соединения.

С 28-й по 37-ю позицию схема цепи управления действует так же, как и при обычном режиме.

Блокировки *КСП-I-С-СП* и *КСП-II-С-СП* (в проводах Н20-Н222 и Н221-Г) в цепи катушек клапанов контакторов 0-1 и 0-2 аварийного режима служат для обеспечения последовательности срабатывания контакторов во время обратного перехода с 28-й на 27-ю позицию и предотвращения ненормального повышения напряжения на двигателях I и V, которое имело бы место при закорачивании двигателей II или VI до переключения первого и второго групповых переключателей в положение последовательно-параллельного соединения.

Если же отключён один из тяговых двигателей второй половины кузова, тогда замыкается блокировка отключателя двигателей *ОМII* в проводах К12-Г и при переходе с 16-й на 17-ю позицию от провода 323 через блокировки *КСПО-СП-II*, *КСП-I-С-СП* и *ОМ1* возбуждается катушка клапана контактора 0-1 аварийного режима, что вызывает закорачивание двигателя II (см. фиг. 17, б).

Управление при рекуперативном торможении. Параллельное соединение. При переводе реверсивно-селективной рукояткой из положения «Вперёд М» в положение «Вперёд П» замыкаются контакторы реверсивно-селективного вала в цепи проводов Н1 (Н2), 37, 38, 34, 310 и размыкаются контакторы 33 и 36. При этом контактор в цепи провода 31 (32) остаётся замкнутым. Размыкание контактора в цепи провода 33 преследует цель заранее прервать питание катушек клапанов *ТК1-М* и *ТКII-М* тормозных переключателей. От провода Н1 (Н2) через контактор реверсивно-селективного вала напряжение подаётся на провода 37, 38, 34 и 310. От провода 37 возбуждаются катушки клапанов группового переключателя *КСПО*, а от провода 310 — катушки клапанов контакторов 8-2 и 8-1. Контактors 8-2 и 8-1 включаются, замыкаются их блокировки и от провода 34, через блокировки 0-2, 0-1, 8-1 и 8-2 возбуждаются катушки клапанов групповых переключателей *КСП-I* и *КСП-II*. Кулачковые валы групповых переключателей поворачиваются в следующие положения: нулевого — в последовательно-параллельное, а первого и второго — в параллельное соединение. Тяговые двигатели переключаются на параллельное соединение и замыкаются все блокировки *КСПО-СП-II*, *КСП-I* и *КСП-II-П* групповых переключателей. После замыкания этих блокировок от провода 34 подаётся напряже-

ние на провод *K18* и катушки вентилей *TKI-T* и *TKII-T* тормозных переключателей.

После установки реверсивно-селективной рукоятки в положение «Вперёд П» перемещают тормозную рукоятку с нулевой на подготовительную позицию *02*. При этом замыкаются контакторы тормозного вала в цепи проводов *Э30*, *Э28*, *Э27*, *Э26*. Провода *Э27* и *Э28* получают питание, а провод *Э26* соединяется с землёй. Одновременно за счёт размыкания четвёртого снизу контактора заранее прерывается цепь земли провода *Э0*. После соединения провода *Э26* с землёй возбуждаются катушки вентилей *TKI-T* и *TKII-T*. Тормозные переключатели устанавливаются в положение тормозного режима, образуя для тяговых двигателей каждой половины электровоза самостоятельные схемы независимого возбуждения обмоток главных полюсов от генераторов (возбудителей). Одновременно все блокировки тормозных переключателей *TKI-M* и *TKII-M* размыкаются, а блокировки *TKI-T* и *TKII-T* замыкаются. В результате замыкания блокировки *TKII-T* в проводах *Э28-K30* возбуждаются катушки возврат реле перегрузок *65-1*, *66-1*, *65-2*, *66-2* и реле максимального напряжения *64*. Разомкнувшаяся блокировка *TKI-M* в проводах *Э48-H65* вводит в цепь удерживающей катушки быстродействующего выключателя главной цепи *BB1* следующие замкнутые блокировки: быстродействующего выключателя вспомогательной цепи *BB2*, автоматического выключателя управления (*ABY*) *113* (установленного на воздухопроводе, идущем к тормозным цилиндрам второй половины электровоза), электромагнитных контакторов *40-2* и *40-1* и автоматического выключателя управления (*ABY*) *89* (установленного на воздухопроводе, идущем к тормозным цилиндрам первой половины электровоза).

При установке главной рукоятки контроллера на 1-ю позицию замыкаются контакторы главного вала в цепи проводов *Э0*, *H1* (*H2*), пятого сверху, *Э8*, *Э23* и *Э24*. В результате этого образуется цепь тока: провод *H1* (*H2*), контактор главного вала контроллера, контактор тормозного вала в цепи провода *Э30*, провод *Э30* блокировки тормозных переключателей *TKI-T* и *TKII-T*, провод *H35*, блокировка быстродействующего выключателя *BB1*, провод *H36*, параллельно соединённые катушки электромагнитного контактора *74* (низковольтного), промежуточных реле *103*, *102* и земля. Контакт *74* включается и замыкает цепь тока обмоток независимого возбуждения генераторов (возбудителей). Путь тока при этом следующий: провод *Э27*, сопротивление реостата *r1—r14*, провод *Э46*, секция реостата *r14—r15*, провод *H32*, контактор *74*, провод *H33*, обмотки независимого возбуждения генераторов (см. фиг. 4) и земля. Одновременно замкнувшаяся блокировка контактора *74* (в проводах *K18-H4*) подаёт напряжение от провода *Э4* через провод *K18* на катушки вентилей сдвоенных контакторов *3-1* и *4-1*, *3-2* и *4-2*, *1-1* и *2-1*, *1-2* и *2-2* (см. фиг. 36). Однако катушки вентилей этих контакторов не возбуждены, так как их цепь со стороны земли разомкнута блокировкой *62* реле рекуперации в проводах *H5-Э25* и кон-

тактором в цепи провода *Э25* тормозного вала.

Включившиеся промежуточные реле *102* и *103* своими блокировками соединяют провода *Э13*, *Э19*, *Э12*, *Э20* и *Э14*, *Э21*, *Э11*, *Э22* с проводом *H31*, подготавливая цепь земли катушек вентилей контакторов *6-2*, *6-1*, *11-1*, *11-2*, *10-1*, *7-1*, *10-2* и *7-2*.

После перевода тормозной рукоятки контроллера с позиции *02* на 1-ю позицию замыкается контактор тормозного вала в цепи провода *Э25*, через который в случае замкнутой блокировки реле рекуперации *62* образуется цепь земли катушек вентилей сдвоенных контакторов *3-1* и *4-1*, *3-2* и *4-2*, *1-1* и *2-1*, *1-2* и *2-2*.

Замкнувшиеся блокировки контактора *4-1* в проводах *H31* — земля и *H30-K27* приводят к включению контакторов *6-2*, *6-1*, *11-1*, *11-2*, *10-1*, *7-1*, *10-2* и *7-2*. Таким образом, тяговые двигатели подключаются к напряжению контактной сети и закорачиваются все секции пусковых сопротивлений. Если якорь реле рекуперации притянут под действием превалярующих ампер-витков сетевой катушки, то замыкание контактора в цепи провода *Э25* на 1-й позиции тормозной рукоятки не приводит к сбору схемы рекуперативного торможения. На 1-й позиции тормозной рукоятки замыкается контактор в цепи провода *Э28* и прерывается цепь питания катушек возврат реле перегрузок *65-1*, *66-1*, *65-2*, *66-2* и реле максимального напряжения *64*.

Для того чтобы собралась схема рекуперативного торможения, необходимо постепенно передвигать тормозную рукоятку на 2-ю, 3-ю и следующие позиции.

На 2-й позиции замыкается контактор в цепи провода *Э33*, которым закорачивается секция сопротивления *r1-r2* (2,35 ом) в цепи обмоток независимого возбуждения генераторов. За счёт возрастания тока в этих обмотках увеличивается магнитный поток и э. д. с. генераторов. Это приводит к возрастанию тока в обмотках возбуждения тяговых двигателей, а следовательно, и к увеличению их магнитного потока и э. д. с. В результате возрастут ток в двигательной катушке реле рекуперации и её ампер-витки, действующие, как указывалось, против ампер-витков сетевой катушки.

На 3-й позиции замыкаются контакторы в проводах *Э34* и *Э29*. От провода *Э29* через блокировки первого тормозного переключателя *TKI-T* и быстродействующего выключателя *BB1* возбуждаются катушки вентилей электрического торможения *122* и *123*. Кроме этого, от провода *Э29* возбуждаются катушки вентилей *15-1* и *215-1*, *15-2* и *215-2* контакторов ослабления поля *ОП-III*. Контакторм провода *Э34* закорачивается секция сопротивления *r2—r3* (2,12 ом), в результате этого увеличиваются э. д. с. тяговых двигателей и ампер-витки сетевой катушки реле рекуперации *62*. Принципиально то же самое происходит и на последующих позициях тормозной рукоятки.

При высокой скорости движения поезда схема рекуперативного торможения собирается на начальных позициях контроллера. Если же скорость невелика, например, около 50 км/час, то сбор схемы произойдёт на од-

ной из последних позиций тормозной рукоятки.

Во всех случаях, вне зависимости от номера позиции, когда э. д. с. тяговых двигателей увеличится до значения близкого к величине напряжения в контактной сети и превалярующее действие ампер-витков сетевой катушки реле рекуперации станет настолько незначительным, что якорь реле отпадёт и замкнётся блокировка 62 в цепи проводов *H5-Э25*, сперва включаются контакторы 4-1, 3-2, 4-2, 1-2, 2-1 и 2-2, подсоединяющие пусковые сопротивления к напряжению контактной сети, а затем после замыкания блокировок контактора 4-1 закорачиваются все пусковые сопротивления контакторами 6-2, 6-1, 11-1, 11-2, 10-1, 7-1, 10-2 и 7-2.

Сбор схемы рекуперативного торможения сопровождается возникновением небольшого тормозного или тягового тока (до 50—100 а). Направление тока в обмотках якорей зависит от того, что было больше в момент включения реле рекуперации э. д. с. тяговых двигателей или напряжение в контактной сети.

При дальнейшем передвижении рукоятки тормозного контроллера на вышестоящие позиции э. д. с. тяговых двигателей, продолжает увеличиваться, а следовательно, растёт ток рекуперации и тормозная сила.

При переходе на 6-ю тормозную позицию замыкается контактор в цепи провода *Э37* и возбуждается катушка контактора 75 по цепи: провод *Э37*, блокировка промежуточного реле 460 (катушка этого реле получит питание от провода *K18* через одну из четырёх блокировок реле боксования), провод *H179*, блокировки реле перегрузок 65-1 и 66-1, провод *H181*, блокировка реле максимального напряжения 64, провод *H182*, катушка электромагнитного контактора 75 (низковольтная), провод *K15*, блокировки реле перегрузок 65-2 и 66-2 и земля. Включившийся контактор 75 закорачивает секцию сопротивления *r14-r15* (0,3 ом) в цепи обмоток независимого возбуждения генераторов (возбудителей) После включения контактора 75 выключается его блокировка в цепи проводов *Э57-K24*, которая разрывает цепь питания катушки контактора 320. Контактор 320 выключается и в цепь обмоток независимого возбуждения двигателей мотор-генераторов вводятся сопротивления *P175-P176* и *P175-P177*. Осуществляется ослабление поля и возрастание скорости этих двигателей. Увеличивается э. д. с. генераторов (возбудителей), в результате чего возрастают токи возбуждения и рекуперации тяговых двигателей и зависящая от них тормозная сила электровоза.

П о с л е д о в а т е л ь н о - п а р а л л е л ь н о е с о е д и н е н и е. При рекуперативном торможении на последовательно-параллельном соединении реверсивно-селективная рукоятка устанавливается в положение «Вперёд СП», на котором замыкаются контакторы реверсивно-селективного вала в цепи проводов *Э1 (Э2)*, *H1 (H2)*, *Э5*, *Э7* и *Э8*. Порядок сбора схемы такой же, как и при параллельном соединении. Изменение схемы управления заключается в следующем: катушки вентиля первого и второго групповых контакторов не возбуждаются (провод *Э4* не получает питания), катушки вентиля ре-

остатных контакторов 6-2, 6-1, 11-2, 5-1 получают питание от провода *Э23* (вместо провода *Э-4*), катушки вентиля реостатных контакторов 11-1, 12-1, 12-2, 5-2, 10-1, 7-1, 10-2 и 7-2, сдвоенного контактора 3-1 и 4-1, 3-2 и 4-2 и тормозных переключателей *ТК1-Т* и *ТК11-Т* получают питание от провода *Э5* через блокировки групповых переключателей *КСП0-СП-П*, *КСП1-С-СП* и *КСП11-С-СП*.

П о с л е д о в а т е л ь н о е с о е д и н е н и е. При рекуперативном торможении на последовательном соединении реверсивно-селективная рукоятка устанавливается в положение «Вперёд С», на котором замыкаются контакторы реверсивно-селективного вала, в цепи проводов *Э1 (Э2)*, *H1 (H2)* и *Э6*. Порядок сбора схемы такой же, как при последовательно-параллельном и параллельном соединении тяговых двигателей. Изменение схемы управления по сравнению со схемой последовательно-параллельного соединения сводится к следующему: катушки вентиля нулевого группового контактора *КСП0* не возбуждаются (провод *Э7* не получает питания), катушки вентиля реостатных контакторов (соединённые с проводом *K27*), сдвоенных контакторов 3-1 и 4-1, 3-2 и 4-2 и тормозных переключателей получают питание от провода *Э6* через блокировки групповых переключателей *КСП0-С*, *КСП1-С-СП* и *КСП11-С-СП*.

Кроме этого, при рекуперативном торможении на последовательном соединении катушка вентиля сдвоенного контактора 3-2, 4-2 соединяется с землёй не через блокировку реле рекуперации 62, а по цепи: блокировка нулевого группового переключателя, *КСП0-С*, провод *H6*, блокировка первого тормозного переключателя *ТК1-Т*, провод *Э26*, контактор тормозного вала контроллера и земля. Таким образом, контакторы 3-2 и 4-2 включаются до срабатывания реле рекуперации на позиции тормозной рукоятки 0-2. Это необходимо для того, чтобы двигательная катушка реле рекуперации (с добавочным сопротивлением *P73-P74*) могла бы находиться под напряжением, равным сумме э. д. с. всех восьми последовательно соединённых тяговых двигателей. Следовательно, под контролем реле рекуперации на последовательном соединении находятся только сдвоенные контакторы 3-1 и 4-1.

Действие схемы управления при рекуперативном торможении на последовательном соединении такое же, как на последовательно-параллельном и параллельном соединении двигателей.

Схемы управления электро-секций C^P и C_3^P

Питание цепей управления осуществляется от шин, смонтированных на панели управления *ПУ-10А* (C_3^P) или распределительном щите *РЩ* (C^P). Напряжение 50 в подаётся к шинам либо от генератора постоянного тока (при замкнутом реле обратного тока), либо от аккумуляторной батареи (при включённом рубильнике и выключенном реле обратного тока), либо одновременно от генератора и аккумуляторной батареи (при замкнутом реле обратного тока и включённом рубильнике).

При этом, если напряжение батареи меньше напряжения генератора, последний осуществляет также и подзаряд аккумуляторной батареи.

Плюсовая шина соединяется с секционными проводами 15 и 16, от которых через выключатель управления ВУ напряжение подводится к трём параллельным цепям (фиг. 37):

1) через предохранитель проводом В к кнопке «Восстановление РП»;

2) через предохранитель и замкнутый контакт этой кнопки на контакт блокировки безопасности контроллера машиниста проводом КВ,

3) помимо предохранителя, на провод 22, который в схеме управления служит для питания подъёмных катушек реле ускорения РУ и катушек вентилях реостатного контроллера и обеспечивает переключения реостатного контроллера на 16-ю позицию после отключения контроллера машиниста и, кроме того, для питания вентилях переключателя напряжения.

От тех же проводов 15 (16), помимо ВУ, питаются сигнальные лампы: зелёные (через блокировки реле РП1 и РП3) и жёлтые (через блокировки реле РП2 и РП4). Эти лампы загораются при срабатывании и невосстановлении соответствующих реле.

Восстановление реле перегрузки РП осуществляется кнопкой «Восстановление РП», дающей возбуждение катушкам восстановления РП1-РП4 по поезвному проводу 7. Одновременно кнопка разрывает цепь провода КВ, подводящего питание к контроллеру машиниста.

Минусовая шина соединяется с поездным проводом 30.

Питание катушек аппаратов осуществляется через контроллер машиниста, причём положительный сегмент контроллера питается по проводу КВ, а отрицательный — по проводу 30.

Цепи управления при работе на тяговом режиме начнут собираться после включения ВУ, установки съёмной реверсивной рукоятки контроллера машиниста в положение «Вперёд» или «Назад» и главной рукоятки в одно из ходовых положений (фиг. 37 и 38).

I положение — маневровое. При первом положении контроллера машиниста напряжение по проводу КВ подаётся на его главный положительный сегмент. Одновременно отрицательный сегмент контроллера соединяется с проводом 30. Таким образом, обеспечивается подведение обоих полюсов тока управления к катушкам аппаратов.

Двойное размыкание питания цепей управления в контроллере предусматривается для предотвращения аварийных случаев от постороннего питания этих цепей при некоторых неисправностях.

От главного положительного сегмента по проводу 8А получает питание соответствующий палец реверсивного барабана контроллера машиниста.

Через сегменты реверсивного барабана «Вперёд» или «Назад» по поездным проводам 11 или 12 и разьединитель управления РУМ напряжение подводится к соответствующим катушкам вентилях реверсоров

поезда. С отрицательным полюсом катушки соединяются через провод 9А, контакты РУМ, поездной провод 9, отрицательный сегмент контроллера машиниста и провод 30. Этим вызывается постановка реверсоров в необходимое положение.

От положительного сегмента контроллера получит также питание поездной провод 2, от которого через РУМ, блокировки промежуточного реле РР1 и реле перегрузки РП1-РП4 возбуждаются катушки вентилях линейных контакторов ЛК1, ЛК2. Имеющаяся в их цепи блокировка РК1 исключает возможность повторного замыкания контакторов после хотя бы кратковременного их отключения до того, как реостатный контроллер не встанет в исходное положение. После замыкания линейных контакторов ЛК3 и ЛК4 питание катушек ЛК1 и ЛК2 поддерживается прямой блокировкой ЛК3.

Замыкание контакторов ЛК1 и ЛК2 вызывает возбуждение катушек вентилях линейных контакторов ЛК3, ЛК4 от 11 или 12 проводов. От провода 11В осуществляется питание катушки М1-2 вентиля мостовых контакторов.

Следовательно, на первом положении контроллера машиниста оказываются включёнными все линейные и мостовые контакторы.

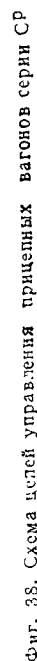
На этом же положении от пальца контроллера 8А поступает питание на красную сигнальную лампу, включающуюся через поездной провод 8 и обратную блокировку контактора ЛК3.

Кратковременная вспышка лампы при включении контролирует работу линейных контакторов. Её длительное горение сигнализирует о срабатывании защиты.

II положение — автоматический пуск при последовательном соединении тяговых двигателей. На этом положении дополнительно от положительного сегмента контроллера машиниста получает питание поездной провод 1. От этого провода через блокировку РК1-7, 9-15, контакт РУ, блокировку ЛК3 и замкнутые контакты переключателя вентилях ПБ1 и ПБ3 получает питание ventиль реостатного контроллера РК1 или РК11. Возбуждение одного из них вызывает поворот реостатного контроллера на одну ступень. Это сопровождается размыканием контакта ПБ1 при одновременном замыкании контакта ПБ2. В результате питание вентиля РК1 (или РК11) переключается с провода 1А на провод 22А, в цепи которого включена подъёмная катушка РУ. Эта катушка усиливает действие силовой катушки РУ, чем повышается чёткость работы реле. В конце поворота реостатного контроллера на новую позицию контакт переключателя вентилях вновь разомкнётся, контакт ПБ1 замкнётся и контакт ПБ3 переключится на другой ventиль. Этим подготавливается переход на следующую ступень, что будет возможно при снижении тока силовой цепи до величины, при которой замкнётся контакт РУ, 1Б-1В.

Повторные переключения таким путём проходят до тех пор, пока не будет достигнута ходовая позиция 7.

На 7-й позиции замкнётся контакт РК7, 15 в цепи регулирующей катушки РУ, что даст ей питание от провода 2А через дополни-



тельное сопротивление. Это усиливает поток, создаваемый силовой катушкой, и вызывает снижение тока отпадания *РУ* до величины, требуемой при переходе на ослабленное поле. В остальном предыдущий порядок переключения *РК* сохраняется.

Одновременно от провода *1А* получают питание катушки клапанов контакторов шунтировки поля *Ш1-2*, *Ш3-4*. Переход на 8-ю позицию сопровождается размыканием контакта *РК7*, *15*, т. е. выключением регулирующей катушки *РУ*. Размыкается также и контакт *РК1-7*, *9-15*. Этим прекращается питание переключателя клапанов *ПК* через контакт *РУ*, *1Б-1В*.

Следовательно, реостатный контроллер фиксируется только на 8-й позиции, что соответствует последовательному соединению тяговых двигателей при ослабленном поле. Для получения полного поля после выхода на 8-ю позицию следует рукоятку контроллера перевести обратно в I положение, в результате чего снимается питание с провода *1*.

III положение — автоматический пуск при параллельном соединении тяговых двигателей. На этом положении дополнительно от положительного сегмента контроллера машиниста получает питание поездной провод *3*. От него через блокировочный контакт реостатного контроллера *РК8* напряжение подводится к проводу *1Б*, что определяет такую же последовательность работы схемы, как и на предыдущем положении контроллера машиниста. Именно при снижении тока в силовой цепи контактор *РУ* замкнется и произойдет переключение *РК* с 8-й на 9-ю позицию. При этом размыкаются контакторы ослабления поля *Ш1-2* и *Ш3-4*, так как разомкнется блокировка *РК8* в цепи проводов *1И-9А*. В результате размыкания блокировки *РК1-8* в цепи проводов *1ИМ-9А* прекращается питание катушек мостовых контакторов *М1* и *М2*; вследствие замыкания контакта *РК1-7*, *9-15* восстанавливается питание цепи от провода *1А*. Размыкание на 9-й позиции контакта *РК8* в цепи проводов *3А-1Б* прекращает питание аппаратов от провода *3*.

В цепи регулирующей катушки реле ускорения замыкается контакт *РК9-15*, что при замкнутом контакте *Н 1509* (т. е. при работе при напряжении в контактной сети 1500 в) даст питание регулирующей катушке *РУ* через дополнительные сопротивления, обеспечивающие такой поток этой катушки, при котором достигается снижение тока отпадания реле на 12—15%. Это необходимо в связи с уменьшением числа переходных реостатных ступеней.

Работа привода реостатного контроллера регулируется так же, как и на предыдущем положении контроллера машиниста, до 16-й позиции, на которой размыкается блокировка *РК1-7*, *9-15* в цепи проводов *1А-1Б*. Это вызывает прекращение поворота реостатного контроллера. На позиции 15-й вновь замкнется блокировка *РК-7*, *15* в проводах *2М-9А*, закоротив часть последовательного сопротивления регулирующей катушки *РУ*. Это вызывает уменьшение тока срабатывания *РУ* до величины, заданной для перехода на ослабленное поле. Однако ослабления поля не произойдет до тех пор, пока рукоятка кон-

троллера машиниста не будет поставлена на IV положение.

При переходе на 15-ю позицию *РК* размыкаются блокировки *РК9-15* и *РК7-15* в цепи регулирующей катушки *РУ*. Замыкается блокировка *РК16* в цепи провода *5*, подготовляющая переход на ослабленное поле. Кроме того, размыкается блокировка *РК1-15* в цепи провода *6*, что исключает возможность перехода из 16-й на 1-ю позицию *РК* ручным пуском.

IV положение — ослабление поля тяговых двигателей.

На этом положении отрицательный сегмент контроллера машиниста и провод *9* соединяются с поездным проводом *5*, через который замыкается цепь катушек клапанов *Ш1-2*, *Ш3-4*, питающихся от провода *1*. Ослабление поля может быть снято путем обратного перевода рукоятки контроллера машиниста в III, II или I положение.

Отключение схемы. При постановке рукоятки контроллера машиниста в нулевое положение прекращается питание всех поездных проводов. Это вызывает отключение линейных контакторов. От провода *22*, имеющего питание помимо контроллера машиниста через блокировки реостатного контроллера *РК2-15*, линейного контактора *ЛК3* и переключателя клапанов *ПК1*, *ПК3* напряжение подается на катушки клапанов *РК1* и *РК11*.

Таким образом, из всех позиций, кроме 1-й, реостатный контроллер перейдет на 16-ю. Эта позиция, так же как и 1-я, является исходной. То же происходит при отключении любого из реле перегрузки *РП* или промежуточного реле *РП1*.

Если *РК* оставался на 16-й позиции, то при новом пуске вагона до включения линейных контакторов совершится его переход в 1-ю позицию. При этом питание катушки *РК11* осуществляется от провода *2А* через замкнутую блокировку *РК16*.

Работа при уменьшенном ускорении. Для уменьшения тока отпадания реле ускорения *РУ* предусмотрено особое реле регулировки ускорения *РРУ*. Оно включается от кнопки «Пониженное ускорение», соединенной с проводом *8А*. От кнопочного выключателя по поездному проводу *4* ток подается к катушке *РРУ*, минус которой подключен к проводу *9А*. Блок-контакт реле *РРУ* включает регулировочную катушку реле ускорения на всё время пуска, снижая, таким образом, величину тока отпадания *РУ*.

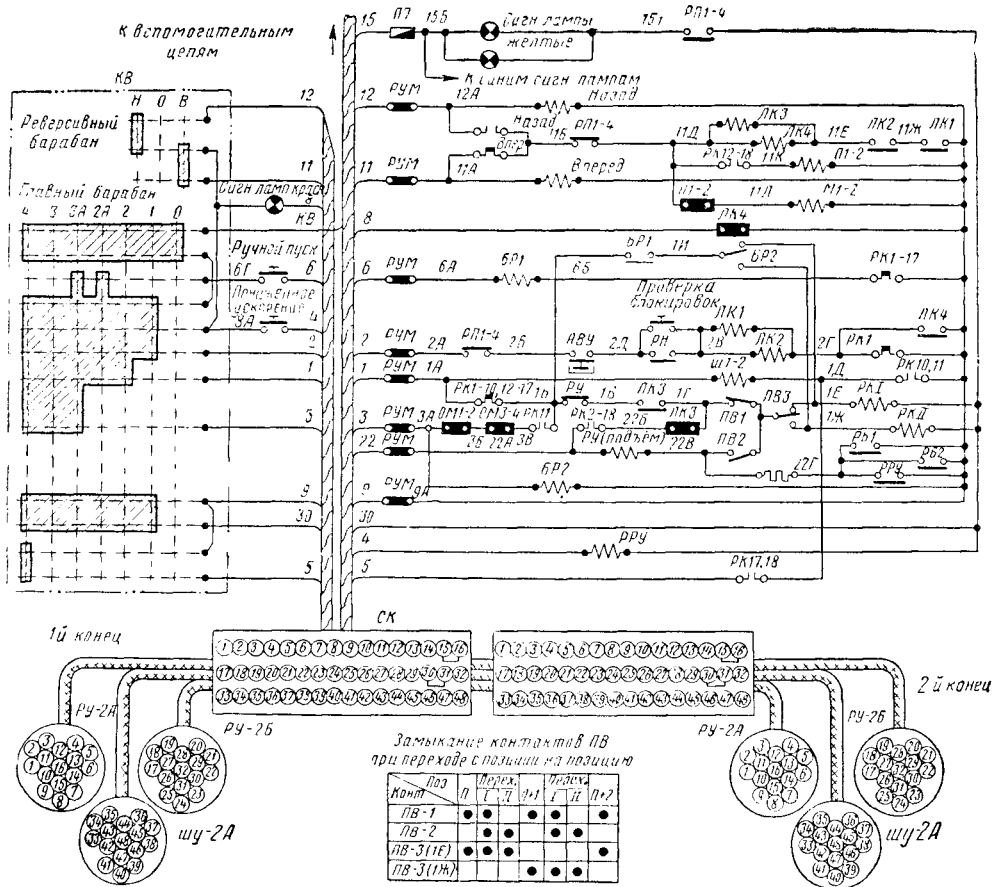
Ручной пуск предусматривается для управления поездом помимо автоматического действия реле ускорения. Он осуществляется повторной перестановкой рукоятки контроллера машиниста между положениями *2А* и *3А*. При этом предварительно должна быть включена кнопка «Ручной пуск». При постановке рукоятки контроллера в положение *2А*, через кнопку «Ручной пуск» получает питание поездной провод *6*, от которого возбуждается катушка первого реле ручного пуска *БР1*. Вследствие этого замыкается контакт реле *БР1* в цепи проводов *11Б-11Л* и через замкнутую блокировку второго реле ручного пуска *БР2* получает питание катушка клапана *РК1*. Этим вызывается поворот *РК* на одну позицию.

Переход на следующую позицию осуществляется постановкой рукоятки в положение 3А. При этом от провода 3 возбуждается катушка второго реле ручного пуска $БР2$. Оно переключает свой контакт $БР2$ в цепи провода 11Л с провода 1Е (вентиль $РК1$) на провод 1Ж (вентиль $РК11$). Перевод рукоятки контроллера из положения 2А в 3А и обратно сопровождается кратковременным отсоединением от питания провода 6 и катушки $БР1$. По восстановлении питания блокировка $БР1$ замыкается вновь и через контакт $БР2$ и провод 1Ж возбуждается катушка вентиль $РК11$, вызывая поворот $РК$ ещё на одну позицию. Последующие соединения реле $БР2$ и провода 11Л с провода 1Е на 1Ж и обратно обеспечивают перевод $РК$ вплоть до выхода на 16-ю позицию, когда в цепи $БР1$ размыкается блокировка $РК1-15$. Для получения ослабления поля рукоятка контроллера должна быть переведена в IV положение. Параллельно блокировке $РК1-15$ в цепь катушки $БР1$ включена блокировка $ЛК1$, которая необходима для установки $РК$ из 16-й на 1-ю исходную позицию при ручном пуске в случае неисправности контактов $ПВ$ автоматического пуска. Управление может осуществляться и с прицепного вагона, схема цепей управления которого приведена на фиг. 38.

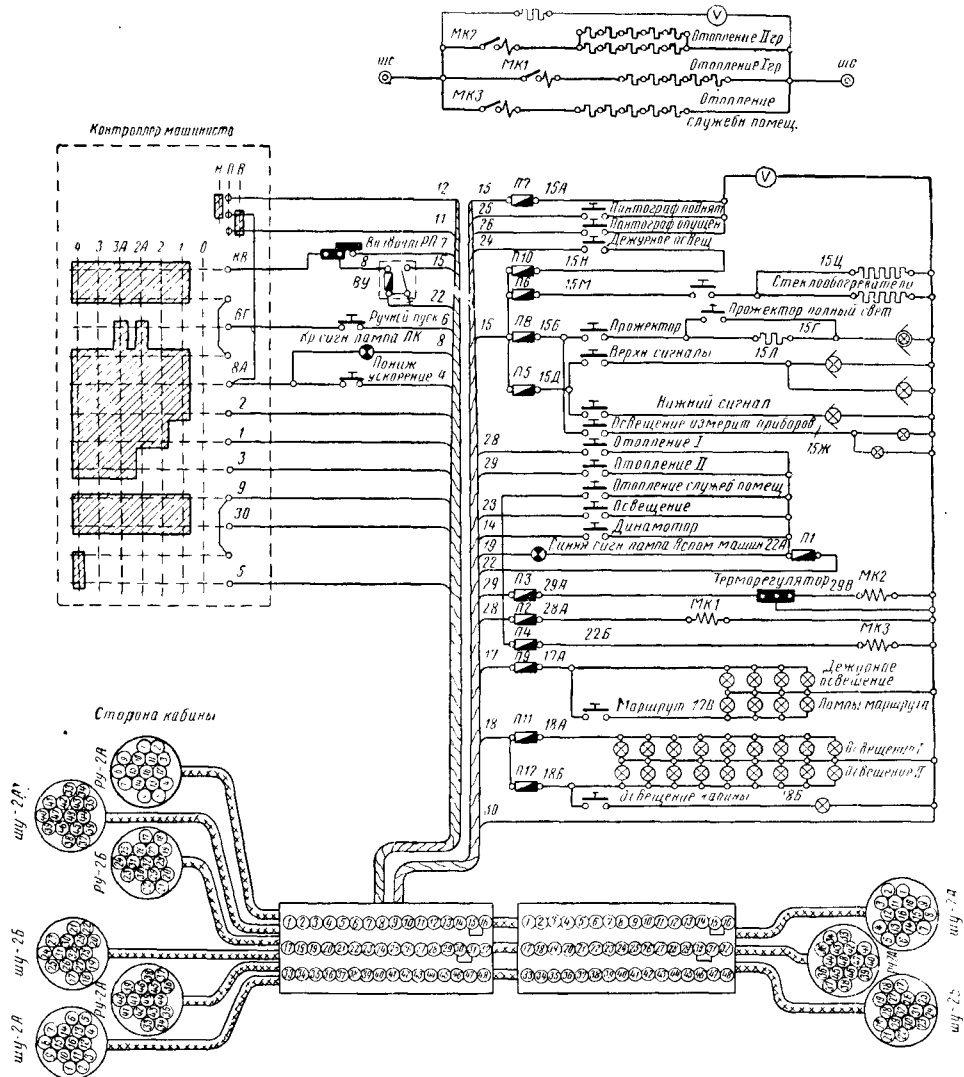
Схема управления электросекции $С_3^p$ приведена на фиг. 39 и 40. Основные принципы схемы такие же, как и в схеме моторных вагонов на два напряжения. В связи с отсутствием двух режимов работы на напряжениях 3 000 и 1 500 в схема значительно упрощена.

Схемы цепей управления вагонов метрополитена типа А и Б

Питание цепей управления производится от потенциометра. На моторном вагоне высокое напряжение от токоприёмников через демпферное сопротивление, автоматический выключатель и предохранитель «Управление» подаётся на контактный элемент контроллера машиниста, который замыкается при установке рукоятки контроллера в одно из ходовых положений. После включения кнопки управления контроллера ток через добавочное сопротивление попадает в катушку контактора управления; через контактор управления питание по поезвному проводу подаётся на потенциометры всех вагонов. Стороны низкого напряжения всех потенциометров соединены параллельно поездными проводами 8 и 9, которые подводят напряжение к контактным элементам контроллера машиниста.



Фиг. 39. Схема цепей управления моторных вагонов серии $С_3^p$



Фиг. 40. Схема цепей управления прицепных вагонов серии СЗ

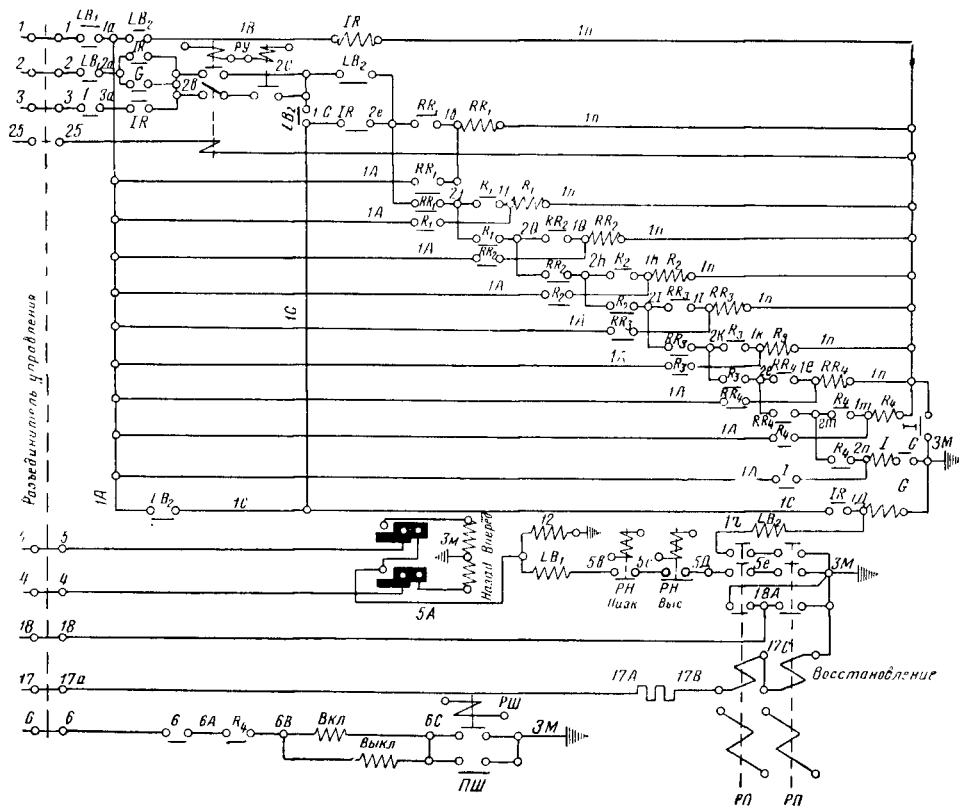
В зависимости от количества включённых контакторов и напряжения сети напряжение на «низкой» стороне потенциометра колеблется от 130 до 60 в. Схема управления дана на фиг. 41.

При установке рукоятки контроллера в положение I — «Вперёд» или «Назад» и включении кнопки управления напряжение подаётся на поездные провода 1 и 5 (или 4). От провода 5 (или 4) через РУМ (разъединитель управления и моторов) ток идёт к блокировочным контактам реверсора и вызывает его установку в положение, соответствующее принятому направлению движения. После этого от провода 5А получает питание катушка линейного контактора *LB1*, имеющая в своей цепи блокировки нулевого реле низкого напряжения *РН-2Б*, нулевого реле высокого напряжения *РН-2А* и реле перегрузки. Одновременно от провода 5А получает питание и катушка контактора 12. От провода 1 через РУМ и блокировки *LB1* и *LB2* получает питание катушка контактора *1R*.

II положение — автоматический пуск при последовательном соединении тяговых двигателей. На этом положении дополнительно напряжение подаётся на поездной провод 2. От провода 2 через РУМ и блокировки *LB1*, *1R*, контакты реле ускорения, *LB2*, *1R* и *RR1* возбуждается катушка контактора *RR1*.

Следовательно, включение контактора *RR1* возможно при условии, если контакторы *LB1* и *1R* включены, а *LB2* и *I* — выключены. При включении контактора *RR1* его блокировки переводят питание его катушки на провод 1А, т. е. помимо контактов реле ускорения.

Процесс включения контактора *RR1* завершается полностью к тому времени, когда контакты реле ускорения уже успевают разомкнуться под воздействием возросшего потока силовой катушки РУ. В этот период происходит включение блокировки *RR1*, соединяющей провода 2е и 2ф, в результате чего



Фиг. 41. Схема цепей управления вагонов метрополитена типа А и Б

подготавливается цепь питания катушки контактора $R1$.

Когда в процессе разгона поезда ток силовой цепи уменьшается до величины, при которой вновь замкнется контакт реле ускорения, происходит включение контактора $R1$. Процесс включения контактора $R1$ и всех последующих реостатных контакторов ($RR2$; $R2$; $RR3$; $R3$; $RR4$; $R4$) протекает точно так же, как и контактора $RR1$. Последним на последовательном соединении тяговых двигателей включается контактор I , при этом размыкается его блокировка, через которую на всех предыдущих позициях заземлялись цепи катушек реостатных контакторов и контактора IR . В результате происходит выключение указанных контакторов и в цепи тяговых двигателей остаются включенными только контакторы $LB1$, 12 и I .

III положение — автоматический пуск при параллельном соединении тяговых двигателей. Это положение предусмотрено лишь для движения «Вперед». На нём напряжение дополнительно подаётся на поездной провод 3 , от которого через PUM и блокировки I , IR , контакты реле ускорения, $LB2$ и IR получает питание катушка контактора G . Одновременно с этим от провода $1D$ получает питание катушка контактора $LB2$, имеющая в своей цепи блокировки реле перегрузки.

При включении контактора $LB2$ его блокировочные контакторы переводят питание его катушки на провод $1A$. На этот же провод переводится питание и катушки контак-

тора G . Момент, когда контакторы $LB2$, G и I оказываются включенными одновременно, силовая цепь собрана по схеме моста.

После замыкания контактора G его блокировка в цепи контактора I размыкается и контактор I выключается. При этом замыкается его блокировка, через которую получают землю цепи катушек реостатных контакторов. Таким образом, собирается схема параллельного соединения групп тяговых двигателей с полностью введенными группами пусковых сопротивлений.

Поскольку силовая катушка $PУ$ находится в цепи тяговых двигателей $2-4$, последующее замыкание его контактов в процессе пуска вызывает включение контактора $RR1$, аналогично тому, как это происходило при последовательном соединении групп двигателей с последующим включением через его блокировку контактора $R1$. В результате этого ток в цепи 2 и 4 двигателей увеличивается и реле ускорения размыкает свои контакты. В дальнейшем при замыкании контактов реле ускорения точно таким же образом включаются контакторы $RR2$ и $R2$; $RR3$ и $R3$; $RR4$ и $R4$.

IV положение — ослабление поля. На этом положении дополнительно подаётся напряжение на поездной провод 6 , от которого через PUM , блокировки контакторов G и $R4$ получают питание катушки вентилей переключателя шунтировки поля, имеющие в своей цепи блок-контакты реле шунтировки поля. Силовая катушка реле шунтировки включена в цепь двигателей 1 и 3 . Блокировки контак-

торов G и $R4$ обеспечивают переход на ослабленное поле только на последней позиции параллельного соединения двигателей.

При установке контроллера в положение «АВ» — напряжение подается на поездной провод 25, включающий вспомогательное реле. Его блок-контакты при последовательном соединении двигателей вводят в цепь провода 2 вторую блокировку PY , работающую от второй силовой катушки с более высокой уставкой.

Схема цепей управления вагонов метрополитена типа Г

Питание цепи управления осуществляется от аккумуляторной батареи напряжением 70 в. Плюс батареи подается на поездной провод 10, которым все батареи состава соединены параллельно. От этого провода через выключатель управления BY напряжение подается на контроллер машиниста. Минус цепи управления заземлен также через контроллер машиниста.

Аккумуляторная батарея имеет постоянный подзаряд от цепей освещения вагона и мотора-компрессора. Схема управления дана на фиг. 42.

Тяговый режим. В положении «А» — в положение «Вперед» или «Назад», а главной — в положение 1 — «ход», напряжение через контакторный элемент $Y2$ главного вала контроллера машиниста подается с провода 10А на провод $Y2$ и с него через контакторные элементы контроллера на поездные провода 1 и 5М (ход «Вперед») или 4 (ход «Назад»).

По проводу 1 ток через контакты PUM , блокировку тормозного переключателя $ТП-Т$, $1А-1Ж$ и блокировку $ЛК1$ подводится к катушке вентиля $ТП-М$. В результате происходит поворот $ТП$ в положение тягового режима. При этом цепь питания этой катушки разрывается, а блокировка $ТП-М$, $1А-1Б$ замыкается, давая питание через блокировки реостатного контроллера $РК-О$, переходного переключателя $ПП-С$, нулевого реле $РН$ и реле перегрузки $РП$ катушке вентиля линейного контактора $ЛК1$.

По проводу 5 ток поступает к блокировкам реверсора, что обеспечивает его установку в положение, соответствующее принятому направлению движения. После этого ток подается на провод 5Б и через блокировки $РП$ и $ПП-С$ поступает в катушки вентиля реостатного контроллера $РК$ и вентиля $ЛК2$, имеющих в своей цепи блокировку $ЛК1$.

Одновременно получает питание катушка вентиля $ПП-С$, обеспечивающая установку переходного переключателя в положение, соответствующее последовательному соединению тяговых двигателей.

После включения $ЛК2$ ток по проводу 1Е попадает в катушку вентиля $ЛК3$.

По проводу 1Г через дополнительные сопротивления питается стоп-катушка $РК$, удерживающая его вал в исходном положении. Если $РК$ не находится в нулевой позиции, то при выключенных линейных контакторах цепь его стоп-катушки разомкнута и $РК$ возвращается в нулевую позицию.

Блокировка 5-5М автоматического выключателя автостопа обеспечивает разрыв цепи этого провода и, следовательно, отключение линейных контакторов в случае работы автостопного устройства вагона, что может быть при проезде красного сигнала. Блокировка 1Б-1Н автоматического выключателя торможения обеспечивает разрыв цепи катушки вентилей $ЛК1$ и $ЛК3$ при торможении вагона пневматическим тормозом, если давление в тормозном цилиндре выше 1,8 атм. Это исключает возможность заклинивания колёс при одновременном действии электрического и пневматического тормозов.

II положение — автоматический пуск при последовательном соединении двигателей. На этом положении дополнительно напряжение подается на поездной провод 2. От этого провода через PUM получает питание катушка реле $PБ$, имеющая в своей цепи блокировку $ЛК3$. Вследствие этого контакты $PБ$ соединяют провод 1Т с проводом 12, шунтируя тем самым стоп-катушку $РК$ и последняя даёт возможность реостатному контроллеру перейти на следующую позицию.

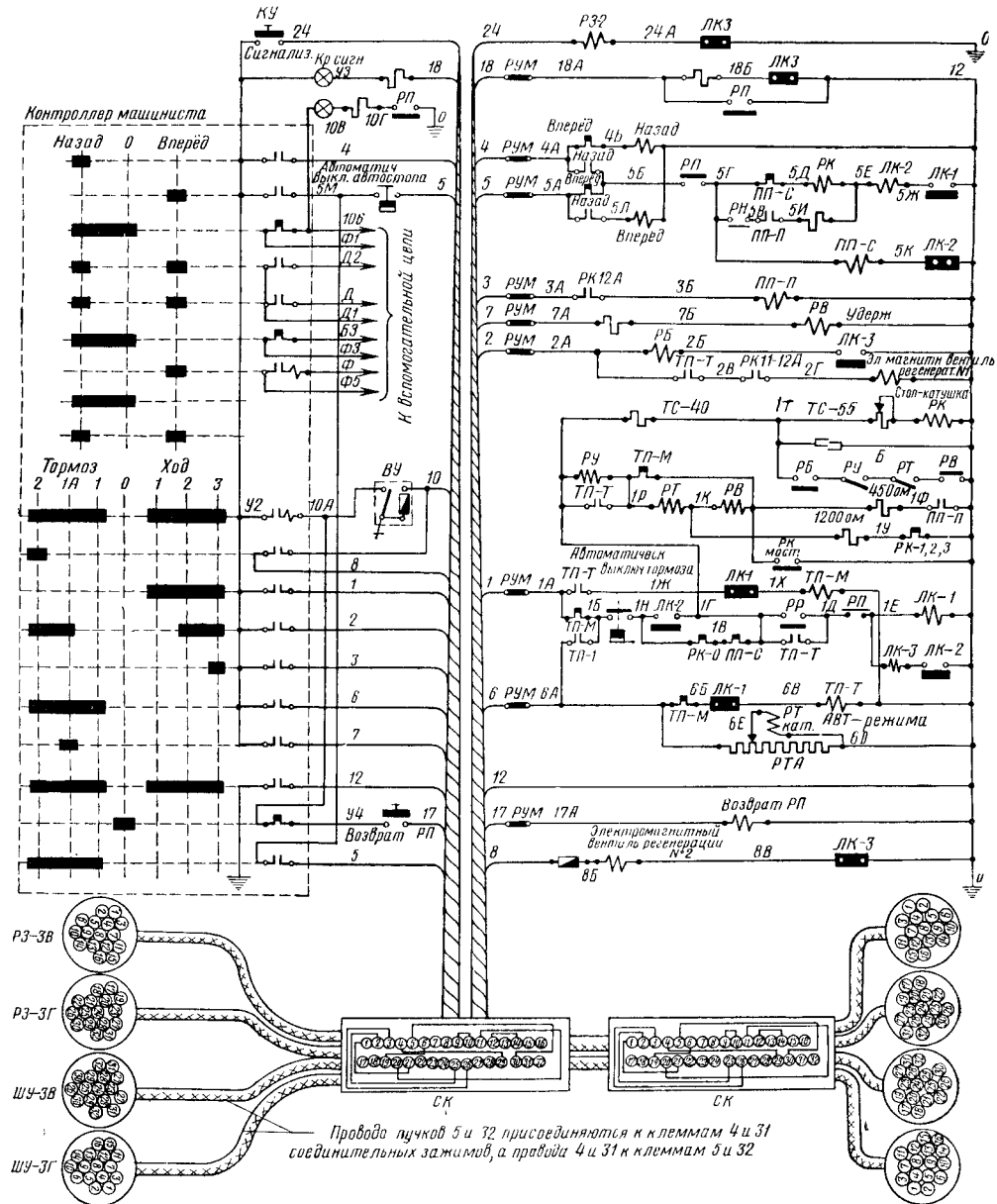
В процессе этого перехода между позициями замыкаются контакты промежуточного моста $РК$ ($1С-12$), создавая цепь для возбуждения подъёмной катушки PY . Подъёмная катушка PY способствует притяжению якоря реле и размыканию его контактов в цепи проводов 1Т-12. Это вновь обеспечивает питание стоп-катушки $РК$ и чёткую фиксацию ею новой позиции.

Вследствие закорачивания контактором секции пускового сопротивления ток одной из групп двигателей возрастает и якорь PY под действием его силовой катушки может остаться притянутым, несмотря на отключение подъёмной катушки PY . Однако уставка PY такова, что почти все позиции вал $РК$ проходит без задержки со стороны PY , т. е. хронометрически. Так происходит вращение $РК$ до позиции 12-й включительно.

Параллельно контактам PY , $РТ$, $PБ$ и $PВ$ присоединён конденсатор, что облегчает им разрыв тока.

III положение — автоматический пуск при параллельном соединении двигателей. На этом положении дополнительно подается напряжение на поездной провод 3, от которого через PUM и блокировку $РК$, 12А возбуждается катушка вентиля $ПП-П$ и переключатель устанавливается в положение «Параллельно». При этом выключается его блокировка $ПП-С$, 5Г-5Д в цепи катушки вентиля $РК$ и реостатный контроллер под действием на поршень привода сжатого воздуха получает возможность перемещаться в обратном направлении. Питание катушки вентиля $ЛК2$ продолжается в данном случае через блокировку нулевого реле $РН$, замкнувшиеся блок-контакты $ПП-П$ и дополнительное сопротивление, заменяющее сопротивление катушки вентиля $РК$.

Замкнувшиеся блок-контакты $ПП-П$, 1Ф и 12 образуют цепь постоянного питания подъёмной катушки PY через дополнительное сопротивление. Вследствие этого ток отпадания PY на фиксированных позициях $РК$ снижается. Это сделано для уменьшения нагрузки тяговой сети.



Фиг. 42. Схема цепей управления вагонов метрополитена типа Г

В остальном работа схемы на параллельном соединении двигателей происходит так же, как на последовательном соединении, но каждая позиция контролируется реле ускорения.

Тормозной режим. При установке главной рукоятки контроллера машиниста в положение I — «Тормоз» — получает питание поездной провод 6, по которому через РУМ и блокировки тормозного переключателя ТП-М, 6А-6Б и ЛК1 напряжение подводится к катушке вентиля ТП-Т. В результате происходит поворот ТП в положение «Тормоз». После этого ток через блокировку ТП-Т, 6А-1Б по такой же цепи, как и при двигательном режиме, подводится к катушке вентиля ЛК1.

Работа схемы аналогична работе при двига-

тельном режиме. Отличием является то, что на тормозном режиме контакты 1Г-1Д нулевого реле шунтируются блокировкой ТП-Т, а контакты 5-5М автоматического выключателя автостопа шунтируются контакторным элементом контроллера машиниста.

II положение — тормоз автоматический. При установке рукоятки контроллера машиниста в положение II — «Тормоз» дополнительно напряжение подается на поездные провода 8 и 2. От провода 2 возбуждается катушка реле РБ. Как и на двигательном режиме, при этом блок-контакты РБ шунтируют стоп-катушку РК.

Переход РК по позициям осуществляется под контролем реле торможения РТ и реле

времени *РВ*. Подъёмная катушка *РУ* шунтируется блок-контактами *ТП-Т*, *1Г-1Р*. Для ограничения напряжения на двигателях на первых трёх позициях *РК* подъёмная катушка *РТ* соединяется с проводом *12* через дополнительное сопротивление и блокировку *РК-1*, *2*, *3*. Ток отпадания реле при этом уменьшается. Уставка реле замедления регулируется автоматически в зависимости от нагрузки вагона. Для этой цели оно имеет катушку авторежима, которая через ползунковый контакт *6Е-6Д* присоединена к реостату. Ползунок связан с механизмом авторежима, передвигающим его в зависимости от величины просадки рессор.

Реле времени, подъёмная катушка которого возбуждается только между фиксированными позициями *РК*, своими контактами обеспечивает необходимую продолжительность разрыва цепи, шунтирующей стоп-катушку *РК*. Замедление процесса выведения сопротивления из тормозного контура двигателей особенно важно в начале торможения.

На 11-й позиции *РК* замыкается блокировка *РК-11*, *2В-2Г*, через которую получает питание катушка электромагнитного вентиля регенерации № 1, вследствие чего вступает в действие пневматический тормоз. Давление воздуха в тормозных цилиндрах при этом ниже уставки *АВТ*.

Если во время торможения произойдёт сброс электротормоза и отключатся линейные контакторы, от провода *8* получит питание катушка вентиля регенерации № 2. При этом электротормоз будет замещён пневматическим при полном давлении воздуха в тормозных цилиндрах.

Положение *1А* служит для осуществления ручного (неавтоматического) регулирования торможения. При переводе рукоятки контроллера с положения *1* на положение *1А* напряжение подаётся на поездные провода *2* и *7*. От провода *7* через *РУМ* и дополнительное сопротивление получает питание удерживающая катушка реле времени *РВ*. Но она не рассчитана на замыкание контактов *РВ*. При возбуждении (от провода *2*) катушки реле *РВ* замыкаются его контакты, что шунтирует стоп-катушку *РК* и его вал переходит с 1-й на 2-ю позицию. Между позициями возбуждается подъёмная катушка *РВ*. Суммарный поток подъёмной и удерживающей катушек *РВ* размыкает блок-контакт реле. Это создаёт питание стоп-катушке *РК*, что фиксирует позицию. Контакты *РВ* на фиксированной позиции *РК* удерживаются разомкнутыми потоком удерживающей катушки, несмотря на разрыв цепи подъёмной катушки *РВ*.

Для поворота *РК* в следующую позицию необходимо на короткое время перевести рукоятку контроллера машиниста в положение *1* и затем снова установить её в положение *1А*. При этом рассмотренный процесс повторится.

Схема цепей управления вагонов метрополитена типа Д

Схема цепей управления (фиг. 43) по питанию, назначению поездных проводов и контроллеру машиниста аналогична схеме вагонов типа Г.

На *1* положении при двигательном режиме от провода *1* питается вентиль *ТП-М* привода тормозного переключателя и от *5* (или *4*) — вентиль реверсора.

Установка тормозного переключателя в двигательный режим, если реостатный контроллер находится на 1-й позиции, сопровождается замыканием его блокировки в цепи катушек контакторов *ЛК1* и *М* и, следовательно, выключением этих контакторов. Прямой блокировкой *ЛК1* замыкается цепь катушки контактора *ЛК2* в цепи провода *5*, а прямой блокировкой *ЛК2* — замыкается цепь катушки *ЛК3*, питающейся от провода *1*.

Включение контактора *ЛК2* и его блокировки *1Д-1В* устанавливает для катушек *ЛК1* и *М* питание помимо блокировки *РК1*. Размыкание обратной блокировки *ЛК3*, *18Б-О* сигнализирует красной лампой о завершении процесса включения силовой цепи.

На *II* положении рукоятки контроллера машиниста от провода *2* через блокировочные контакты *РК1-11*, *14-18*, *РУ*, *ЛК3*, переключателя вентилей *ПВ* получают питание соответствующие вентили реостатного контроллера *РК*. Работа блок-контакта *РУ* происходит при пониженном токе тяговых двигателей, так как блокировкой *РК*, *2-10* на позициях со 2-й по 10-ю включена размагничивающая катушка *РУ*. Вентили *РК* возбуждаются только до 13-й позиции, так как далее цепь их питания размыкается блокировкой *РК1-11* в цепи проводов *2В-2В* и *РК-12*, *19* в цепи проводов *2К-2В*.

На *III* положении главной рукоятки контроллера машиниста от провода *3* через блокировку *РК-13* в цепи проводов *3А-2В* вентили привода *РК* вновь получают питание.

На 14—15-й позициях двигателя переключаются с последовательного на параллельное соединение и переходят на работу с полным полем возбуждения, так как цепь катушки контактора *М* размыкается блокировкой *РК1-13* в цепи проводов *1К-12*, а катушек контакторов *Ш1-2* — блокировкой *РК*, *12-13*, *19-20*. На 14-й позиции размыкается блокировка *РК-13* в цепи провода *3* и вновь замыкается блокировка *РК1-11*, *14-18* в цепи провода *2*, чем обеспечивается перевод питания вентилей *РК* с провода *3* на провод *2*. Блокировки *РК12-13*, *19-20* в цепи проводов *1Л-1Г* на позициях 19-й и 20-й вновь включают катушку контакторов ослабления поля *Ш1-2*. Включение этих контакторов своей прямой блокировкой *2В-2К* замыкает цепь питания вентилей *РК* и обеспечивает его переход на 19-ю и 20-ю позиции.

При переводе главной рукоятки контроллера машиниста в *I* тормозное положение от провода *6* через блокировку контактора *ЛК1* возбуждается катушка вентиля *ТП-Т*, что переводит тормозной переключатель в положение торможения. Одновременно от того же провода через блокировки *ТП-Т* и *РК1* восстанавливается питание катушки контактора *М*. От этого же провода получает питание и катушка контакторов *Ш1-2*, чем обеспечивается ослабление поля двигателей на первой тормозной позиции. Замыкание линейных контакторов *ЛК2* и *ЛК3* происхо-

дит в той же последовательности, что и при тяговом режиме.

При переводе рукоятки в положение *IA* от провода 7 возбуждается удерживающая катушка реле *PВ*, а одновременное включение провода 2 обеспечивает получение одного импульса тока управления для питания вентилей *РК*. Повторные импульсы при неавтоматическом управлении режимом торможения могут быть получены последовательными перемещениями главной рукоятки из положения *I* в положение *IA* и обратно.

При постановке рукоятки контроллера машиниста во *II* тормозное положение от провода 6 осуществляется возбуждение вентилей *РК* и автоматическое движение *РК* по позициям, как и при двигательном режиме. Однако за счёт реле *PВ* время движения системы несколько повышается. Привод *РК* будет работать до 20-й позиции. На 16-й позиции блокировкой *РК16-20* в цепи проводов *8В-12* включается катушка вентилей *ВТ-1*, что приводит в действие пневматический тормоз. Катушка вентилей *ВТ-2* имеет обратную блокировку контактора *ЛКЗ*, что обеспечивает при неисправности электрооборудования действие замещающего пневматического тормоза при полном давлении воздуха в тормозных цилиндрах.

При отключении реле перегрузки его контакты размыкают цепи катушек линейных контакторов *ЛК1*, *ЛК2*, *ЛКЗ* и *М*. Восстановление реле возможно только при нулевом положении главной рукоятки контроллера нажатием на кнопку импульсного действия «Возврат РП» в цепи проводов *У4-17*. При этом возбуждается катушка «Возврат РП».

При размыкании под действием защиты линейных контакторов хотя бы на одном из вагонов поезда красная сигнальная лампа при пуске не гаснет. В этом случае для определения неисправного вагона машинист нажимает кнопку «Сигнализация», подавая напряжение на поездной провод 24. При этом на неисправном вагоне через замкнутую обратную блокировку *ЛКЗ* возбуждается специальная катушка реле заземления *РЗ-2*.

Так как блок-контакты реле заземления и реле перегрузки общие, то на неисправном вагоне замыкается блок-контакт в цепи зелёной сигнальной лампы (провода 10Г-0), что даёт возможность найти неисправный вагон.

СХЕМЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ

Электродвигатели вспомогательных машин (мотор-компрессоры, мотор-генераторы, мотор-вентилиторы и др.) обычно включаются в самостоятельные цепи, не зависящие от цепей тяговых двигателей. Так же включаются электропечи, разрядники, высоковольтные обогреватели и другое вспомогательное оборудование.

Каждая вспомогательная машина имеет самостоятельные включающие аппараты и в большинстве случаев самостоятельные аппараты защиты. Для смягчения толчков тока при включении вспомогательных машин, а также толчков, возникающих в результате резких изменений напряжения контактной сети,

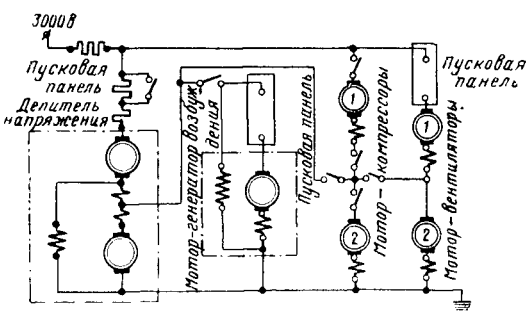
обычно последовательно в цепь каждой машины включается постоянное активное (демпферное) сопротивление. Наличие постоянного сопротивления для крупных вспомогательных машин не исключает применения пусковых сопротивлений, автоматически выводимых по окончании пуска машины. Защита вспомогательных цепей осуществляется как индивидуальная — отдельно каждой машины, каждой группы отопления, — так и общая для всей вспомогательной высоковольтной схемы.

Двигатели вспомогательных машин обычно выполняются с последовательным возбуждением или же со смешанным возбуждением. Для предотвращения разгона последних применяют специальные ограничители скорости. Ограничители, как правило, центробежного типа и воздействуют на контактор, включающий машину или всю вспомогательную цепь.

Схемы вспомогательных цепей электровозов

Первоначальное стремление в отечественном электровозостроении применять двигатели вспомогательных машин с неполным напряжением контактной сети на каждом коллекторе привело к нарушению условий резервирования. На электровозах позднейшего исполнения (*ВЛ22м*) лучше оправдывает себя система двигателей вспомогательных машин, рассчитанных на полное напряжение контактной сети.

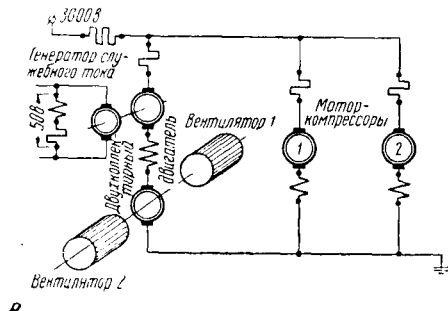
На фиг. 44 представлена принципиальная схема вспомогательных машин электровозов *С* и *Сс*. Основной особенностью системы является применение делителя напряжения (динамотора) и питание всех остальных вспомогательных машин половинным напряжением по отношению к напряжению контактной сети. При напряжении контактной сети 3000 в коллекторы всех вспомогательных машин работают на номинальном напряжении 1500 в.



Фиг. 44. Принципиальная схема вспомогательных машин электровозов *С* и *Сс*

От средней точки делителя напряжения питается мотор-генератор возбуждения (для рекуперативного торможения). Кроме того, эта точка соединена со средней точкой последовательно включённых мотор-вентилиторов. К ней же может приключаться любой из двух мотор-компрессоров. При их одновременном включении делитель напряжения выравнивает потенциал в средней точке соединения.

Генератор служебного тока приводится во вращение делителем напряжения. Кроме общего, постоянно последовательно включённого защитного сопротивления в цепи делителя напряжения, мотор-генератора, мо-



Фиг. 45. Принципиальная схема вспомогательных машин электровозов ВЛ19

тор-вентиляторов, — включены свои постоянные сопротивления и пусковые панели.

Недостатками системы является тесная взаимосвязь всех вспомогательных машин, что ограничивает её аварийный резерв, а также наличие дополнительного громоздкого агрегата (делителя напряжения).

Первоначально выполненная схема вспомогательных цепей электровозов ВЛ19, пред-

ставленная на фиг. 45, характеризуется применением двухколлекторного двигателя типа ДДИ-60 для привода двоянного вентилятора. Этот же двигатель служит и для привода генератора служебного тока. Мотор-компрессоры рассчитаны на полное напряжение контактной сети 3000 в.

Как вся группа вспомогательных машин, так и каждая из них в отдельности защищается постоянным последовательно включённым (демпферным) сопротивлением. Машины снабжены пусковыми панелями (на схеме не показаны).

Недостатком системы является громоздкость вентиляционного агрегата и отсутствие резервного в случае выхода его из строя.

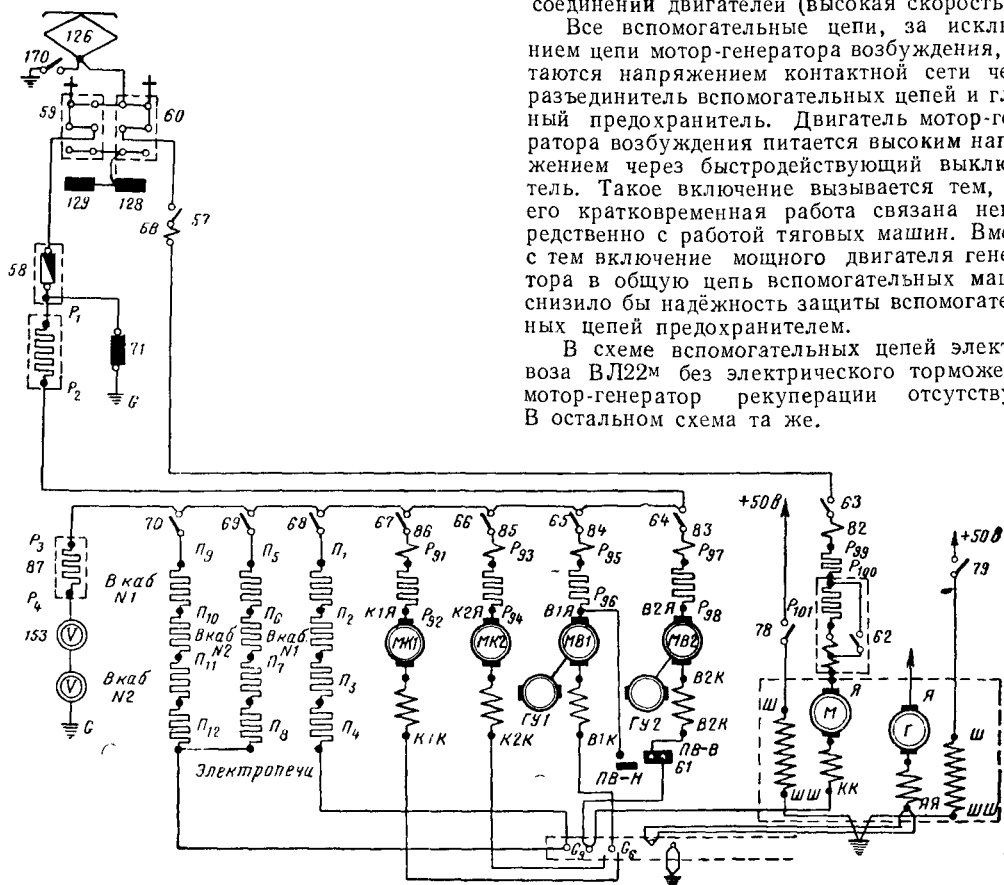
В настоящее время система вспомогательных машин на этих электровозах переделывается по типу вспомогательных машин электровоза ВЛ22м.

Схема вспомогательных цепей электровоза ВЛ22м представлена на фиг. 46.

Электровоз имеет два мотор-вентилятора, каждый с генератором тока управления, два мотор-компрессора, один мотор-генератор возбуждения (рекуперации). Все двигатели рассчитаны на питание от напряжения контактной сети 3000 в. Работа мотор-вентиляторов предусматривается на двух режимах; при последовательном соединении обмоток двигателей (низкая скорость) и при параллельном соединении двигателей (высокая скорость).

Все вспомогательные цепи, за исключением цепи мотор-генератора возбуждения, питаются напряжением контактной сети через разъединитель вспомогательных цепей и главный предохранитель. Двигатель мотор-генератора возбуждения питается высоким напряжением через быстродействующий выключатель. Такое включение вызывается тем, что его кратковременная работа связана непосредственно с работой тяговых машин. Вместе с тем включение мощного двигателя генератора в общую цепь вспомогательных машин снизило бы надёжность защиты вспомогательных цепей предохранителем.

В схеме вспомогательных цепей электровоза ВЛ22м без электрического торможения мотор-генератор рекуперации отсутствует. В остальном схема та же.



Фиг. 46. Схема вспомогательных цепей электровозов ВЛ22м с рекуперативным торможением

Управление вспомогательными машинами и печами осуществляется кнопочными выключателями.

Пуск и остановка компрессора осуществляются автоматически регулятором давления, контакты которого замыкаются и размыкаются в диапазоне давлений воздуха в главных резервуарах.

При отключении реле перегрузки, защищающего мотор-компрессор, оно может быть восстановлено кратковременным включением кнопки «Восстановление компрессоров».

Управление вентиляторами осуществляется с помощью кнопок: «Высокая скорость вентиляторов», «Низкая скорость вентиляторов» и «Восстановление вентиляторов». Кнопки между собой заблокированы так, что включение одной исключает возможность одновременного включения других.

При отключении реле перегрузки мотор-вентиляторов восстановление их осуществляется так же, как и компрессоров, кратковременным включением пружинной кнопки «Восстановление вентиляторов».

При отключении реле перегрузки мотор-компрессоров или мотор-вентиляторов на щитке измерительных приборов включаются соответствующие сигнальные лампы.

Пуск мотор-генератора рекуперации осуществляется кнопкой «Возбудитель», а его защита — электромагнитным реле РП-5В-1, блокировочные контакты которого включены в цепь удерживающей катушки БВ.

Электрические печи включаются кнопками «Электроотопление общая группа». Кроме того, в каждой кабине кнопкой «Электропечи Н1/Н2» включается катушка контактора, присоединяющего к напряжению контактной сети группу 1 или 2 отопления в соответствующей кабине.

Схема вспомогательных цепей восьмиосного электровоза Н8*. Схема вспомогательных

цепей восьмиосного электровоза рассчитана для работы двигателей вспомогательных машин при полном напряжении контактной сети.

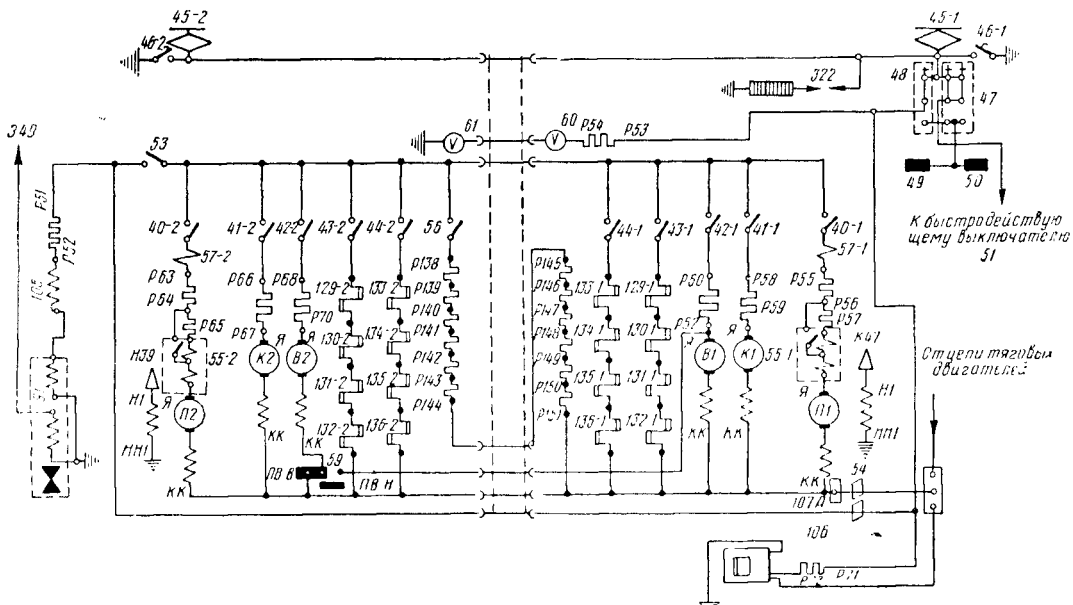
Вспомогательные цепи электровоза состоят из двух мотор-вентиляторов В1 и В2 (фиг. 47), каждый с генератором тока управления двух мотор-компрессоров К1 и К2, двух мотор-генераторов (преобразователей) П1 и П2, электрических печей 129-1 — 136-1, 129-2 — 136-2, сопротивлений для обогрева Р138-Р151, счётчика электрической энергии 106, вольтметров 60 и 61 и электропневматического клапана 191. Работа мотор-вентиляторов, так же как и на электровозе ВЛ22м, предусмотрена на двух режимах: при последовательном соединении обоих двигателей (низкая скорость) и при параллельном соединении двигателей (высокая скорость). Переключение мотор-вентиляторов осуществляется переключателем мотор-вентиляторов 59.

Все вспомогательные цепи, кроме вольтметров и защитного вентиля 191, подсоединены к цепи пантографов 45-1 и 45-2 через разъединитель вспомогательных цепей 48 и быстродействующий выключатель 53.

Защита вспомогательных цепей от коротких замыканий осуществляется дифференциальным реле 54, действующим своей блокировкой на удерживающую катушку быстродействующего выключателя 53. Кроме этого, двигатели мотор-генераторов защищены от перегрузок реле перегрузки 57-1 и 57-2, срабатывание которых вызывает отключение быстродействующих выключателей. Защита от атмосферных перенапряжений производится разрядником 322.

Схемы вспомогательных цепей электросекций и вагонов метрополитена

Схемы вспомогательных цепей мотор-вагонных секций несколько отличаются от электроважных. При напряжении в сети до 1500 в мотор-компрессоры включаются обычно



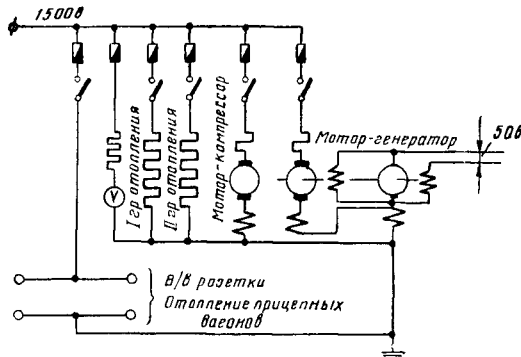
Фиг. 47. Схема вспомогательных цепей электровоза Н8

* Написано инж. В. К. Калинин.

на полное напряжение. При напряжении в 3000 в мотор-компрессоры питаются либо от средней точки делителя напряжения (м. в. секции серии СР), либо от низкого напряжения, вырабатываемого генератором управления. В последнем случае напряжение генератора принимается не менее 110 в.

Защита вспомогательных цепей от коротких замыканий производится с помощью плавких предохранителей. Защита от перегрузок обеспечивается либо с помощью реле перегрузок, либо комбинированной защитой — тепловыми реле и реле перегрузки (секции СР).

На фиг. 48 дана принципиальная схема вспомогательных цепей моторного вагона Сд. Здесь в цепи обеих вспомогательных машин постоянно включены демпферные сопротивления. Каждая цепь вспомогательной схемы защищена плавким предохранителем. Мотор-генератор типа ДМГ1500/50 имеет схему смешанного возбуждения.



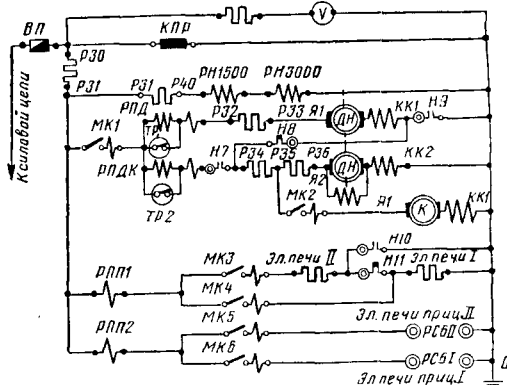
Фиг. 48. Схема вспомогательных цепей моторного вагона Сд

На фиг. 49 показана схема вспомогательных цепей моторного вагона серии СР на два напряжения 1500/3000 в.

При работе на напряжение 3000 в двигатель компрессора К приключен к средней точке делителя напряжения ДН. Цепи машин имеют против перегрузок комбинированную защиту, состоящую из реле перегрузки РПД и РПДК и тепловых реле Tr_1 и Tr_2 . При кратковременных перегрузках тепловое реле не успевает отключить цепь, и это выполняет реле перегрузки при токах не менее 35 а. Пусковые токи, будучи менее этой величины, не вызывают выключения машин. При длительной перегрузке током 12 а (более 1 мин) срабатывает ТР и вводит в цепь вторую секцию РП, вследствие чего НС реле возрастает вдвое и вызывает срабатывание РП. При работе на электрифицированных участках напряжением 3000 в в цепи включено одно реле из двух — РПД. На участках 1500 в вторая половина якоря динамотора и мотор-компрессор защищаются с помощью реле РПДК. Блокировки реле включены в цепь электромагнитных контакторов МК1 и МК2. Цепи электропечей защищены от перегрузок РП. Цепи катушек реле напряжения РН, вольтметра и разрядника КПР включены за общей плавкой вставкой ВП и не имеют защиты от перегрузок.

На фиг. 50 приведена схема вспомогательных цепей моторных вагонов типа Г метро-

политена. Для защиты от коротких замыканий и перегрузок в отдельных цепях включены



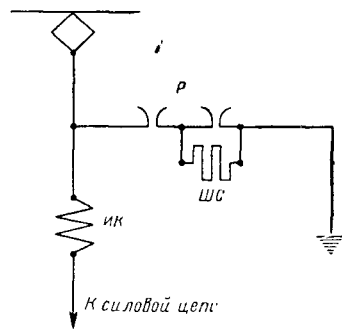
Фиг. 49. Схема вспомогательных цепей моторного вагона СР

плавкие вставки и общий максимальный автомат. На этих вагонах имеются лишь по одной вспомогательной машине — мотор-компрессор МК.

СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ АППАРАТОВ В СИЛОВЫЕ ЦЕПИ ЭПС

Защита от атмосферных перенапряжений

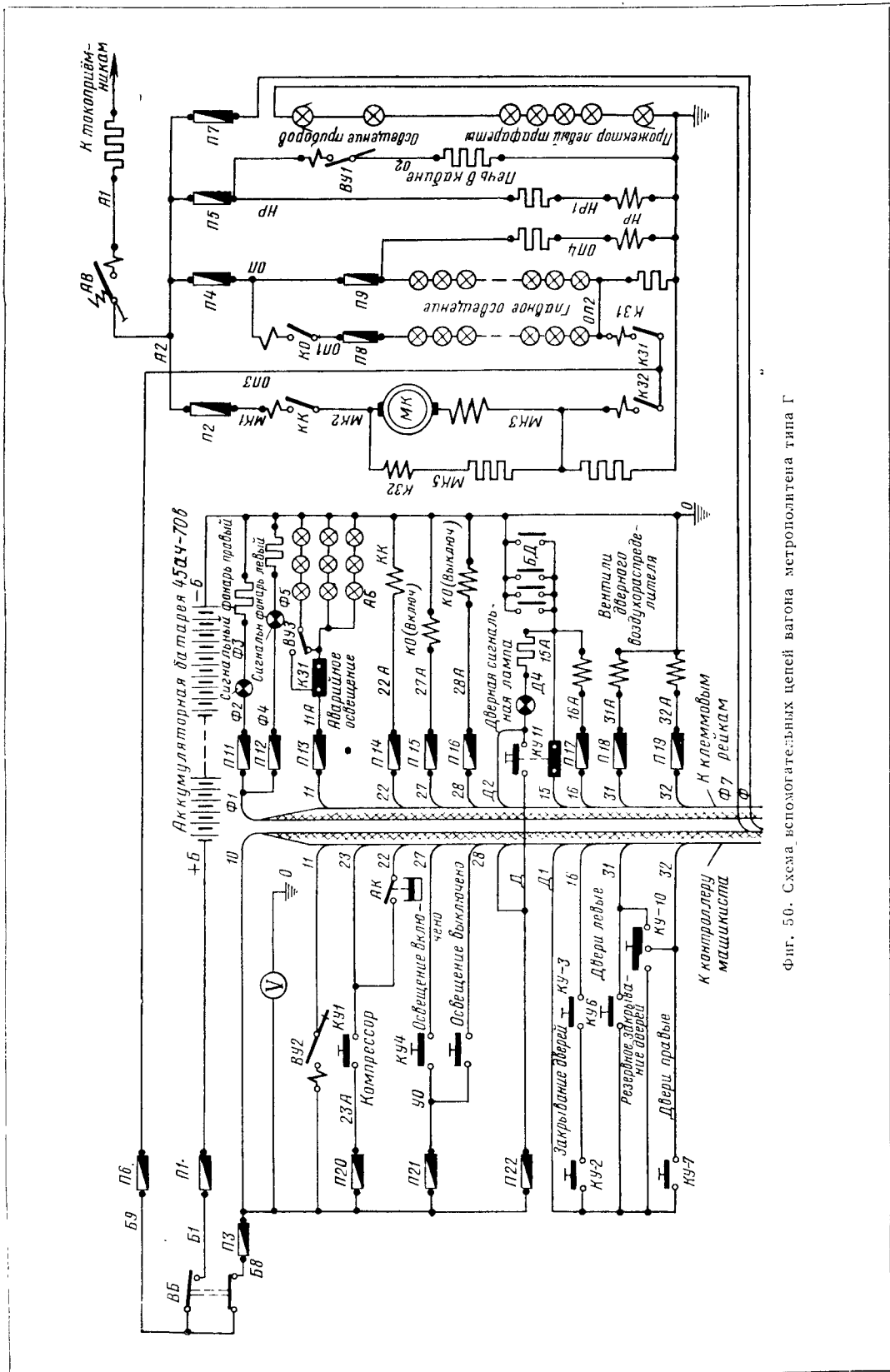
Эта защита осуществляется электролитическими, тиритовыми, вилитовыми и роговыми разрядниками. На фиг. 51 представлена наиболее простая схема защиты роговым разрядником Р. Для отражения волны перенапряжения в силовую цепь последовательно включена индуктивная катушка ИК.



Фиг. 51. Схема защиты ЭПС роговым разрядником

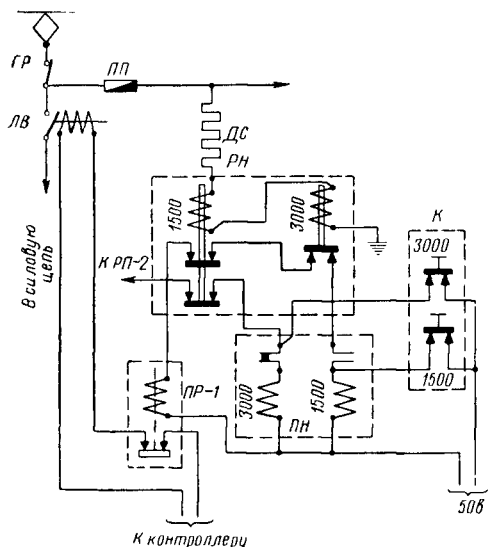
Один из двух искровых промежутков разрядника зашунтирован сопротивлением ШС, служащим для ограничения тока разряда. Цепь разрядника Р должна иметь как можно меньшую индуктивность для эффективного его действия. Схема подобного рода применена на моторных вагонах Сд.

Обычная схема включения вилитовых, тиритовых, электролитических разрядников представлена на фиг. 52. Исследованиями ЦНИИ была установлена целесообразность применения для грозовой защиты на подвижном составе одновременно роговых и вилитовых разрядников. Схема, предложенная ЦНИИ, представлена на фиг. 53.



Фиг. 50. Схема вспомогательных цепей вагона метрополитена типа Г

схеме реле *ПР-2*, включённое в цепь управления вспомогательных машин) является одновременно элементом выдержки времени. Включение реле *РН* обеспечивает автоматическое переключение переключателя *ПН*, которое возможно за счёт задержки во включе-



Фиг. 55. Схема включения защиты реле ЭПС на два напряжения: *РН*—реле напряжения; *ПН-1*—промежуточное реле; *ПН*—переключатель напряжения; *ДС*—дополнительное сопротивление; *ЛВ*—линейный выключатель; *ГР*—главный разъединитель; *ПП*—главный предохранитель; *К*—кнопочный выключатель

нии промежуточного реле *ПР*. На моторных вагонах *СР* реле типа *РН-1500* срабатывает при напряжении около 760 в и отпадает при напряжении около 300 в. Реле типа *РН-3000* срабатывает при напряжении около 1500 в и отпадает при 800 в. Реле типа *РН-1500*, кроме того, выполняет функции нулевого реле.

Защита от коротких замыканий

Простейшим видом защиты от коротких замыканий является применение плавких предохранителей, которые служат одновременно для защиты от перегрузок. Однако такая защита не может считаться достаточной и обычно дополняется другими видами защиты (реле перегрузки, автоматические выключатели и др.). Автоматические выключатели с ручным восстановлением применяются для трамвайных вагонов и троллейбусов при сравнительно небольшой мощности и напряжении, не превышающем 1 000 в. В некоторых случаях механизм ручного восстановления заменяется механизмом дистанционного восстановления, как правило, с электромагнитным приводом. Применение автоматических выключателей при напряжении в контактной сети более 1 000 в не обеспечивает надёжного отключения тока короткого замыкания.

Защита от перегрузок и дифференциальная защита

Защита от коротких замыканий цепей моторвагонов обычно осуществляется ком-

бинированным применением плавких предохранителей и реле перегрузки, а электровозов комбинированным применением быстродействующих выключателей и реле перегрузки. В первом случае отключение силовой цепи от контактной сети осуществляется линейными контакторами под воздействием реле перегрузки. Во втором случае — ток короткого замыкания разрывается непосредственно быстродействующим автоматическим выключателем.

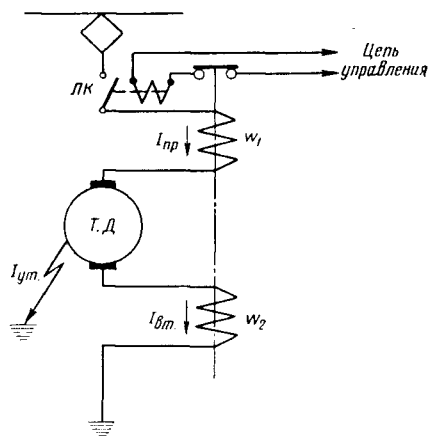
Наиболее надёжной защитой от коротких замыканий является защита быстродействующими автоматическими выключателями.

Защита от перегрузок или резкого повышения тока в силовой цепи из-за нарастания внешней нагрузки или неисправности отдельных машин осуществляется преимущественно с помощью реле перегрузки. Степень надёжности защиты зависит от места повреждения и характера схемы.

Наиболее целесообразным является включение реле перегрузки в каждую параллельную цепь двигателей непосредственно перед их якорями.

Защита от перегрузок плавкими предохранителями и токовыми реле перегрузки не является достаточно надёжной при неисправностях машин, сопровождающихся утечками тока. Она действует лишь тогда, когда ток значительно возрос и неисправность развилась. Лучшие результаты в этом случае даёт дифференциальная защита токовой защиты. Дифференциальная защита работает по принципу разности токов и разности напряжений.

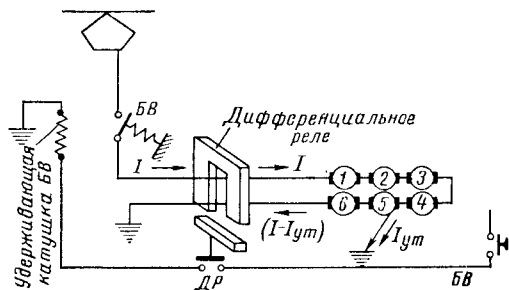
Принципиальная схема защиты, основанной на принципе разности токов, представлена на фиг. 56. При нарушении равновесия, притекающего ($I_{пр}$) и вытекающего ($I_{от}$) токов тяговых двигателей $I_{пр} - I_{от} = I_{ут}$, за счёт тока утечки $I_{ут}$ нарушается равновесие магнитной системы дифференциального реле: $I_{пр} W_1 > I_{от} W_2$.



Фиг. 56. Принципиальная схема дифференциальной токовой защиты

Это приводит к размыканию контактов реле и прекращению питания подъёмной катушки главного выключателя *ЛК*. От чувствительности реле зависит предотвращение развития начальных неисправностей.

Дифференциальная токовая защита может быть применена как к двигателю в целом, так и к отдельным его обмоткам; в равной степени эта защита применима для всей силовой схемы или для любой её отдельной части. Принципиальная схема дифференциальной защиты силовой цепи электровоза представлена на фиг. 57. Конструкция дифференциального реле не требует специальных подъёмных катушек. В качестве их используются провода



Фиг. 57. Принципиальная схема дифференциальной защиты силовых цепей электровоза

кабельной проводки, что упрощает схему, но несколько снижает чувствительность защиты.

Принципиальные схемы защиты, основанной на принципе разности напряжений, приведены на фиг. 58. Наиболее часто такая защита применяется против боксования колёсных пар. При схеме (фиг. 58, а) подъёмная катушка реле боксования $PБ$ питается током, определяющимся разницей напряжений:

$$U_{PБ} = \frac{U_{K2} - U_{K1}}{2},$$

(если не принимать во внимание ток, протекающий в катушке реле).

Так как при последовательном соединении двигателей $U_K \approx E$ — противо-э. д. с. — машин — существенное нарушение равенства $U_{K2} = U_{K1}$ наступает в случае несоответствия скоростей вращения якорей, т. е. при боксовании одной из колёсных пар, двигатели которых соединены последовательно.

При схеме фиг. 58, б отключение контактов реле $PБ$ произойдёт при возникновении разницы HC катушек реле.

$$\Delta W_1 - \Delta W_2 = \frac{(U_{K1} - U_{K2}) W}{R_{\partial} + r}.$$

В обоих случаях блокировочные контакты реле, замыкаясь или размыкаясь, могут выполнять следующие функции:

а) отключение подъёмной или удерживающей катушки главного выключателя, сопровождающееся размыканием силовой цепи;

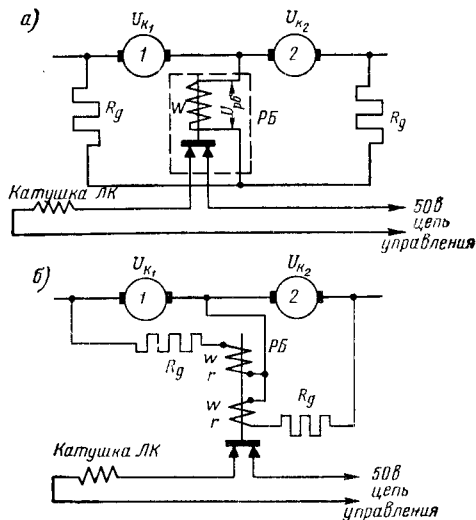
б) включение или выключение катушек, переключающих групповой контроллер на следующую пусковую позицию;

в) включение сигнальных ламп на постах управления.

Схема фиг. 58, б чаще всего используется на моторных вагонах. На электровозах обычно ог-

раничиваются лишь сигнализацией о возникновении боксования.

Одной из разновидностей потенциальной дифференциальной защиты является защита посредством реле рекуперации $РР$, приведённая на фиг. 59. Назначение этого вида защиты — предотвратить толчки тока при вклю-



Фиг. 58. Схема включения реле боксования $PБ$

чении на рекуперативный режим. При этом возможна разность напряжений

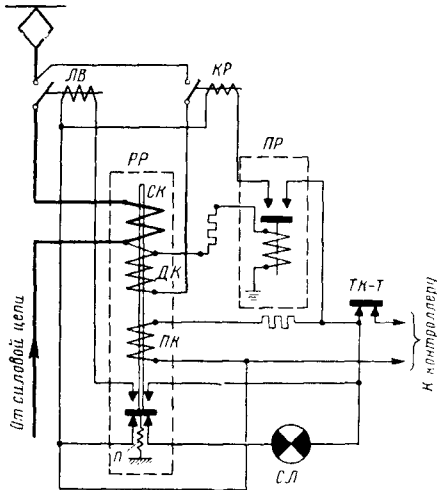
$$\pm \Delta U = U_c - nE,$$

здесь n — число последовательно включённых якорей и E — э. д. с. каждого из них. Трёхкатушечное реле $РР$ поляризованного типа автоматизирует как включение, так и выключение силовой схемы ЭПС.

При включении контроллера через блокировку $ТКТ$ подаётся напряжение к поляризующей катушке $ПК$. HC этой катушки подобрана таким образом, что она одна не может вызвать срабатывания реле. Усиление возбуждения рекуперирующих машин повышает их э. д. с. При достижении э. д. с. по величине примерно 70% от U_c происходит включение промежуточного реле $ПР$, блокировка которого включает электромагнитный контактор $КР$. Этим контактором включается на напряжение контактной сети катушка реле $ДК$, поле которой направлено против поля катушки $ПК$ при $U_c > nE$. При дальнейшем усилении возбуждения величина ΔU уменьшается до нуля.

Затем при превышении э. д. с. рекуперирующих машин величины напряжения сети на 30—40 в изменившееся по направлению магнитное поле катушки $ДК$ создаёт усилие, согласное с усилием катушки $ПК$, и вызывает срабатывание реле $РР$. При этом замыкаются блок-контакты, включающие подъёмную катушку главного выключателя $ЛВ$, вызывая его замыкание. Kontakтами $ЛВ$ закорачивается катушка реле $ДК$. Рекуперативный ток, обтекающий катушку $СК$, вызывает усилие этой катуш-

ки, согласное с усилием катушки $ПК$. Это позволяет при рекуперации удерживать $РР$ во включённом состоянии. Реле не допускает, таким образом, броска тока при включении, защищая тяговые машины от перегрузки.



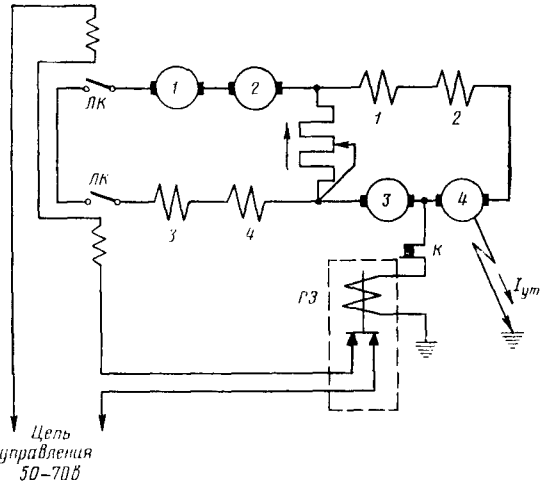
Фиг. 59. Схема включения реле рекуперации $РР$

По мере снижения э. д. с. машин, например, при уменьшении скорости, ток в катушке $СК$ стремится к нулю. При некотором значении этого тока усилие катушки $СК$ настолько упадёт, что усилие катушки $РР$ окажется недостаточным для удержания реле $РР$ во включённом положении. Оно выключится и вызовет размыкание главного выключателя $ЛВ$. Контроль срабатывания реле $РР$ осуществляется включением и выключением его сигнальной лампы $СЛ$.

Защита при падении уровня изоляции

В схемах реостатного торможения (вагоны линия Г и Д метрополитена), где при высоких

скоростях возможно значительное повышение напряжения, предусматривается заземление в какой-либо точке (обычно между двумя якорями) для снижения потенциала по отношению к земле (фиг. 60). В цепи заземления имеется катушка реле заземления $РЗ$. Ток в катушке возникает лишь в том случае, когда где-либо в цепи образуется ток утечки $I_{ут}$, вызываемый повреждением изоляции, круговым ог-



Фиг. 60. Схема включения реле заземления $РЗ$

нём или другими неисправностями машин и аппаратов.

Возбуждение катушки реле $РЗ$ вызывает отключение линейных контакторов $ЛК$ и прекращение торможения.

Защита вспомогательных цепей

Основные виды защиты приведены ниже.

Виды защиты вспомогательных цепей ЭПС

	Плавкий предохранитель	Максимальное реле	Максимально-тепловая	Дифференциальная	Скоростная	Быстродействующая
Схема принципиальная						
Вид защиты	От перегрузок	От перегрузок	От перегрузок	От токов утечки	От разности	От перегрузок и короткого замыкания
Время срабатывания	300 ÷ 20 сек	до 0,6 сек	до 10 сек	до 0,1 сек	до 0,1 сек	до 0,03 сек

РАСПОЛОЖЕНИЕ И МОНТАЖ ОБОРУДОВАНИЯ

ПРИНЦИПЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭЛЕКТРОВОЗАХ

Для размещения оборудования на электро-возах используют почти всё внутреннее пространство кузова и его крышу. Пространство под кузовом обычно занято тележками, тяговыми двигателями и колёсными парами (особенно у электровозов с сочленёнными тележками).

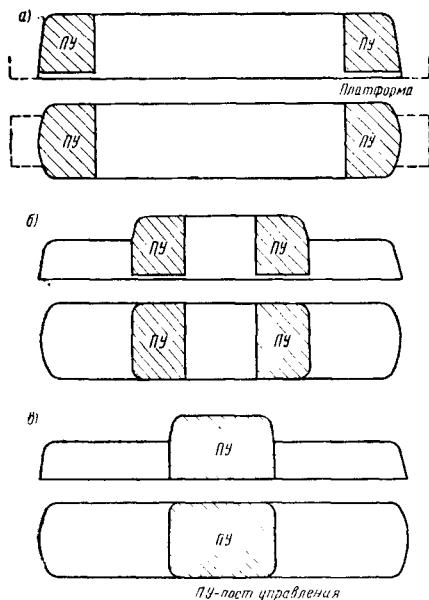
При размещении оборудования руководствуются следующими соображениями:

- безопасностью обслуживания;
- правильностью развески электровоза и соблюдением габаритов;
- удобством съёмки и монтажа оборудования;
- доступностью аппаратов, требующих периодического осмотра и ремонта в эксплуатации;

- сокращением соединительных проводов, кабелей и воздухопроводов;

- сокращением всех опорных конструкций для установки оборудования и упрощением конструкции кузова.

Существенное влияние на размещение оборудования оказывает расположение постов

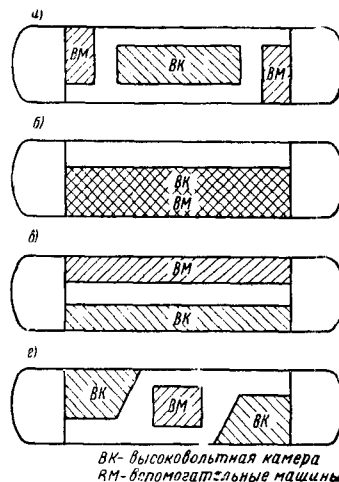


Фиг. 1. Расположение постов управления электровозов: а — концевое расположение постов управления; б — промежуточное расположение постов управления; в — центральное расположение постов управления

управления и проходов между ними. Известны три основные разновидности расположения постов управления: концевое расположение (фиг. 1, а), промежуточное расположение (фиг. 1, б), центральное расположение (фиг. 1, в).

На электровозах магистральных железных дорог наиболее широкое распространение имеет концевое расположение постов управления. Электровозы с промежуточным расположением применяются сравнительно редко.

Центральное расположение постов управления весьма удобно при маневровой работе. Оно широко применяется для промышленных электровозов и часто на маневровых электро-возах магистральных железных дорог (во Франции и других странах). При концевом



Фиг. 2. Принципы расположения оборудования в кузове электровоза: а — двустороннее расположение проходов; б — одностороннее расположение проходов; в — центральное расположение прохода; г — диагональное расположение проходов

расположении кабин управления на маневровых, а иногда и грузовых электровозах перед кузовом выполняются площадки (платформы), которые создают удобства перехода с электровоза на электровоз при двойной тяге и повышают безопасность обслуживающего персонала при авариях. При концевом и промежуточном расположении постов управления большое значение для расположения оборудования имеет размещение соединительных проходов между кабинами.

При двустороннем расположении проходов (фиг. 2, а) высоковольтная камера размещается в центре кузова. Она может извлекаться из кузова и со всех сторон доступна для осмотра. Недостатками такого расположения являются: лишний вес ограждений и каркасов под установку оборудования, стеснённое расположение за счёт использования значительной полезной площади кузова под проходы. Вместе с тем такое расположение обеспечивает лучшую защиту и доступность оборудования. Близость вспомогательных машин к кабинам управления даёт возможность лучше следить за их работой по звуку, но вместе с тем шум их действует утомляюще на локомотивную бригаду.

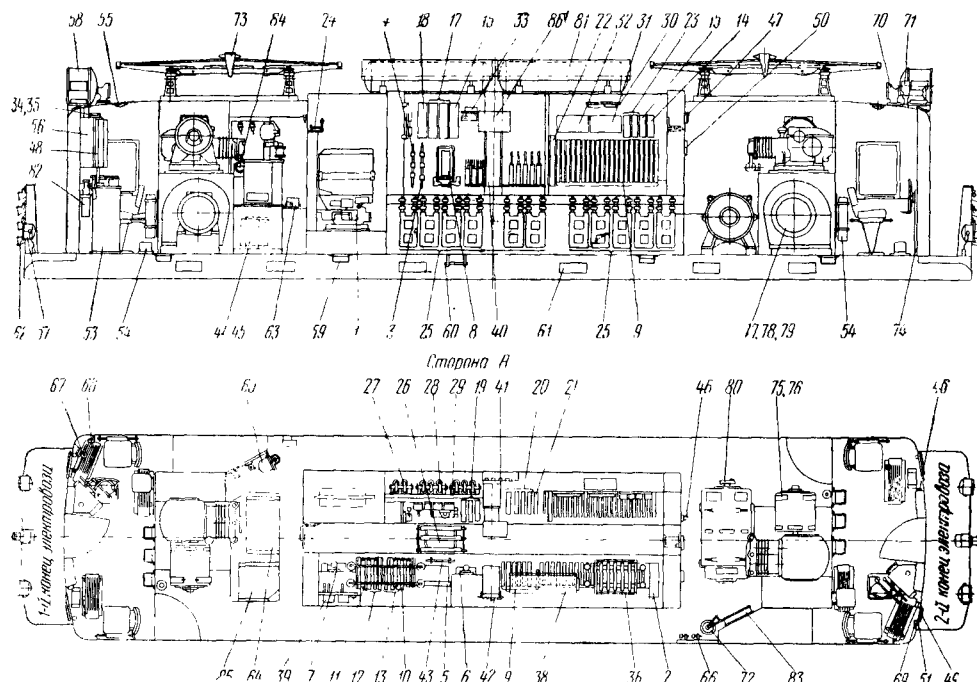
При одностороннем расположении прохода (фиг. 2, б) обычно предусматривается совместное расположение высоковольтной аппаратуры и машин в общей камере. При этом улучшается использование площади кузова, снижается вес несущих конструкций и устройств ограждения. Такое расположение при-

нято например, на электровозе ВЛ19. Недостатком этого расположения является отсутствие непосредственного доступа к вспомогательным машинам при их работе, а также трудность выполнения правильной развески кузова при односторонней его загрузке оборудованием.

Центральное расположение прохода (фиг. 2, б) имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с предыдущими типами

тируется в двух камерах, примыкающих к кабинам управления. Этому расположению свойственно размещение вспомогательных машин посередине кузова (электровоз СК).

При всех способах размещения расположение токоприёмников, тяговых двигателей и оборудования постов управления остаётся вполне определённым. Остальное оборудование в каждом отдельном случае может располагаться более или менее произвольно, одна-



Фиг. 3. Расположение оборудования на электровозе ВЛ22М с рекуперативным торможением: 1—быстродействующий выключатель; 2—групповой переключатель; 3—главный разъединитель; 4—разъединитель вспомогательных цепей; 5—отключатель тяговых двигателей; 6—реверсор; 7—тормозной переключатель; 8—переключатель вентиляторов; 9—13—электропневматические контакторы; 14—реле максимального напряжения; 15—реле пониженного напряжения; 16—реле перегрузки мотор-генератора; 17—реле перегрузки мотор-вентилятора; 18—реле перегрузки мотор-компрессора; 19—21—электромагнитные контакторы; 22—пусковая панель; 23—электромагнитный контактор типа КИМ-220; 24—контактор заземления; 25—пусковые стабилизирующие сопротивления; 26—демпферное сопротивление; 27—демпферное сопротивление мотор-компрессора; 28—демпферное сопротивление мотор-вентилятора; 29—демпферное сопротивление мотор-генератора; 30—сопротивление в цепи реле; 31 и 32—сопротивления регулировки поля возбуждения; 33—добавочное сопротивление к вольтметру; 34—сопротивление затемнения света в кабине управления; 35—сопротивление к лобовому фонарю; 36—сопротивление переходного режима; 38—алюминевый разрядник; 39—панель управления; 40—ящик с предохранителем; 41—соединительные зажимы; 42—панель шунтов амперметров; 43—панель отключающая; 44 и 45—индуктивные шунты; 46—пневматическая блокировка; 47—электрическая блокировка; 48, 49 и 50—кнопочные выключатели; 51—выключатель управления; 53—контроллер машиниста; 54—электронцы; 55—плафон; 56—панель измерительных приборов; 57—буферный фонарь; 58—прожектор; 59—арматура освещения ходовых частей; 60—соединительная контактная шина; 61—коннектор; 62—розетка; 63—регулятор давления; 64—аккумуляторная батарея; 65—агрегат пневматики; 66—клапаны пантографов; 67—кран машиниста; 68—кран вспомогательного тормоза; 69—стеклоочиститель; 70—тифон; 71—свисток; 72—ручной насос; 73—пантограф; 74—колонка ручного тормоза; 75—электродвигатель компрессора; 76—компрессор; 77—электродвигатель вентилятора; 78—генератор управления; 79—центральный вентилятор; 80—мотор-генератор; 81—главный резервуар; 82—огнетушитель; 83—шкаф для инструмента; 84—фильтр компрессора; 85—ящик для смазки; 86—выхлопная камера

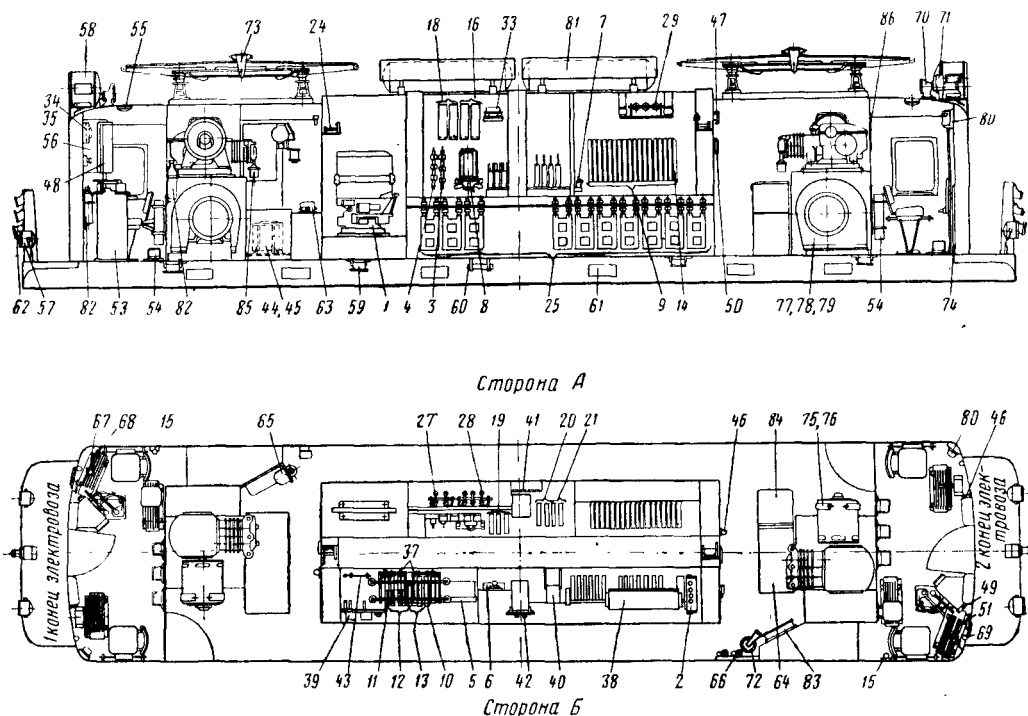
расположения. Наряду с хорошим использованием площади кузова (1 проход), оно позволяет обеспечить симметричную нагрузку и при небольшом весе несущих каркасов и ограждений делает все оборудование легко доступным для осмотра и ремонта. Однако при таком расположении не представляется возможности заключить всю аппаратуру в съёмную высоковольтную камеру.

При диагональном расположении проходов (фиг. 2, г), как правило, аппаратура мон-

ко с учётом соображений, отмеченных выше.

Серьёзной задачей является защита оборудования, находящегося в кузове, а также тяговых двигателей от пыли и особенно снега, проникающих вместе с вентиляционным воздухом.

При расположении электрооборудования в кузове обеспечивается его наилучшая защита от загрязнения, в основном за счёт герметизации люков и дверей, как высоковольтной камеры, так и целиком кузова



Фиг. 4. Расположение оборудования на электровозе ВЛ22^М без электрического торможения: 1—быстродействующий выключатель; 2—групповой контактор; 3—главный разъединитель; 4—разъединитель вспомогательных цепей; 5—отключатель моторов; 6—реверсор; 7—вентиль блокировочный; 8—переключатель вентиляторов; 9—14—электропневматические контакторы; 15—клапан песочный; 16—реле перегрузки мотор-вентилятора; 18—реле перегрузки мотор-компрессора; 19—21—электромагнитные контакторы; 24—контактор заземления; 25—пусковые сопротивления; 27—демпферные сопротивления мотор-компрессора; 28—демпферные сопротивления мотор-вентилятора; 29—демпферное сопротивление; 33—дополнительное сопротивление к вольтметру; 34—сопротивление затемнения света в кабине; 35—сопротивление к лобовому фонарю; 37—сопротивления ослабления поля; 38—алюминевый разрядник; 39—панель управления; 40—ящик с предохранителем; 41—соединительные зажимы; 42—панель шунтовая; 43—штанга отключающая; 44—индуктивный шунт; 45—индуктивный шунт; 46—пневматическая блокировка; 47—электрическая блокировка; 48—50—кнопочные выключатели; 51—выключатель управления; 53—контроллер машиниста; 54—электросеть; 55—плафон; 56—панель измерительных приборов; 57—буферный фонарь; 58—пржектор; 59—арматура освещения ходовых частей; 60—соединительная контактная шина; 61—коннектор; 62—розетка междуэлектровозного соединения; 63—регулятор давления; 64—аккумуляторная батарея; 65—агрегат пневматикки; 66—клапан пантографа; 67—кран машиниста; 68—кран вспомогательного тормоза; 69—стеклоочиститель; 70—тифон; 71—свисток; 72—ручной насос; 73—пантограф; 74—колонка ручного тормоза; 75—мотор компрессора; 76—компрессор; 77—мотор вентилятора; 78—генератор управления; 79—центробежный вентилятор; 80—скоростемер; 81—главный резервуар; 82—огнетушитель; 83—шкаф для инструмента; 84—шкаф для инвентаря; 85—фильтр компрессора; 86—схема

Очень хорошие результаты даёт поддержание в кузове давления, превышающего атмосферное, нагнетанием воздуха отдельным вентилятором или от общей вентиляционной системы тяговых двигателей.

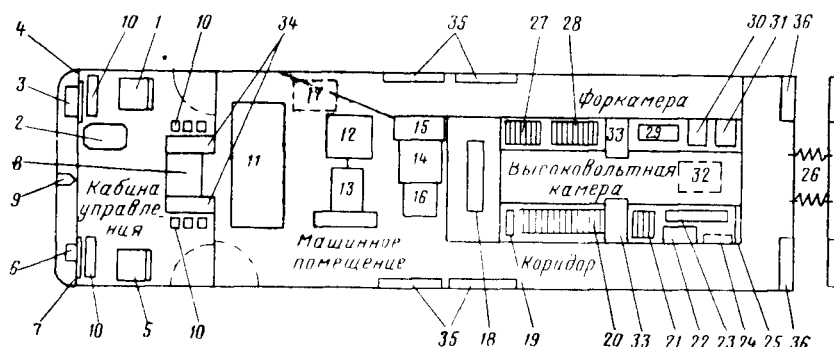
ПРИМЕРЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭЛЕКТРОВОЗАХ

Электровоз ВЛ22^М

На фиг. 3 представлено расположение оборудования на электровозе ВЛ22^М с рекуперативным торможением. У электровоза ВЛ22^М без рекуперативного торможения (фиг. 4) отсутствует, например, мотор-генератор, тормозной переключатель и ряд мелких аппаратов. В обоих случаях принято двустороннее расположение проходов, образующих коридоры между боковыми стенками кузова и высоковольтной камеры, последняя и свою очередь имеет средний продольный проход.

Наличие трёх продольных проходов вызывает стеснённое двухъярусное расположение вспомогательных машин и аппаратов, так, например, мотор-компрессоры расположены над мотор-вентиляторами, контакторы в высоковольтной камере — над пусковыми сопротивлениями. Такое расположение обладало недостатком в том отношении, что при тяжёлых и частых пусках происходит сильное нагревание помещения высоковольтной камеры, усиливающее ионизацию воздуха в ней при работе электрических аппаратов.

Положительной чертой двухъярусного расположения оборудования является удобство обслуживания основных аппаратов, требующих частого ухода, расположенных во втором ярусе. Установка и снятие оборудования в кузове электровоза предусмотрены почти исключительно через крышесные люки. Для этого крыша кузова имеет съёмные люки под пантографами (для выемки вспомогательных машин) и над высоковольтной камерой.



Фиг. 5. Расположение оборудования на восьмьюсном электровозе: 1 — сиденье машиниста; 2 — контроллер; 3 — щиток измерительных приборов; 4 — щиток управления; 5 — сиденье помощника машиниста; 6 — щиток с вольтметром; 7 — щиток управления; 8 — шкаф для одежды; 9 — сигнальный щиток локомотивной сигнализации; 10 — электрические печи; 11 — мотор-генератор; 12 — двигатель компрессора; 13 — компрессор; 14 — двигатель вентилятора; 15 — вентилятор; 16 — генератор-управления; 17 — аккумуляторная батарея (во второй половине кузова); 18 — быстродействующий выключатель цепи тяговых двигателей; 19 — разъединители главной и вспомогательной цепей; 20 — электропневматические контакторы; 21 — электромагнитные контакторы; 22 — сопротивления шунтировки поля; 23 — реле разные; 24 — распределительный низковольтный щиток (во второй половине кузова); 25 — соединительные зажимы; 26 — межкузовной проход; 27 — нулевой групповой контактор (во второй половине кузова — второй групповой контактор); 28 — первый групповой контактор (во второй половине кузова — электропневматические контакторы); 29 — отключатель двигателей; 30 — реверсор; 31 — тормозной переключатель; 32 — индуктивные шунты; 33 — канал для подачи охлаждающего воздуха к пусковым сопротивлениям; 34, 35, 36 — ящики для песка

Электровоз Н8

Расположение оборудования (фиг. 5) в обоих сочлененных кузовах электровоза приблизительно одинаково. Вспомогательные машины расположены вне высоковольтной камеры со стороны поста управления. В отличие от электровоза ВЛ22м в кузове имеется сквозной проход лишь по одну сторону высоковольтной камеры. Пусковые сопротивления расположены в верхней части камеры по всей её ширине и снабжены принудительной вентиляцией.

Электровоз ВЛ19

Электровозы ВЛ19 выпускались с несколькими различными расположениями оборудования, однако во всех случаях оборудование располагалось с односторонним коридором между постами управления. На фиг. 6 представлено расположение оборудования на электровозе при применении в качестве двигателя для двусосного вентилятора двигателя ДДИ. На электровозах этой серии принято также расположение аппаратуры и вспомогательных машин в общей высоковольтной камере и в случае применения двух мотор-вентиляторов. Пусковые сопротивления двумя группами размещены в камерах под пантографами и снабжены принудительной вентиляцией от вентиляционной системы охлаждения тяговых двигателей.

В связи с лучшим использованием площади кузова оборудование расположено значительно более свободно, чем на электровозах ВЛ22м. Вся основная электрическая аппаратура размещена на главном агрегатном каркасе, представляющем вертикально расположенную конструкцию. У внешней стены электровоза в высоковольтной камере имеется проход достаточной ширины для осмотра аппаратов на главном агрегате и вспомогательных машин. Установка и снятие оборудования предусмотрены в основном через кры-

шевые люки, расположенные под пантографами и в середине кузова над высоковольтной камерой.

Устранение двухъярусного расположения вспомогательных машин в сильной степени облегчает их установочные каркасы и упрощает монтаж и демонтаж машин. Недостатком является отсутствие надёжных форкамер вентиляторов. Внутри кузова и высоковольтной камеры создаётся разрежение, что способствует проникновению в них пыли и снега.

РАСПОЛОЖЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ НА МОТОРНЫХ ВАГОНАХ

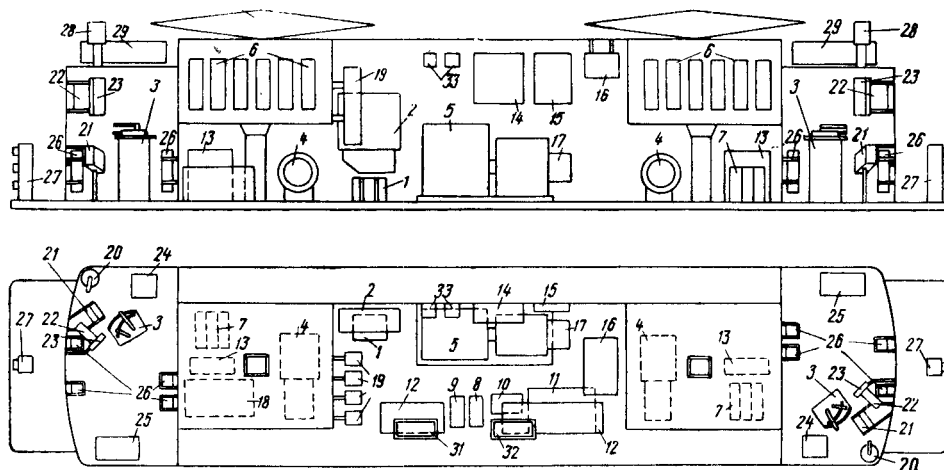
Различают три вида размещения оборудования на моторных вагонах: подкузовное (подвагонное), расположение в высоковольтной камере внутри кузова,

смешанное расположение с подкузовной установкой части аппаратов при размещении другой части внутри кузова.

При расположении оборудования на моторных вагонах, кроме соображений, приведённых в разделе Принципы расположения оборудования на электровозах, руководствуются требованием наилучшего и максимального использования площади пола вагонов для размещения пассажиров. Поэтому, как правило, оборудование располагается под кузовом вагона, при этом условия работы электрооборудования ухудшаются.

Подкузовное расположение оборудования на раме вагона также может быть подразделено на две конструктивные разновидности, а именно: с отдельным расположением аппаратов и с камерным их размещением.

На железных дорогах Союза, включая и метрополитен, исключительное распространение имеет подкузовное расположение оборудования. Только часть оборудования, которое по роду своего назначения не может



Фиг. 6. Расположение оборудования на электровозе ВЛ19: 1—главный разъединитель; 2—быстродействующий выключатель; 3—контроллер машиниста; 4—мотор-компрессор; 5—мотор-вентилятор; 6—пусковые реостаты; 7—индуктивные шунты; 8—реверсор; 9—тормозной переключатель; 10—отключатель моторов; 11—групповой контактор; 12—индивидуальные контакторы; 13—пусковая панель; 14—тормозной агрегат; 15—щиток аккумуляторной батареи; 16—разрядник; 17—генератор управления; 18—аккумуляторная батарея; 19—предохранители вспомогательных машин; 20—кран машиниста; 21—щиток с манометрами; 22—щиток с измерительными приборами; 23—кнопочный выключатель; 24—сиденье машиниста; 25—сиденье помощника машиниста; 26—печи; 27—колонка между электровозного соединения; 28—лобовой фонарь; 29—воздушные резервуары; 30—пантограф; 31—сопротивление шунтировки; 32—демпферное сопротивление вспомогательных машин; 33—клапан пантографа

находиться под рамой кузова вагона, размещается на крыше или в особых помещениях в вагоне.

В качестве примера на фиг. 7а представлена схема раздельного подвагонного расположения оборудования на моторном вагоне серии СР.

На фиг. 8 представлено расположение оборудования под вагоном метрополитена типа Г.

В качестве примера камерного расположения оборудования на фиг. 7б представлено такое расположение для вагона серии СР.

МОНТАЖ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАМЕР

Для повышения безопасности обслуживающего персонала вся высоковольтная аппаратура размещается обычно в специальных защищённых высоковольтных камерах.

Монтаж оборудования в высоковольтных камерах разделяется на индивидуальный и агрегатный или камерный. В первом случае в несъёмную высоковольтную камеру устанавливают каждый аппарат, независимо от других, с индивидуальным исполнением электропроводки к нему и подвода сжатого воздуха.

При агрегатном методе группы оборудования устанавливаются на сборных щитах, каркасах или в специальных камерах вне кузова электровоза. Подбор и расположение аппаратов в отдельных агрегатах даёт возможность выполнить в них все основные электрические и пневматические соединения. Лишь минимальное количество соединений различного рода предусматривается для присоединения к другим агрегатам или к общей системе оборудования электровоза. Основным показателем рационального подбора аппаратов в агрегате является отношение числа внутренних соединений в пределах агрегата к числу внеш-

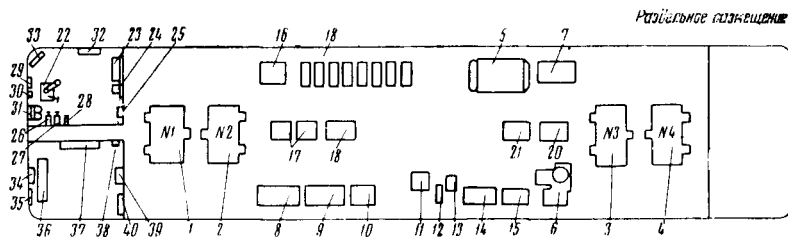
них соединений агрегата с другим оборудованием. Чем выше это отношение, тем рациональнее выполнен агрегат.

Все работы, выполняемые на отдельном агрегате вне кузова электровоза при первоначальной его сборке и ремонте, обходятся в 2—2,5 раза дешевле, чем соответствующие работы в кузове. Примером агрегатного метода может служить высоковольтная камера электровоза ВЛ22^м, общий вид которой представлен на фиг. 9.

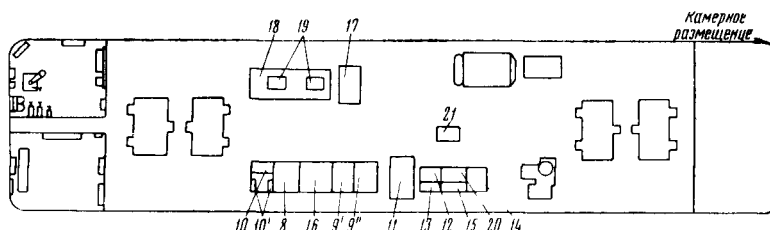
Монтаж высоковольтной камеры как единого агрегата производится вне электровоза и затем она устанавливается в кузов мостовым краном.

Для выемки камеры необходимо разъединение лишь сравнительно небольшого числа проводов, кабелей и воздухопроводов. Целесообразным является также монтаж оборудования в пределах одного крупного агрегата, собранного предварительно из мелких агрегатов — панелей или камер. Существенное значение при выполнении монтажа высоковольтных камер имеет прокладка электропроводки силовых цепей и цепей управления. Обязательным является отделение во всех случаях силовой проводки высокого напряжения от проводки низкого напряжения цепей управления.

При напряжении менее 1500 в наиболее целесообразным является выполнение шинной проводки силовой цепи. При более высоких напряжениях, а также для соединения взаимно перемещающихся элементов оборудования применяется проводка гибкими кабелями или проводами. Они прокладываются с закреплением в изолированных клинчатых скобах или в пучках, прибрандажированных по всей длине к поддерживающим металлическим пруткам; так, например:

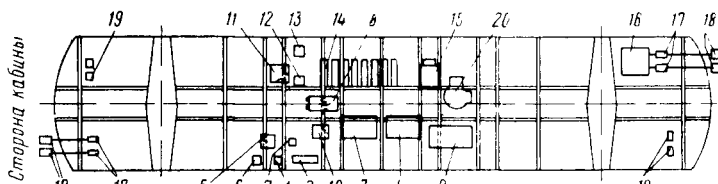


Фиг. 7а. Схема расположения электрического оборудования на моторном вагоне серии СР:
1—4—тяговые двигатели ДК-103А; 5—динамотор ДК-601А с генератором управления ДК-405Б; 6—мотор-компрессор (двигатель ДК-406А, компрессор Э-400); 7—аккумуляторная батарея ЭТП-80; 8—реостатный контроллер ПКГ-320А; 9—пневматический переключатель ПКГ-321А; 10—отключатель тяговых двигателей ОМ-20А; 11—линейные контакторы ДК-300В; 12—главный разъединитель ГВ-20А; 13—предохранители вспомогательной цепи ЯП-47А; 14—вспомогательные контакторы ЯК-23А; 15—реле напряжения и перегрузки вспомогательных машин ЯР-8Б; 16—контакты мостовые и шунтировки поля ЯК-22А; 17—индуктивный шунт ИШ-2А; 18—пусковые сопротивления КФ-16А; 20—демпферные сопротивления вспомогательных машин ЯС-28Б; 21—общие демпферные сопротивления вспомогательных цепей КФ-14А; 22—контроллер машиниста КВ-6Б; 23—распределительный щит РЩ-22Б; 24—кнопочный выключатель КУ-9А; 25—разъединитель цепи управления РМ-7А; 26—кнопочный выключатель КУ-25А; 27—кнопочный выключатель КУ-7И; 28—кнопочный выключатель КУ-16Б; 29—сопротивление прожектора ПЩ-6А; 30—выключатель управления ВУ-7А; 31—клапан пантографа КЛП-52Б; 32—панели сигнальных ламп; 33—щиток измерительных приборов; 34—регулятор давления АК-2А; 35—шунт амперметра; 36—тиристовый разрядник КРР-3В; 37—панель с реле ПР-23А; 38—сопротивление к вольтметру; 39—контакты освещения ДВ-928А; 40—панель сигнальных ламп.



Фиг. 7б. Камерное размещение оборудования на моторном вагоне серии СР

Аппараты в обоих вариантах в основном одного типа, только некоторые типы изменены в связи с изменением конструкции подвески аппаратов. В отличие от приведенной спецификации согласно номерам по схеме при камерном расположении аппаратуры применяются аппараты следующих типов: 18 — пусковые сопротивления типа КФ-6А; 19 — сопротивление шунтировки поля типа КФ-5; 21 — общее демпферное сопротивление вспомогательных машин типа КФ-4; 20 — демпферное сопротивление вспомогательных машин типа ПП-12А; 16 — контакторы мостовые и шунтировки поля типа ПК-36А; 15 — панель с реле напряжения и перегрузки вспомогательных машин типа ПР-32А (одно реле РП-15А, одно реле РП-15Б и два реле Р-3102); 14 — электромагнитные контакторы вспомогательной цепи типа МК-310Б; 9 — реверсор и переключатель напряжения; под № 10* показаны две панели ПР-31А с реле перегрузки РП-15А.



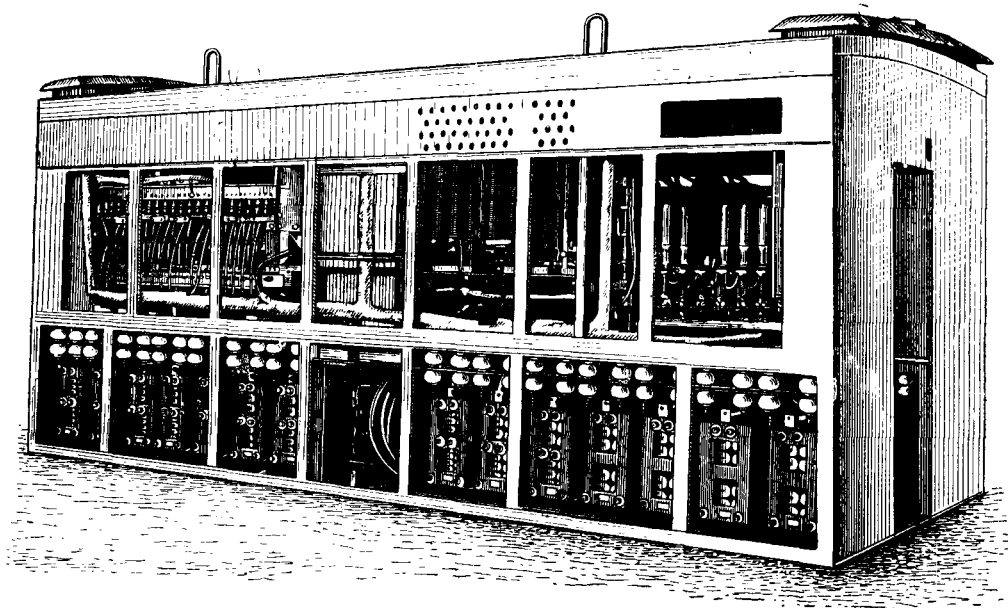
Фиг. 8. Расположение электрического оборудования под кузовом вагона типа Г метрополитена:
1—главный разъединитель ГВ-10Г; 2—главный предохранитель ЯП-13И; 3—групповой реостатный контроллер ПКГ-754; 4—групповой тормозной переключатель и реверсор ПКГ-753; 5—ящик с электромагнитными контакторами ЯК-411; 6—земляная коробка СК-44; 7—силовая коробка СК-43; 8—демпферное сопротивление автомата КФ-10; 9—аккумуляторная батарея; 10—ящик с реле ЯР-7; 11—групповой переходный переключатель ПКГ-755; 12—ящик с демпферным сопротивлением мотор-компрессора ЯК-6; 13—ящик с сопротивлением ЯС-25; 14—пуско-тормозные сопротивления КФ-6; 15—ящик с линейными контакторами ПК-753; 16—коробки соединительных зажимов СК-8; 17—салоник проходной СЛ-1; 18—штепсели междувагонных соединений ШУ-3; 19—розетки междувагонных соединений РЗ-3; 20—мотор-компрессор ДК-406.

крепление голой шинной проводки (фиг. 10, а);
 крепление проводов деревянными клицами (фиг. 10, б);
 крепление проводов металлическими скобами с изоляционными прокладками (фиг. 10, в);

чтобы исключалась возможность провисания и вибрации шин или проводов.

Для крепления шин на подвижном составе рекомендуется принимать расстояние между колодками крепления 250—400 мм.

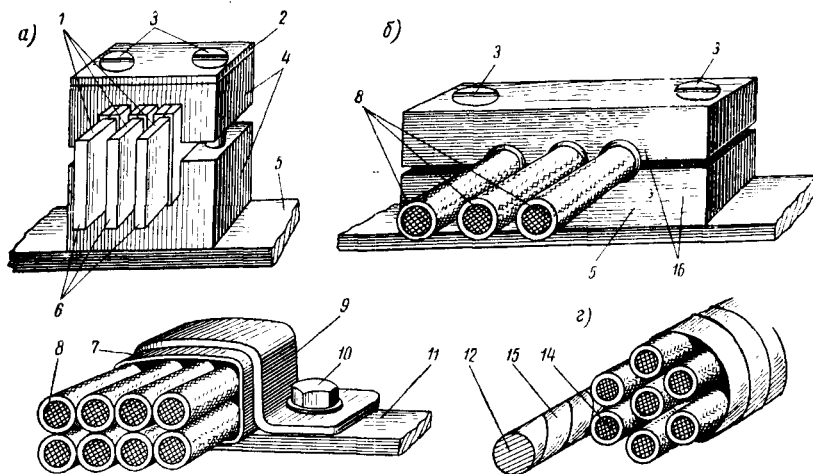
Для крепления проводов и кабелей кли-



Фиг. 9. Высоковольтная камера электровоза ВЛ22^М

крепление проводов и кабелей бандажировкой к поддерживающему стержню (фиг. 10, г).
 Указанные способы крепления проводов

и скобами расстояние (в зависимости от сечения проводов и их расположения) рекомендуется принимать 150—300 мм.



Фиг. 10. Способы крепления проводов: 1, 7—изоляционные гильзы; 2—планка; 3—винт; 4—колодка изоляционная; 5, 11—установочная планка; 6—шины; 8, 14—провод; 9—скоба стальная; 10—болт; 12—пруток стальной; 15—изоляция пучка; 16—клица деревянная

и кабелей в одинаковой степени применимы при монтаже моторвагонных секций.

При постановке колодок, клиц и скоб расстояние между ними должно быть таким,

Вне пределов высоковольтных камер провода прокладываются обычно в защитных желобах или металлических трубах-кондуитах.

МОНТАЖ АППАРАТУРЫ НА ЭЛЕКТРОСЕКЦИЯХ

Монтаж аппаратуры на электросекциях выполняется в соответствии с принятым методом установки оборудования.

При рассредоточении расположении оборудования отдельные аппараты или их группы заключают в защитные камеры (ящики), которые, как правило, подвешивают под рамой кузова на подвесных изоляторах.

Прокладка кабелей под кузовом вагона производится в металлических трубах (конduitах) или специальных металлических желобах. Для этих целей часто используют пространство между хребтовыми балками рамы кузова или полости замкнутых и полужамкнутых профилей конструкции рамы кузова. Однако в ряде случаев необходимо выполнение специальных металлических желобов. При этом важное значение имеет герметичность желобов, так как проникновение в них влаги и пыли приводит к разрушению изоляции кабелей и проводов. Для создания герметичности стыки желобов выполняются с войлочными, резиновыми или иными уплотнениями.

Прокладка кабелей внутри желоба осуществляется обычно с креплением в деревянных клингах или скобах (см. фиг. 10, б и в). Вывод кабелей из желобов осуществляется в металлических трубах или в брезентовых и резиновых рукавах. В последнем случае выходы из желобов осуществляют обычно через деревянные клинги.

Таким же способом осуществляют ввод в аппарат кабеля из металлической трубы. Металлическая труба не должна соприкасаться с кожухом аппарата, изолированным от рамы кузова. При выходе из трубы кабель проходит через специальную металлическую или пластмассовую концевую гайку и через концевую резиновую втулку, предохраняющую изоляцию от повреждения кромками металлической трубы. Между трубой и кожухом аппарата на кабель обычно надевают защитный брезентовый рукав.

Изоляционные вставки в виде специальных изоляторов выполняются и на трубопроводах сжатого воздуха, подходящих к изолированным аппаратам.

Монтаж высоковольтной камеры в кузове моторного вагона принципиально не отличается от монтажа высоковольтных камер электровозов. Как правило, высоковольтные камеры моторных вагонов более сжаты в своих габаритных размерах, чем высоковольтные камеры электровозов. В этих условиях особенно тщательно должна производиться вентиляция этих камер, так как их малые размеры и ограниченная кубатура могут привести к сильной ионизации воздуха, перекрытиям, затяжному дугообразованию в аппаратах и другим опасным явлениям.

Особый интерес для моторвагонного подвижного состава представляет подвагонное камерное расположение оборудования. В этом случае вся основная аппаратура размещается под рамой кузова в общих камерах. Каркас аппаратной камеры зачастую является несущей конструкцией кузова, а внешние стенки

и крышки камеры служат боковыми обтекателями кузова.

При подвагонном камерном расположении возможно выполнение легкоосъемных камер в связи с тем, что все основные провода могут быть выполнены в пределах камеры. В этом случае, даже при высоких напряжениях (до 1500 в включительно) выгодно шинное выполнение монтажа силовых цепей.

При камерном расположении оборудования особое внимание должно уделяться защитным блокировочным устройствам, исключающим возможность поражения высоким напряжением обслуживающего персонала.

ОБОРУДОВАНИЕ ПОСТОВ УПРАВЛЕНИЯ

На посту управления (в кабине машиниста) сосредоточено всё оборудование, необходимое для управления движением поезда. Вместе с тем на посту управления по возможности не должно быть аппаратов, детали которых могут находиться под высоким напряжением. Пост управления должен иметь удобное и просторное помещение для работы локомотивной бригады и обеспечивать хорошую видимость пути и сигналов.

Существует два основных способа расположения оборудования на посту управления — раздельное и групповое на пульте.

Примером раздельного расположения оборудования может служить пост управления на вагонах метрополитена. На фиг. 11 представлена развёртка стенок поста управления вагона типа Г Московского метрополитена. Раздельное расположение оборудования в кабинах управления электровозов представлено в разделе Примеры расположения оборудования на электровозах.

В качестве примера расположения оборудования на пульте является пост управления электровоза И8, где все измерительные приборы, кнопочные выключатели и ряд других аппаратов управления сконцентрированы в специальном пульте управления, расположенном вдоль лобовой стены кузова.

РАСЧЁТ РАЗВЕСКИ ОБОРУДОВАНИЯ

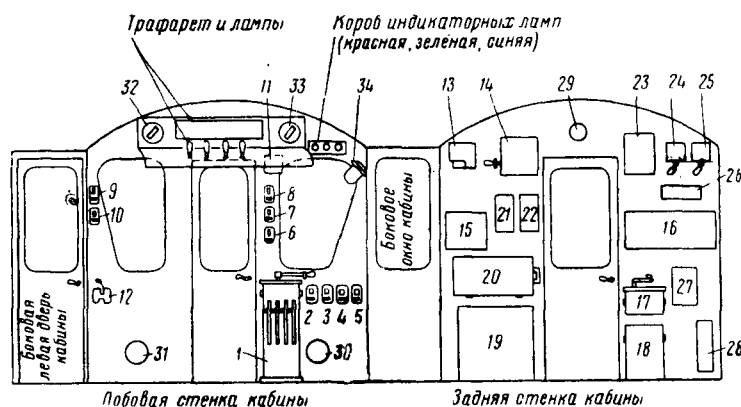
Современные электровозы и вагоны представляют собой тележечные конструкции с симметричным расположением опор тележек под кузовом. Для таких видов подвижного состава условием равновесия будет равенство нулю моментов от веса оборудования относительно осей симметрии (фиг. 12):

$$G_1 x_1 + [G_2 (-x_2)] + \dots + G_n x_n = \Sigma Gx = 0, \\ G_1 y_1 + [G_2 (-y_2)] + \dots + G_n y_n = \Sigma Gy = 0,$$

где $G_1, G_2 \dots G_n$ — вес элементов оборудования в т;

$x_1, x_2 \dots x_n$ — продольные расстояния от центров тяжести до середины (поперечной оси симметрии) кузова в см;

$y_1, y_2 \dots y_n$ — поперечные расстояния от центров тяжести до середины (продольной оси симметрии) кузова в см.

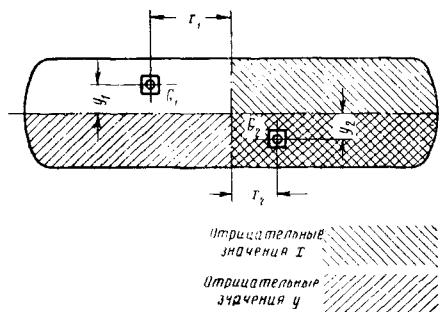


Фиг. 11. Расположение электрических аппаратов в кабине машиниста вагона типа Г: 1 — контроллер машиниста КВ-9; 2 — выключатели открытия правых дверей ВУ-213А; 3 — выключатели закрытия правых дверей ВУ-213А; 4 — выключатель восстановления реле перегрузки ВУ-213А; 5 — управления мотор-компрессора ВУ-213Б; 6 — сигнализация ВУ-213А; 7 — отключения освещения ВУ-213А; 8 — включения освещения ВУ-213А; 9 — открытие левых дверей ВУ-213А; 10 — закрытие левых дверей ВУ-213Б; 11 — управление ВУ-7; 12 — автоматический выключатель автостопа; 13 — регулятор давления АК-6; 14 — автоматический выключатель АВ-1; 15 — ящик низковольтных предохранителей ГЩ-5; 16 — ящик высоковольтных предохранителей ЯП-24; 17 — выключатель аккумуляторной батареи ДП-7; 18 — дверной воздухораспределитель ДВР; 19 — соединительные реле Р-6Б; 20 — разъединитель управления и моторов РУМ-8; 21 — линейное реле Р-6Б; 22 — дверное реле Р-4Д; 23 — панель с реле РР-21; 24 — выключатель отопления ВУ-210; 25 — выключатель аварийного освещения ВУ-7; 26 — дополнительное сопротивление ШС-11; 27 — реле разряда Р-32; 28 — печь ПР-9; 29 — плафоны аварийного освещения; 30 — левая белая фара; 31 — правая белая фара; 32 — левый красный фонарь; 33 — правый красный фонарь; 34 — лампы освещения приборов

Расчёт рекомендуется производить по форме:

№ по пор.	Наименование оборудования	Вес G в т	Gx в тсм	Gy в тсм
		ΣG	$\Sigma Gx \approx 0$	$\Sigma Gy \approx 0$

При несимметричном кузове и смещении опор относительно его поперечной оси, что часто бывает у моторных вагонов с односторонним расположением одного поста управ-



Фиг. 12. Схема к расчёту развески оборудования

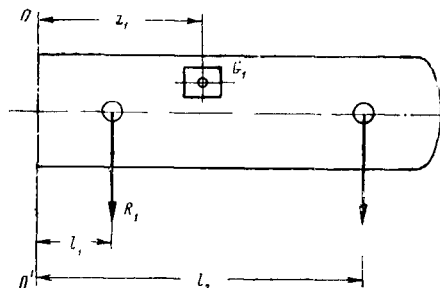
ления в вагоне, а также в электровазах, имеющих сочленение кузова, порядок расчёта несколько изменяется. В этом случае обычно по условиям нагрузки на тележки или по другим соображениям устанавливаются величины желаемых реакций R_1 и R_2 от веса оборудования на опорах (фиг. 13). Для этих

условий должны иметь место следующие соотношения для развески вдоль кузова:

$$\Sigma G = R_1 + R_2 + \dots + m;$$

$$\Sigma Gx = R_1 l_1 + R_2 l_2 + \dots + m \cdot x_m.$$

Поперечная развеска производится точно так же, как и продольная, т. е. сумма моментов веса относительно продольной геометрической оси кузова должна равняться нулю. В качестве исходной оси OO' для расчёта продольной развески может приниматься



Фиг. 13. Схема к расчёту развески оборудования

поперечная ось, проходящая через любую точку продольной оси кузова и перпендикулярная ей. Удобнее всего выбрать в качестве начала отсчёта осевую линию, совпадающую с одним из концов кузова, как это представлено на расчётной схеме фиг. 13. Форма расчёта может быть сохранена той же, что и для предыдущего расчётного случая. При расчёте развески в большинстве случаев не удаётся достигнуть полного уравновешивания. Обычно имеется некоторый неуравновешенный момент: ΔGx или ΔGy , компенсирующийся силой трения в опорах кузова. Величина этого неуравновешенного момента ΔGx и ΔGy не должна

превышать 1—1,5% от момента, возникающего при сосредоточении всей нагрузки на плече, равном половине наибольшего возможного расстояния до осей симметрии.

Величина предельного небаланса, как правило, не должна превышать у электровозов для поперечной развески 0,5—0,6 т·м, а для продольной развески 1—1,5 т·м. Если не представляется возможным устранить небаланс путём перемещения оборудования, прибегают к добалластировке кузова таким образом, чтобы снизить величину момента небаланса до рекомендуемых значений.

МОНТАЖНЫЕ СХЕМЫ

Электрические схемы подразделяются на: принципиальные, принципиально-монтажные и монтажные.

Принципиальные и принципиально-монтажные схемы предназначаются преимущественно для того, чтобы показать взаимосвязь между аппаратами при работе всей системы управления.

Эти схемы не дают представления о взаимном расположении аппаратов и их контактов.

Отличительными чертами монтажных схем являются следующие:

точное соответствие соединительных контактов, указанных в схеме, действительно имеющимся в оборудовании;

соответствие взаимного расположения аппаратов в схеме фактически имеющему место на подвижном составе;

соответствие указанных в схеме проводов, фактически применяемых в системе управления.

В этих схемах отражается также и способ прокладки проводов в кондуктах, желобах, пучках.

Монтажная схема соответствующего электроподвижного состава должна давать точные данные о всех электрических соединениях, применяемых в системе управления.

Монтажная схема содержит наряду с отмеченными выше особенностями:

указание типов применяемых агрегатов, машин и аппаратов; указание марок и сечений применяемых проводов; последовательную маркировочную нумерацию проводов; указание типов или размеров монтажных труб или других деталей прокладки проводов.

В монтажной схеме указываются все аппараты, применяемые на подвижном составе, тогда как в принципиальной схеме ряд вспомогательных аппаратов может не указываться.

Принципиальные схемы, как правило, отражают все цепи системы электрооборудования подвижного состава. Монтажная схема с таким же содержанием оказалась бы громоздкой и неудобной в обращении. В связи с этим монтажные схемы, как правило, выполняются в виде узловых схем: монтажная схема силовых цепей, монтажная схема цепей управления, монтажная схема поста управления, монтажная схема цепей управления в высоковольтной камере и т. д.

Монтажная схема, наряду с технологическим процессом установки аппаратов, является основным документом для выполнения монтажа электрооборудования подвижного состава. Существенное значение имеет правильное на-

именование соединительных зажимов аппаратов и маркировка соединительных проводов.

В качестве исходных номеров для проводов силовых цепей принимают обычно буквенные обозначения с цифровыми индексами (P_5 , P_4 , $ИШ-3$ и т. д.). Для цепей управления обозначение проводов удобнее производить цифровой маркировкой с цифровыми же или буквенными индексами (15, 15А, 15/2 и т. д.). В этом случае за исходные обычно принимают номера поездных проводов. Цифровая и буквенная маркировка служит для обозначения местных проводов данного электровоза или вагона.

Принятая в схеме маркировка должна соответствовать маркировке, нанесённой у зажимов аппаратов, и маркировке проводов постановкой на каждом проводе в месте подхода его к зажиму аппарата специальных металлических бирок-поясков.

ОСНОВНЫЕ МОНТАЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К монтажным материалам относятся: провода; защитные устройства (трубы, фитинги и кожухи); установочные и крепёжные устройства; соединительные устройства и наконечники.

Тяжёлые условия работы проводов на подвижном составе, особенно с точки зрения тряски и резких изменений температур, вынуждают применять специальные провода повышенной гибкости и с усиленной изоляцией согласно ГОСТ 6598—53, основные марки которых указаны в табл. 1.

Т а б л и ц а 1
Марка специальных проводов для электроподвижного состава

Марка провода	Характеристика	Напряжение в в	Наружный диаметр в мм
ПС	Одножильный с хлопчатобумажной оплёткой, пропитанной противогнилостным составом	1 000 3 000 4 000	—
ПСШ	То же, что ПС, но в резиновом шланге	1 000 3 000 4 000	—
ПМУ	Одножильный с усиленной резиновой изоляцией в двух оплётках, пропитанных противогнилостным составом	4 000	—
ПСЭО	16-жильный в общей оплётке, пропитанной противогнилостным составом	1 000 2 000	21,3 26,0
ПСЭШ	16-жильный в общем резиновом шланге	1 000 2 000	26,3 3,33

Основные размеры проводов указанных выше марок приведены в табл. 2. В табл. 3 приведена общая толщина изоляции проводов.

Провода марок ПСЭО и ПСЭШ выпускаются только с одним числом изолированных жил, равным 16. Эти провода предназначены в качестве поездных проводов управления. Сечение каждой жилы 2,5 мм². Изоляция про-

Таблица 2
Основные размеры проводов, применяемых на электроподвижном составе (по ГОСТ 6598—53)

Сечение в мм ²	Номинальный наружный диаметр проводов в мм				
	ПС-1000	ПС-3000	ПС-4000	ПСШ-3000	ПМУ-4000
1,0	4,0	—	—	—	—
1,5	4,3	6,5	9,1	8,8	—
2,5	4,8	7,0	9,6	9,3	—
4,0	5,4	7,5	10,1	9,8	13,6
6,0	5,9	8,3	10,7	10,4	14,2
10	8,5	10,2	12,6	12,3	15,9
16	10,0	11,6	14,0	13,7	17,1
25	11,7	13,3	15,3	16,4	19,3
35	13,3	14,9	16,9	18,0	21,8
43	14,7	16,3	18,8	19,4	22,8
50	15,0	16,6	19,5	19,7	23,1
70	17,3	19,4	21,4	21,6	25,0
95	20,4	21,9	23,5	25,1	27,1
120	22,4	24,0	25,6	27,2	29,2
150	24,5	26,1	27,7	29,3	—
185	27,4	28,9	30,1	32,1	—
240	31,4	32,7	33,9	35,9	—
300	33,7	35,3	36,1	38,5	—

Таблица 3
Толщина изоляции проводов электроподвижного состава

Сечение в мм ²	Толщина изоляции провода в мм			
	ПС-1000	ПС-3000	ПС-4000	ПМУ-4000
1	1	—	—	—
1,5	1	1,8	3	—
2,5	1	1,8	3	—
4	1	1,8	3	4,3
6	1	1,8	3	4,3
10	1,2	2,0	3,2	4,3
16	1,2	2,0	3,2	4,3
25	1,4	2,2	3,2	4,3
35	1,4	2,2	3,2	4,3
50	1,6	2,4	3,4	4,3
70	1,6	2,4	3,4	4,3
83	—	2,6	3,4	4,3
95	1,8	2,6	3,4	4,3
120	1,8	2,6	3,4	4,3
150	2,0	2,8	3,6	—
и выше				

проводов выполняется на 1 000 в для электроподвижного состава магистральных железных дорог с применением в цепях управления напряжения 50 в. Для отдельных типов вагонов метрополитена, цепи управления которых питаются от контактной сети, и, следовательно, возможно возникновение более высоких напряжений, предназначен провод с изоляцией, рассчитанной на напряжение 2 000 в.

Провода электроподвижного состава предназначаются для прокладки в металлических или деревянных желобах, в пучках или в тонкостенных стальных бесшовных трубах-кондуктах. В ряде случаев с целью снижения веса применяют кондукты из лёгких сплавов.

При прокладке проводов изгиб их не рекомендуется делать радиусом менее:

$$R_{\text{изгиба}} > (1,5 - 2,5) d \text{ мм,}$$

где $R_{\text{изгиба}}$ — радиус до осевой линии провода;
 d — диаметр провода с изоляцией.

При выполнении монтажа должны учитываться минимальные зазоры перекрытия по поверхности, приведённые в разделе Электрические аппараты. Провода электроподвижного состава должны выдерживать испытательные напряжения, приведённые в табл. 4.

Таблица 4
Испытательные напряжения для проводов

Толщина изоляции в мм	Напряжение в в	Толщина изоляции в мм	Напряжение в в
1,0	6 000	1,4	8 000
1,2	7 000	1,6 и выше	9 000

В табл. 5 приведены основные размеры кондуктных труб, применяемых на электроподвижном составе. Для защиты от коррозии и повышения уровня изоляции кондуктные трубы перед зарядкой проводами должны быть тщательно очищены и покрашены эмалью или стойким лаком (асфальтовым). Протяжка проводов не должна вызывать повреждения внутренней окраски. Для уменьшения поверхностного трения проводов о стенки труб рекомендуется применять во время монтажа продувку труб и протирку проводов тальком.

Таблица 5
Основные размеры кондуктных труб

Условный размер	Наружный диаметр в мм	Внутренний диаметр в мм	Толщина стенки в мм
1/2"	21,25	17,65	1,8
3/4"	26,75	23,15	1,8
1"	33,5	29,9	1,8
1 1/4"	42,25	38,45	1,9
1 1/2"	48	44	2,0

В табл. 6 приведены рекомендуемые размещения проводов в кондуктных трубах. Не следует, особенно при прямых кондуктах, слишком свободно размещать провода в трубе, так как это может вызывать их механическое повреждение при работе.

Для предотвращения от повреждения изоляции проводов в местах их выхода из кондуктов острые кромки у отверстий труб должны быть разделаны под фаску. Кроме того, по концам труб навёртывают предохранительные концевые муфты.

Нормаль на концевые муфты приведена в табл. 7. Обладая скруглёнными кромками, концевая муфта препятствует повреждению изоляции проводов и уплотняет их. Ещё лучшие результаты получаются при применении удлиненных концевых муфт с резиновыми уплотняющими втулками по нормали, представленной в табл. 8. В этом случае при затяжке концевой муфты провода обжимаются

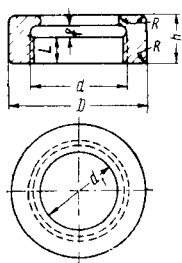
Таблица 6

Размещение проводов в кондуктных трубах

Условный диаметр провода в мм	Количество проводов, размещающихся в кондукте, диаметром					Условный диаметр провода в мм	Количество проводов, размещающихся в кондукте, диаметром				
	1 1/2"	1 3/4"	1"	3/4"	1/2"		1 1/2"	1 3/4"	1"	3/4"	1/2"
5,3	—	—	22	12	7	10,7	11	9	5	—	—
5,5	—	—	21	12	7	11,0	11	8	4	—	—
5,8	—	—	19	10	5	11,3	10	8	4	—	—
6,1	—	—	16	9	5	11,7	9	8	4	—	—
6,4	—	—	15	8	4	12,1	9	7	4	—	—
6,7	—	25	13	8	4	12,5	8	7	3	—	—
7,0	23	23	12	8	4	13,0	8	7	3	—	—
7,3	26	21	11	7	3	13,5	8	5	3	—	—
7,6	23	20	10	5	3	14,0	7	5	—	—	—
7,9	21	19	9	5	—	14,5	5	4	—	—	—
8,2	20	16	8	5	—	15,0	5	4	—	—	—
8,5	20	15	8	4	—	16,0	5	3	—	—	—
8,8	17	14	8	4	—	17,0	4	3	—	—	—
9,2	15	13	7	4	—	18,0	3	—	—	—	—
9,6	14	12	7	3	—	19,0	3	—	—	—	—
10,0	13	11	5	3	—	20,0	3	—	—	—	—
10,3	12	9	5	—	—	21,0	3	—	—	—	—

Таблица 7

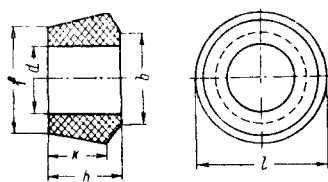
Основные размеры концевых муфт

Диаметр трубной резьбы d в дюймах	D	h	L	f	d_1	R	Вес 1 шт. в кг	Эскиз муфты
	мм							
$\frac{1}{4}''$	28	13	7	3	15	1,5	0,034	
$\frac{3}{4}''$	32	13	7	3	20	1,5	0,055	
1''	40	16	9	4	26	1,5	0,066	
1 1/4''	48	16	9	4	35	1,5	0,074	
1 1/2''	55	16	9	4	41	1,5	0,106	
2''	65	16	9	4	53	1,5	0,108	
2 1/2''	82	18	10	4	68	1,5	0,167	

Материал— Ст. 2 ГОСТ 380—50.

Таблица 8

Основные размеры резиновых уплотняющих втулок

Условный размер трубы в дюймах	Диаметр трубы в мм	d	f	e	b	h	k	Эскиз втулки	
		мм							
1/2"	21,25	13	24	28	18	17	11		
3/4"	26,75	18	29	34	25	19	16		
1"	33,5	23	36	41	29	22	18		
1 1/4"	42,25	28	45	51	37	25	20		
1 1/2"	48	31	51	57	41	27	22		

упругой резиновой втулкой, которая одновременно обеспечивает уплотнение трубы, предотвращая проникновение в неё влаги.

Для вывода из кондуктов отдельных проводов малого диаметра особенно удобны резиновые муфты грибового типа, которые не требуют каких-либо дополнительных стальных деталей. Нормы грибовых муфт представ-

лены в табл. 9. Соединения кондуктных труб между собой производят обычными водо-газовыми соединительными частями или специальными частями облегченной конструкции.

В табл. 10 приведены основные соединительные части, рекомендуемые при сборке кондуктных труб.

Таблица 9

Основные размеры резиновых муфт грибового типа

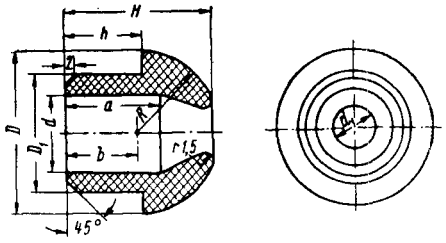
Для труб		D	D_1	H	d	d_1	h	d	R	b	Вес 1 шт. в кг	
мм	дюймы											
22	$\frac{1}{2}$	29	20	33	12	6	20	25	15	19,5	0,013	
27	$\frac{3}{4}$	35	26	36	17	8,5	20	26	18	19	0,021	
33	1	41,5	32	38	24	12,5	20	27	21,5	18	0,030	
42	$1\frac{1}{4}$	50,5	41	48	33	15	25	34	26	24	0,046	
48	$1\frac{1}{2}$	56,5	47	51	39	17,5	25	35	29	24	0,059	
60	—	68	58,5	61	50	24	30	42	35	29	0,105	

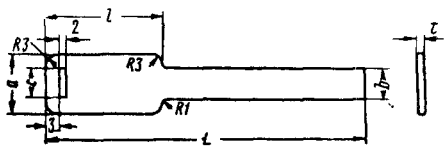
Таблица 10

Соединительные части (фитинги) для трубопроводов (кондуитов)

Наименование детали	ГОСТ или ОСТ	Пример условного обозначения
<i>а) Соединительные части из ковкого чугуна марки КЧ-40-3 ГОСТ 1215-41</i>		
Угольники прямые	ОСТ 755	Угольник 1", к. ч. ОСТ 755
Угольники переходные	ОСТ 756	Угольник $1\frac{1}{2}" \times 1"$, к. ч. ОСТ 756
Тройники прямые	ОСТ 757	Тройник 2", к. ч. ОСТ 757
Тройники переходные	ОСТ 758	Тройник $\frac{3}{2}" \times 1"$, к. ч. ОСТ 758
Тройники с 2 переходами	ОСТ 759	Тройник $2" \times 1" \times 1\frac{1}{2}"$, к. ч. ОСТ 759
Тройники с отводами прямые	ОСТ 760	Тройник с отводом $\frac{3}{4}"$, к. ч. ОСТ 760
Тройники с отводами переходные	ОСТ 761	Тройник с отводом $1" \times \frac{1}{2}"$, к. ч. ОСТ 761
Тройники фасонные	ОСТ 762	Тройник фасонный $1\frac{1}{2}" \times \frac{1}{2}" \times 1\frac{1}{4}"$, ОСТ 762
Кресты прямые	ОСТ 763	Крест 1", к. ч. ОСТ 763
Кресты переходные	ОСТ 764	Крест $\frac{3}{4}" \times 1"$, к. ч. ОСТ 764
Кресты с 2 переходами	ОСТ 765	Кресты с 2 переходами $2" \times 1" \times 1\frac{1}{2}"$, к. ч. ОСТ 765
Кресты с отводами прямые	ОСТ 766	Крест с отводами $\frac{1}{2}"$, к. ч. ОСТ 766
Кресты с отводами переходные	ОСТ 767	Крест с отводами $1" \times \frac{1}{2}"$, к. ч. ОСТ 767
Кресты фасонные	ОСТ 768	Крест фасонный $1\frac{1}{2}" \times \frac{3}{4}" \times 1\frac{1}{4}"$, к. ч. ОСТ 768
Муфты прямые	ОСТ 769	Муфта 1", к. ч. ОСТ 769
Муфты переходные	ОСТ 770	Муфта $1" \times 2"$, к. ч. ОСТ 770
Двойные ниппели	ОСТ 771	Ниппель двойной 2", к. ч. ОСТ 771
Гайки соединительные	ОСТ 772	Гайки соединительные $1\frac{1}{2}"$, ОСТ 772
Футорки	ОСТ 773	Футорка $1\frac{1}{2}" \times 2"$, к. ч. ОСТ 773
Контргайки	ОСТ 774	Контргайка $1\frac{1}{2}"$, к. ч. ОСТ 774
Колпаки	ОСТ 775	Колпак 1", к. ч. ОСТ 775
Пробки	ОСТ 776	Пробки 1", к. ч. ОСТ 776
Седёлки	ОСТ 777	Седёлки $1 \times \frac{3}{4}"$, к. ч. ОСТ 777
Тройники с 2 отводами	ОСТ 3369	Тройники с 2 отводами $1" \times \frac{3}{4}"$, к. ч. ОСТ 3369
<i>б) Соединительные части из Ст. 3 ГОСТ 380-60</i>		
Угольники прямые	ОСТ 3359	Угольник 1", сталь ОСТ 3359
Тройники прямые	ОСТ 3360	Тройник 1", сталь ОСТ 3360
Тройники переходные	ОСТ 3361	Тройник $2" \times 1"$, сталь ОСТ 3361
Кресты прямые	ОСТ 3362	Крест 1", сталь ОСТ 3362
Муфты прямые	ОСТ 3363	Муфта 1", сталь ОСТ 3363
Муфты переходные	ОСТ 3364	Муфта $1" \times 2"$, сталь ОСТ 3364
Ниппель	ОСТ 3365	Ниппель 1", сталь ОСТ 3365
Контргайки	ОСТ 3366	Контргайка 1", сталь ОСТ 3366
Отводы	ОСТ 3367	Отвод 1", сталь ОСТ 3367
Сгоны	ОСТ 3368	Сгон 1", сталь ОСТ 3368

Таблица 11

Основные размеры маркировочных пластин

Наружный диаметр провода в мм	L	l	a	b	c	t	Вес в кг	Эскиз пластины
От 5 до 7	30	12	16				0,001	
» 7 » 16	55	20	11	4	5	0,3	0,0014	
От 16 до 24	80						0,0020	
» 24 » 35	115	30	16	8	9	0,5	0,0070	
» 35 » 45	150						0,0093	

Материал — латунь листовая по ГОСТ 931-41, марки ЛС59-1 по ГОСТ 1019-47.

Нормалн на рекомендуемые маркировочные пластины представлены в табл. 11.

В табл. 12—15 приведены нормалн на наиболее распространённые части, применяемые при сборке кондуктных труб.

Провода для присоединения к аппаратам снабжают наконечниками и маркируют условными номерами в соответствии с монтажной схемой.

Таблица 12

Основные размеры смотровых тройников

d	A	B	L	D	Позиция				Вес одного комплекта в кг	Эскиз тройника
					1 Тройник	2 Крышка	3 Винт	4 Шайба пружинная		
1/2"	62	33	80	42	1/2"	42×2	M3×8	3	0,152	
3/4"	82	40	102	58	3/4"	58×3	M3×8	3	0,263	
1"	103	51	136	70	1"	70×3	M4×8	4	0,398	
1 1/4"	110	66	136	78	1 1/4"	78×4	M6×12	5	0,704	
1 1/2"	134	69	172	98	1 1/2"	98×4	M6×12	6	0,943	
1 3/4"	152	79	190	110	1 3/4"	110×4	M8×15	8	1,144	
2"	164	84	200	120	2"	120×4	M8×15	8	1,363	

Таблица 13

Основные размеры прямых муфт

Номинальный размер в дюймах	Условные проходы	Резьба	l	Число ребер	ρ условных в кг/см²	n	Вес 100 шт. в кг	Эскиз муфты
		d						
1/4	6	1/4"	26	2	16	22,16	3	
1/2	15	1/2"	34	2	16	30,58	8,6	
3/4	20	3/4"	38	2	16	37,44	12,5	
1	25	1"	42	4	16	44,85	18,5	
1 1/4	32	1 1/4"	48	4	16	54,11	28,7	
1 1/2	40	1 1/2"	52	4	16	61,80	36,9	
2	50	2"	56	6	10	75,62	54	

Материал — ковкий чугун ГОСТ 1215—41 КЧ-40-3.

Таблица 14

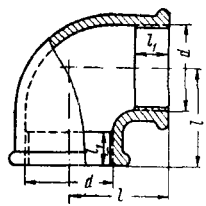
Основные размеры контргаек

Номинальный размер в дюймах	Резьба d	H	Размер под ключ в мм	D	D ₁	Вес 1 шт. в кг	Эскиз контргайки
			S _{ном}				
1/4	1/4"	6	22	25,1	20	0,014	
1/2	1/2"	8	32	36,9	30	0,024	
3/4	3/4"	10	36	41,6	33	0,043	
1	1"	11	46	53,1	43	0,056	
1 1/4	1 1/4"	12	55	63,5	52	0,096	
1 1/2	1 1/2"	14	60	69,3	56	0,144	
2	2"	14	75	86,5	70	0,182	

Материал — ковкий чугун ГОСТ 1215—41, марка КЧ-40-3.

Таблица 15

Основные размеры прямых угольников

Номинальный размер в дюймах	Условные проходы	Резьба трубная		l	P условные кг/см ²	Вес 100 шт. в кг	Эскиз угольника
		d	l_1				
$\frac{1}{4}$	6	$\frac{1}{4}$ "	10	24	16	5	
$\frac{1}{2}$	15	$\frac{1}{2}$ "	14	32	16	12	
$\frac{3}{4}$	20	$\frac{3}{4}$ "	16	36	16	18,2	
1	25	1"	18	40	16	28,8	
1 $\frac{1}{4}$	32	1 $\frac{1}{4}$ "	20	46	16	40,4	
1 $\frac{1}{2}$	40	1 $\frac{1}{2}$ "	22	52	16	56,4	
2	50	2"	24	60	10	81	

Материал — ковкий чугун ГОСТ 1215—41, марка КЧ-40-3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журнал, Elektrische Bahnen № 1, 1953.
2. Там же, № 6, 1953.
3. Там же, № 7, 1953.
4. Там же, № 9, 1953.
5. Там же, № 10, 1953.
6. Там же, № 4, 1954.
7. Там же, № 6, 1954.
8. Там же, № 10, 1954.
9. Журнал Revue Generale des Chemins de Fer, № 9, 1949.
10. Там же, № 3, 1953.
11. Там же, № 11, 1953.
12. Там же, № 12, 1953.
13. Там же, № 1, 1955.
14. Там же, № 3, 1955.
15. Там же, № 4, 1955.
16. Я. Е. Гольдштейн и А. И. Демьянович. Вопросы прочности крупномодульных шестерён, закалённых токами высокой частоты. «Вестник машиностроения», 1950, № 1.
17. Р. С. Николаев и Е. Ф. Михненко. Новая технология изготовления тяговых зубчатых передач. «Вестник машиностроения», 1950, № 1.
18. Е. Н. Болховитникова. Повышение усталостной прочности закалённых т. в. ч. шестерён путём обработки дробью. «Вестник машиностроения», 1950, № 7.
19. Л. М. Школьник и В. П. Девяткин. Повышение прочности шестерён дробеструйным наклёпом. «Вестник машиностроения», 1950, № 12.
20. И. В. Кудрявцев и Л. И. Совко. Влияние поверхностной закалки токами высокой частоты и последующей обкатки на усталостную прочность. Труды ЦНИИТМАШ, кн. 40, Машгиз, 1951.
21. Е. Т. Котикова. Повышенная долговечность крупномодульных шестерён. Академия наук СССР. Институт технико-экономической информации, тема № 14, № К-55-151, 1955.
22. В. А. Гавриленко. Цилиндрическая эвольвентная зубчатая передача. Машгиз, 1956.
23. В. Э. Смирнов, И. А. Болтовский. Коррегирование, обеспечивающее равнопрочность зубьев. «Расчёт и конструирование деталей машин». Сборник статей. Машгиз, 1956.
24. И. А. Болтовский. Коэффициент формы зуба. Журн. «Вестник машиностроения», 1953, № 8.
25. Л. Н. Решётов. Влияние износа зубьев на распределение нагрузок и выбор параметров при коррегировании. «Передачи в машиностроении», АН СССР, 1953.
26. Г. Н. Скундлин. Некоторые вопросы коррегирования тяжело нагруженных шестерён. Журн. «Вестник машиностроения», 1954, № 3.
27. С. В. Рабинович. Коэффициент формы зуба с учётом силы трения и переменности напряжений для цилиндрических прямозубых коррегированных передач. «Труды Московского ордена Ленина энергетического института имени В. М. Молотова», вып. XVII, Госэнергоиздат, 1955.
28. А. И. Петрусевич. Зубчатые и червячные передачи. Энциклопедический справочник «Машиностроение», т. 2. Машгиз, 1948.
29. Л. Д. Часовников. Расчёт зубчатых передач. Машгиз, 1951.
30. А. А. Вайсзон. Зубчатые передачи кранов. Машгиз, 1945.
31. Справочник машиностроения, т. 3, Машгиз, 1951.
32. И. А. Болтовский. К вопросу об определении коэффициента формы зуба. Журн. «Вестник машиностроения», 1950, № 4.
33. М. С. Полоцкий. Исходный и рабочий контуры зубчатой рейки. «Теория и расчёт зубчатых передач и подшипников скольжения». ЦНИИТМАШ, книга 13.
34. А. Е. Алексеев. Тяговые электродвигатели. Трансжелдориздат, 1951.
35. И. Н. Шляхто и Д. Д. Захарченко. Подвижной состав электрических железных дорог, т. II. Тяговые электродвигатели и вспомогательные машины, Трансжелдориздат, 1951.
36. М. Д. Находкин. Тяговые электродвигатели постоянного тока. Труды Научно-исследовательского института электрификации железных дорог. Выпуск XII, Трансжелдориздат, 1935.
37. Инженерно-технический справочник. Подвижной состав электрических железных дорог. Выпуск I, глава I, Трансжелдориздат, 1938, стр. 1—138.
38. Н. Н. Сидорова. Испытания тяговых электродвигателей, ч. I, изд. КУБУЧ, 1934.
39. А. Б. Иоффе. Современные тяговые двигатели с точки зрения их параметров. Журнал «Электрическая тяга» № 4, 1933.
40. Советские магистральные электровозы. Машгиз, Трансжелдориздат, 1941.
41. В. А. Раков и П. К. Пономаренко. Электровоз. Трансжелдориздат, 1956.
42. Магистральные электровозы. Альбом чертежей, т. III. «Тяговые двигатели и вспомогательные машины». Машгиз, Трансжелдориздат, 1942.
43. Инструкция И-5025 по обслуживанию тяговых двигателей и вспомогательных машин моторвагонной секции типа СР на 1650/3300 в. Выпуск I, Министерство электропромышленности, Москва, 1951.
44. Е. Г. Бовэ. Электровоз И8. Трансжелдориздат, 1956.