

УСТРОЕНЫ И РАБОТАЕТ КАК ТЕПЛОВОЗ

В.А. ДРОБИНСКИЙ
П.М. ЕГУНОВ



КАБИНА МАШИНИСТА

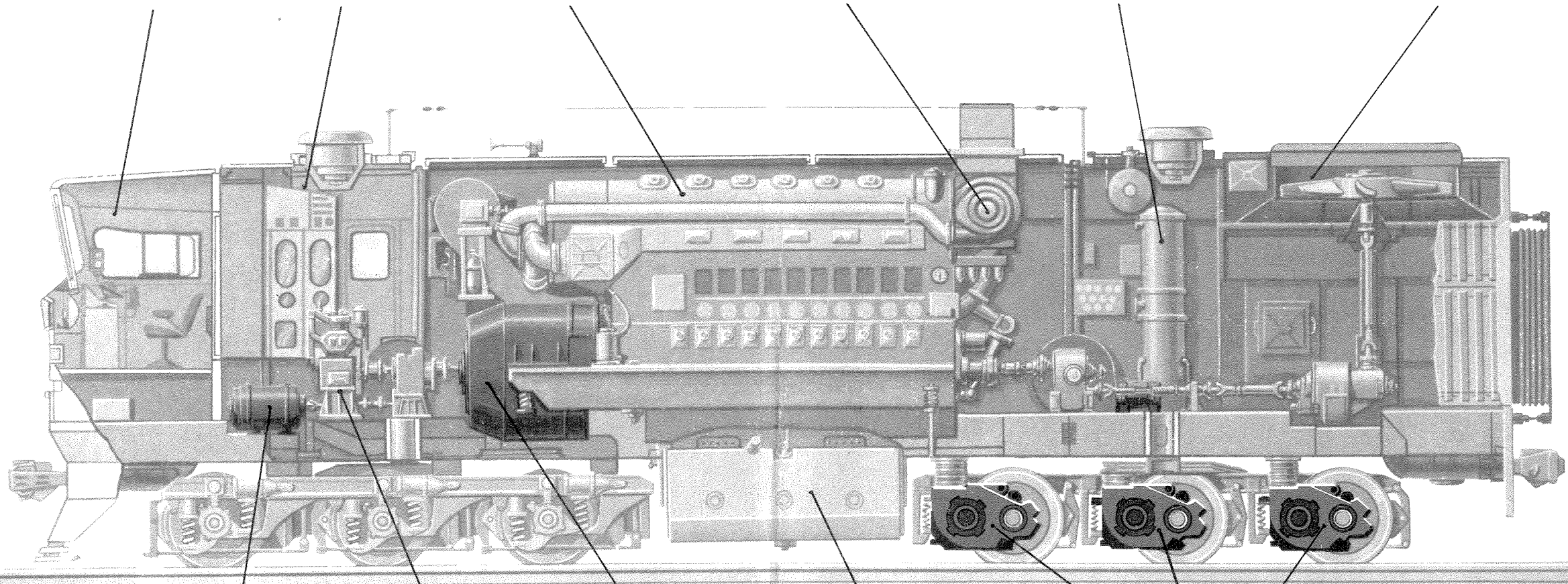
АППАРАТНАЯ КАМЕРА

ДИЗЕЛЬ

ТУРБОКОМПРЕССОР

ВОДОМАСЛЯНЫЙ ТЕПЛОБМЕННИК

КАМЕРА ОХЛАЖДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА



ДВУХМАШИННЫЙ АГРЕГАТ

ТОРМОЗНОЙ КОМПРЕССОР

ТЯГОВЫЙ ГЕНЕРАТОР

ТОПЛИВНЫЙ БАК

ТЯГОВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

**В.А.ДРОБИНСКИЙ
П.М.ЕГУНОВ**

КАК УСТРОЕН И РАБОТАЕТ

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ



МОСКВА • ТРАНСПОРТ • 1980

scan: The Stainless Steel Cat

ТЕПЛОВОЗ

	ОТ АВТОРОВ
1	ЧТО ТАКОЕ ТЕПЛОВОЗ
2	ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ДИЗЕЛЕЙ
3	МОЩНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ ДИЗЕЛЯ
4	БЛОК ДИЗЕЛЯ, ВТУЛКИ И ПОРШНИ
5	ШАТУННО-КРИВОШИПНЫЙ МЕХАНИЗМ
6	МЕХАНИЗМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ
7	ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА И АППАРАТУРА
8	АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ
9	ОХЛАЖДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДИЗЕЛЯ
10	ОЧИСТКА МАСЛА, ТОПЛИВА И ВОЗДУХА
11	ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ
12	ТЯГОВЫЙ ГЕНЕРАТОР
13	ДВУХМАШИННЫЙ АГРЕГАТ И ТАХОГЕНЕРАТОРЫ
14	ТЯГОВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ
15	АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ
16	КОММУТАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ
17	РЕЛЕ И РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ
18	ТРАНСФОРМАТОРЫ И МАГНИТНЫЕ УСИЛИТЕЛИ
19	ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ АППАРАТЫ
20	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ
21	ЭКИПАЖ И КУЗОВ

ББК 39.235
Д75
УДК 629.424.1

Книгу написали: инж. В. А. Дробинский — главы I—10 и 21;
канд. техн. наук П. М. Егунов — главы 11—20.

Рецензенты: кандидаты техн. наук Н. Н. Каменев,
Б. Г. Каменецкий, Р. А. Насыров.

Дробинский В. А., Егунов П. М.

Д75 Как устроен и работает тепловоз. — 3-е изд., перераб. и доп. —
М.: Транспорт, 1980. 367 с., ил., табл.

В книге в форме, доступной для читателя, знакомого с основами физики и химии, рассмотрены особенности дизелей, электрического и механического оборудования современных тепловозов. Даны основные понятия об электрических схемах, принципах их чтения.

3-е издание отличается описанием новых типов тепловозов, созданных за последние 15 лет. 2-е издание вышло в 1963 г.

Книга предназначена для железнодорожников массовых профессий. Может быть использована как учебное пособие при подготовке машинистов и помощников машинистов локомотивов в технических школах железнодорожного транспорта и ПТУ, а также для учащихся старших классов.

Д 31802-105 — 105-80 3602030000
049(01)-80

ББК 39.235

6Т1.2

© Издательство «Транспорт». 1980

ОТ АВТОРОВ

«На Октябрьской железной дороге была произведена первая проба тепловоза Гаккеля. Тепловоз быстро и плавно брал с места. Предполагается, что тепловоз сможет поднять до 80 000 пудов». Так газета «Вечерняя Москва» в ноябре 1924 г. сообщила своим читателям о создании в Ленинграде первого отечественного (и первого в мире!) магистрального тепловоза, проект которого был разработан советскими специалистами под руководством профессора Я. М. Гаккеля. С тех пор прошло 56 лет. Только за последние два десятилетия Харьковский, Коломенский, Ворошиловградский и другие тепловозостроительные заводы выпустили десятки тысяч тепловозов различной мощности, которые возят грузовые и пассажирские поезда. Тепловозы обслуживают почти 100 000 км магистральных железных дорог, т. е. 70 процентов общей их протяженности. Если к этому добавить, что основную часть всей маневровой работы на станциях выполняют также тепловозы, то огромное значение тепловозной тяги для наших железных дорог станет очевидным. Авторы этой книги стремились не только доступным языком описать устройство и работу современных

тепловозов, но и ответить на многочисленные «почему», возникающие у читателей в процессе изучения этого дизель-электрического локомотива, воплотившего новейшие достижения науки и техники.

Почему необходим наддув дизеля и что это такое? Зачем нужна передача? Почему на тепловозах применяются тяговые электродвигатели последовательного возбуждения? Чем вызван переход на тяговые генераторы переменного тока? К чему стремятся конструкторы, совершенствуя тепловозы и их агрегаты?

На все эти и многие другие вопросы читатель найдет ответы в книге.

Со времени выхода в свет второго издания этой книги (1963 г.) в локомотивном хозяйстве железнодорожного транспорта произошли большие изменения. На смену тепловозам ТЭЗ мощностью 2940 кВт (4000 л. с.) на наиболее грузонапряженных направлениях полигона тепловозной тяги пришли тепловозы 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В мощностью 4400 кВт (6000 л. с.). Новое поколение грузовых дизель-электрических локомотивов представлено тепловозами 2ТЭ116, на которых применены четырехтактные дизели, электрическая передача переменного тока, электрический привод

вспомогательного оборудования, удобная, с хорошей звукоизоляцией кабина машиниста и ряд других новшеств. На железные дороги страны вышли двухсекционные тепловозы 2ТЭ121 мощностью 5880 кВт (8000 л.с.) — первые грузовые отечественные тепловозы с опорно-рамным подвешиванием тяговых электродвигателей, обеспечивающим повышение их эксплуатационной надежности. Созданы пассажирские тепловозы ТЭП70 и ТЭП75 мощностью соответственно 2940 кВт (4000 л.с.) и 4400 кВт (6000 л.с.). Для тепловозов ТЭП75 разработан и изготовлен самый мощный в мире тепловозный дизель. Парк маневровых тепловозов начал пополняться восьмиосными дизель-электриче-

скими локомотивами ТЭМ7 мощностью 1470 кВт (2000 л.с.).

Поэтому новое, третье издание книги коренным образом переработано. С устройством тепловозных дизелей, электрической передачи, экипажной части и вспомогательного оборудования дизель-электрических локомотивов читатель знакомится на примере современных тепловозов 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, 2ТЭ116 и ТЭП70.

Авторы выражают сердечную благодарность официальным рецензентам рукописи кандидатам технических наук Н. Н. Каменеву, Б. Г. Каменецкому, Р. А. Насырову, а также всем, кто своими деловыми советами, замечаниями и рекомендациями содействовал улучшению содержания отдельных глав книги.

К ЧЕМУ СТРЕМЯТСЯ КОНСТРУКТОРЫ?

Вспомним, как приводится в движение обыкновенный велосипед. Нажимая ногами на педали, велосипедист создает момент силы, или *вращающий момент*, под действием которого происходит вращение колеса. Вращающий момент передается заднему колесу с помощью замкнутой (бесконечной) цепи. Просто и надежно! Большая сила нажатия на педаль необходима при трогании с места. Естественно, что ее величина по мере увеличения скорости существенно изменяется. Следовательно, для различных условий (режимов) езды велосипедист обычно меняет силу нажатия на педаль и создает, таким образом, на заднем колесе вращающий момент различной величины.

Обратимся теперь к локомотиву. Слово «локомотив» происходит от сочетания латинских слов *loco* и *moveo* — сдвигаю с места и буквально переводится как движущий, «тянущий по месту» (по рельсам) или тягач. Подобно велосипеду локомотив должен быть устроен так, чтобы сила тяги его изменялась по мере регулирования скорости в соответствии с

изменением профиля пути, изменением массы (веса) прицепляемых к локомотиву составов и т. п.

Нетрудно представить, что при трогании с места любой локомотив для быстрого разгона поезда обычно должен развивать большую силу тяги, чтобы преодолеть силу инерции массы поезда, повышенное трение шеек осей колесных пар в буксовых подшипниках и т. п. Но что значит большую, где предел ее роста? Сила тяги локомотива возникает в результате отталкивания движущих колес от поверхности рельсов, или, как принято говорить, в результате сцепления колес с рельсами. А оно (сцепление) имеет предел. Стоит силе тяги чуть превысить наибольшую силу сцепления — колеса начинают проскальзывать по рельсам (боксовать). При этом величина сцепления колес с рельсами резко уменьшается и скорость поступательного движения снижается, а это на тяжелом (крутом и длинном) подъеме может привести даже к остановке поезда. Значит, сила тяги может возрасти только до тех пор, пока не будет нарушено сцепление колес с рельсами.

Но нельзя допустить, чтобы и скорость локомотива оказалась выше его

конструкционной скорости, т. е. скорости, на которую рассчитана конструкция локомотива. Иначе (например, при входе в кривую) возможны сход поезда с рельсов или повреждение отдельных частей локомотива. Пусть наибольшей возможной силой тяги будет $F_{\text{наиб}}$ (рис. 1), а наибольшей возможной скоростью — $v_{\text{наиб}}$.

Известно, что мощность любой транспортной машины пропорциональна произведению силы тяги на скорость движения этой машины. Допустим, при разгоне поезда до скорости v_1 тепловоз достиг своей наибольшей мощности в точке A , соответствующей силе тяги $F_{\text{наиб}}$. Естественно, конструкторы стремятся к тому, чтобы мощность локомотива использовалась наиболее полно во всем диапазоне скоростей движения поезда, т. е. от скорости v_1 до конструкционной скорости $v_{\text{наиб}}$. Ведь тогда можно больше и быстрее перевезти грузов по железным дорогам. Как этого добиться?

Из школьного курса математики известна особенность формы одной замечательной кривой (гиперболы): в каждой ее точке произведение абсциссы точки на ее ординату есть величина постоянная. Кривой, соединяющей точки A и B (точка B соответствует наибольшей скорости $v_{\text{наиб}}$), конструкторы тепловозов и стараются придать форму *гиперболы*, так как в любой ее точке произведение силы тяги F на скорость v локомотива, т. е. его мощность, будет величиной постоянной. Все точки, лежащие выше этой кривой, соответствуют мощностям, которую локомотив развивать не в состоянии, а точки, лежащие ниже,

соответствуют мощностям меньше максимальной, и только точки на самой кривой соответствуют наибольшей мощности локомотива при любых значениях скорости (от v_1 до $v_{\text{наиб}}$). Таким образом, именно гипербола соответствует *наивыгоднейшему* характеру изменения силы тяги F в зависимости от скорости v тепловоза. Эта зависимость $F=f(v)$ называется *тяговой характеристикой* тепловоза.

Движению поезда всегда противостоят силы, сопротивляющиеся движению, или сокращенно *силы сопротивления*, которые тоже зависят от скорости: при ее повышении они возрастают. Силы сопротивления движению поезда возрастают также с увеличением его массы или крутизны подъема железнодорожного пути. Если в системе координат (сопротивление W — скорость v) изобразить силы сопротивления движению поезда какой-то определенной массы в зависимости от скорости (на подъемах разной крутизны, на горизонтальном пути и спуске), то получится группа кривых, смещенных относительно друг друга по вертикали (рис. 2, нижняя кривая для случая, когда основное сопротивление превышает крутизну уклона).

Совместим теперь на одном графике (рис. 3) тяговую характеристику тепловоза с кривыми сопротивлений. Координаты точек пересечения тяговой характеристики с кривыми сопротивлений показывают те значения скоростей и те значения силы тяги тепловоза, которые будут иметь место при движении поезда на данном участке (подъеме, площадке, спуске). При этих значениях скоростей сила тяги тепловоза и силы сопро-

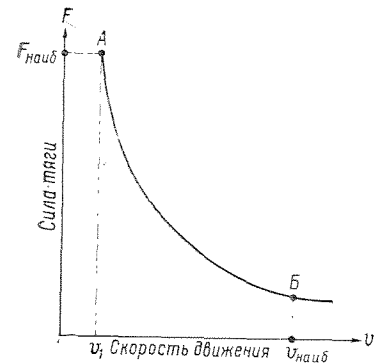


Рис. 1. Тяговая характеристика тепловоза

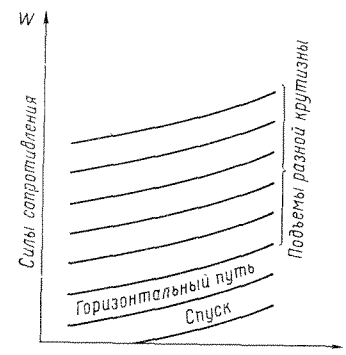


Рис. 2. Кривые сопротивления движению поезда

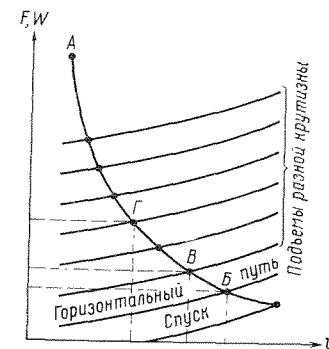


Рис. 3. График равномерных скоростей

тивления оказываются равными. Поэтому поезд по данному участку будет двигаться с *установившейся, т. е. равномерной* (равновесной), скоростью. Например, пусть локомотив с составом движется по прямому и равнинному (горизонтальному) участку пути. Требуется определить силу тяги F и скорость v равномерного движения при наибольшей мощности локомотива. Они определяются точкой B пересечения гиперболы с кривой сопротивления. Когда локомотив с составом попадает на участок подъема (едет в гору), то режим его движения изменяется: скорость падает, а сила тяги возрастает (см. например, точки B и Γ). Если состав с локомотивом переходит на участок пути с небольшим спуском, то скорость возрастает, а сила тяги падает (в пределах тяговой характеристики наибольшая мощность остается постоянной).

А что если поезд перейдет на участок пути с длинным и крутым спуском? (На рисунке он не пока-

зан.) Тогда машинисту придется не только отключить тягу, но и применить тормоза, чтобы не превышать конструкционную скорость на данном участке.

Итак, конструкторы локомотивов стремятся приблизить тяговую характеристику тепловоза к гиперболической. Однако достигнуть этого далеко не так просто.

ПОЧЕМУ УСЛОЖНЯЕТСЯ СВЯЗЬ ДИЗЕЛЯ С КОЛЕСАМИ ТЕПЛОВОЗА

Независимо от того, какой двигатель установлен на локомотивах (тепловой, электрический), колеса их приводятся во вращательное движение в результате преобразования тепловой или электрической энергии в механическую. Поэтому на любом локомотиве должно быть оборудование, которое преобразовывало бы тепловую или другой вид энергии в механическую. На паровозе для этой цели применяется паровая машина, на элек-

тровозе таким оборудованием являются электродвигатели. На тепловозе дело обстоит гораздо сложнее.

Тепловой двигатель, установленный на этом локомотиве, преобразовывает тепловую энергию в механическую. Однако механическая энергия, получаемая на валу двигателя, непосредственно для вращения колес не используется. Казалось бы, чего проще: взять да соединить поршни теплового двигателя с колесами при помощи шатунов, какие применяются у паровозов. Но конструкторы после многих попыток отказались от такого простого соединения и были вынуждены искусственно усложнить конструкцию тепловоза.

На первый взгляд этапы преобразования химической энергии топлива в кинетическую энергию движения поезда, осуществляемые на тепловозах, кажутся странными и нецелесообразными. В самом деле, механическая энергия, получаемая на валу двигателя внутреннего сгорания, сначала превращается в энергию другого вида, например в электрическую, которая затем снова преобразовывается в механическую. Может быть, при таком двойном преобразовании энергии уменьшается масса тепловоза, упрощается его оборудование или уменьшаются потери энергии? Нет. Наоборот, оборудование, применяемое для этой цели на тепловозах, отличается сложностью и состоит из ряда машин, агрегатов и аппаратов специальной конструкции. Чтобы представить себе размеры этого оборудования, достаточно заметить, что у большинства тепловозов оно заполняет примерно четвер-

тую часть локомотива, а масса его составляет одну треть массы тепловоза. Например, общая масса электрической передачи двухсекционного тепловоза 2ТЭ10Л достигает 84 т. Кроме того, в этом промежуточном оборудовании на преодоление всякого рода сопротивлений расходуется почти 20% энергии, вырабатываемой тепловым двигателем.

Почему же конструкторы вынуждены устанавливать на тепловозе такое сложное и тяжелое оборудование? Почему механическая энергия, получаемая на валу двигателя внутреннего сгорания, не может быть использована непосредственно для вращения колес?

Чтобы это стало понятным, обратимся к самому простому по устройству локомотиву — паровозу и проследим, как передается вращающий момент от его паровой машины к движущим колесам. На рис. 4, а виден цилиндр с размещенным внутри поршнем. Поршень и колесо с кривошипом соединены между собой с помощью промежуточной детали — шатуна. Механизм, посредством которого возвратно-поступательное движение поршня преобразовывается во вращательное, называется *шатунно-кривошипным механизмом*. Если заставить поршень двигаться в цилиндре, то вместе с ним начнет двигаться шатун и вращаться колесо. Собственно механизм образования вращающего момента на движущем колесе паровоза и на заднем колесе велосипеда, как это ни странно на первый взгляд, один и тот же, только у движущегося по рельсам паровоза роль велосипедиста выполняет котел

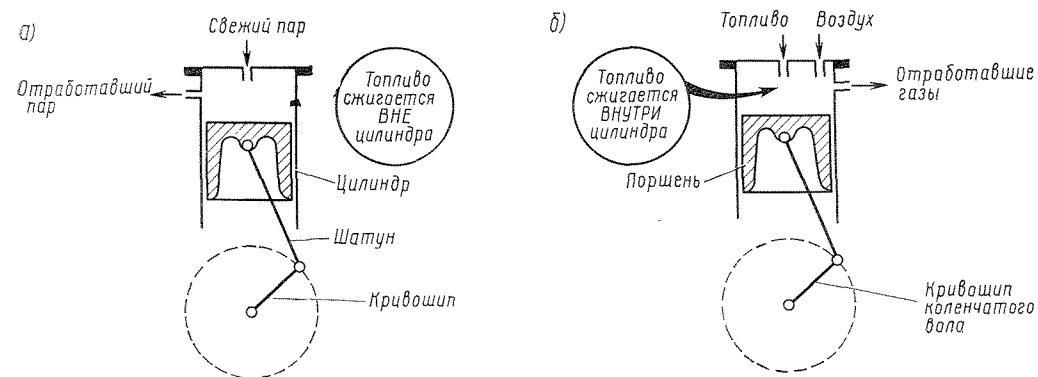


Рис. 4. Упрощенные схемы:
а — поршневой паровой машины; б — поршневого двигателя внутреннего сгорания

и паровая машина, роль педалей — кривошипы движущих колес, а роль земли — рельсы. Паровая машина паровоза, как и все паровые двигатели, работает за счет теплоты топлива, сжигаемого в топке котла, т. е. за пределами цилиндра. При сжигании топлива в котле образуется пар давлением в 15—16 раз выше давления окружающего воздуха (1,47—1,57 МПа, или 15—16 кгс/см²).

Машинисту достаточно открыть на желаемую величину клапан регулятора, как из котла — этого *накопителя готовой энергии* — в цилиндры паровой машины по трубопроводам поступит в требуемом количестве пар. Используя запас именно *готовой энергии* сжатого водяного пара, паровая машина сразу же после впуска в нее пара приводит в движение паровоз и прицепленный к нему состав. При этом, уменьшая или увеличивая поступление пара в цилиндры, машинист может изменить силу тяги и скорость движения паровоза, подобно

тому, как это делает велосипедист, меняя силу нажатия ног на педали. Такое плавное регулирование силы тяги у паровоза возможно потому, что у него есть парораспределительный механизм, посредством которого машинист может увеличивать или уменьшать сечение каналов для пропуска пара в цилиндры паровой машины. Процесс сгорания топлива происходит не внутри рабочего цилиндра двигателя, а вне его — в другом отдельном и независимом агрегате, в нашем случае в паровом котле, где накапливается (аккумулируется) тепловая энергия пара и воды, когда паровоз не движется. Благодаря этому паровоз не нуждается во внешнем источнике энергии для трогания поезда даже при постоянной связи паровой машины с движущими колесами.

Совершенно иную картину имеем мы в двигателе внутреннего сгорания. Как и паровая машина, этот двигатель имеет цилиндр (рис. 4, б), внутри которого помещен поршень, связан-

ный с помощью шатуна с кривошипом (коленом) коленчатого вала. Возвратно-поступательное движение поршня преобразовывается во вращательное с помощью шатунно-кривошипного механизма, работающего по той же принципиальной схеме, что и в паровой машине. В этом состоит общее сходство поршневой паровой машины и поршневого двигателя внутреннего сгорания, но они имеют важное принципиальное различие. В чем оно заключается? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим одну из особенностей работы поршневого двигателя внутреннего сгорания.

Воздух, поступивший в цилиндр, сжимается поршнем. Давление воздуха и его температура повышаются. В заданный момент времени из форсунки в цилиндр впрыскивается топливо, температура воспламенения которого ниже температуры сжатого и поэтому нагретого воздуха. Соприкасаясь с горячим воздухом, топливо самовоспламеняется. Такой двигатель был назван *дизелем* по имени изобретателя немецкого инженера Рудольфа Дизеля. Построенный им двигатель с воспламенением топлива от сжатого воздуха был принят (официально 17 февраля 1897 г.) на испытательном стенде фирмы МАН в г. Аугсбурге. Газы, образовавшиеся при сгорании, имея высокое давление, давят на поршень, который начинает двигаться, приводя во вращение вал двигателя.

Таким образом, поршень любого двигателя внутреннего сгорания, в том числе и тепловозного дизеля, приходит в движение и совершает работу не за счет *готовой* энергии, заранее накопленной в отдельном (внешнем) агре-

гате, как это имело место в системе котел — паровая машина, а за счет теплоты, которая выделяется при сжигании топлива внутри цилиндра, т. е. в одном и том же агрегате. Здесь «топка» находится в самом цилиндре. В этом заключается главная разница между двигателем внутреннего сгорания и паровой машиной. Однако внутри цилиндра рабочий процесс может возникнуть только в условиях, когда поршень придет в движение и начнет сжимать воздух, повышая его температуру до температуры самовоспламенения топлива. Получается «замкнутый» круг: чтобы поршень начал вращать вал, нужна тепловая энергия, а чтобы ее получить, надо поршень перемещать с определенной скоростью, т. е. вращать вал.

Очевидно, если поршни дизеля соединить непосредственно с колесами тепловоза только с помощью шатунов, какие применяются у паровозов (это было бы самое простое решение), то для того, чтобы раскрутить коленчатый вал, понадобится дополнительный источник энергии большой мощности, достаточный для разгона поезда и пуска дизеля.

Как же помочь в этом дизелю и заставить тепловоз обрести гибкость в регулировании силы тяги, какая присуща паровой машине паровоза?

Вот как предлагали решить эту задачу профессор Московского высшего технического училища В. И. Гриневецкий и его ученик Б. М. Ошурков еще в начале XX в. Согласно разработанному ими проекту (рис. 5) трогание тепловоза с составом и разгон поезда мыслилось осуществить с помощью заранее приготовленного воздуха, сжа-

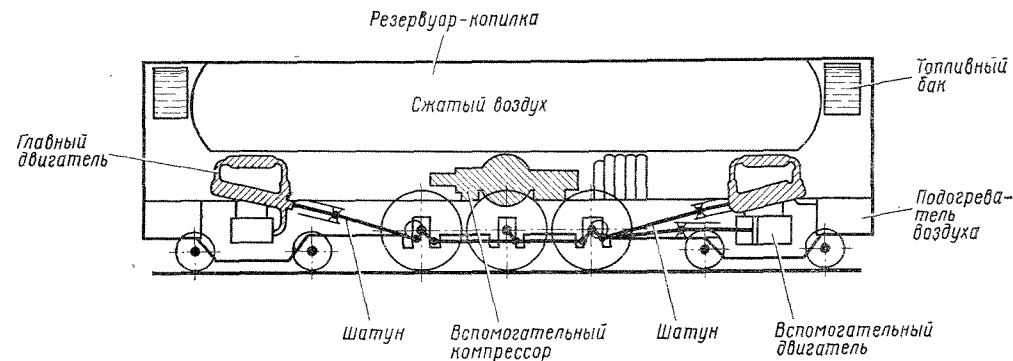


Рис. 5. Схема тепловоза с непосредственной передачей

того до 1,17 МПа (12 кгс/см²). Этот воздух вспомогательным компрессором нагнетался в большой (емкостью 60 м³) пусковой резервуар-накопитель. Компрессор предполагалось приводить в движение особым вспомогательным двигателем внутреннего сгорания мощностью 184 кВт (250 л. с.). Из резервуара-накопителя сжатый воздух должен был направляться в цилиндры главных двигателей внутреннего сгорания, подобно тому как пар из котла паровоза направляется в цилиндры паровой машины. Этим достигалась необходимая для трогания тепловоза с места сила тяги — 68,6 кН (около 7000 кгс). Роль коленчатых валов главных двигателей играли непосредственно оси колесных пар, с которыми поршни этих двигателей соединялись дышлами (шатунами). Предполагалось, что, когда тепловоз разовьет скорость, соответствующую примерно 120 оборотам колесных пар в минуту, подачу сжатого воздуха можно будет прекратить: главные двигатели внутреннего сгорания должны при этом ра-

ботать на топливе, впрыскиваемом в цилиндры.

В 1913 г. фирмой Зульцер в Швейцарии был построен тепловоз, близкий по своей принципиальной схеме тепловозу, показанному на рис. 5. На раму тепловоза был установлен дизель мощностью 736 кВт (1000 л. с.), который имел прямую (непосредственную) связь с двумя движущими спаренными осями колесных пар. Трогание тепловоза с поездом и разгон его осуществлялись этим двигателем с помощью сжатого воздуха. Однако воздух, вырабатываемого вспомогательной дизель-компрессорной установкой, для разгона на подъемах не хватало. Из-за этого разгон поезда происходил очень медленно. Кроме того, сжатый воздух при своем расширении в цилиндрах двигателя охлаждал их. Это в свою очередь затрудняло последующее воспламенение жидкого топлива. Переход на нормальный режим работы двигателя приводил к резким температурным напряжениям в металле, из-за этого детали цилиндров выходили из строя. Попытка осу-

шествовать непосредственную передачу вращающего момента дизеля на оси тепловоза была предпринята и в других странах. Однако построенные тепловозы также оказались неработоспособными. Опыт показал, что создать тепловоз, имеющий прямую связь дизеля с колесами, несмотря на всю заманчивость этой идеи, — задача чрезвычайно трудная, и такие тепловозы до сих пор не нашли практического применения. Но если бы тепловозы непосредственного действия были созданы, то значение их трудно было бы переоценить. Победа в этой области тепловозостроения имела бы большое значение.

Конструкторам тепловозов пришлось пойти по другому пути.

КАК СВЯЗАТЬ ДИЗЕЛЬ С КОЛЕСАМИ ТЕПЛОВОЗА?

Для перемещения и подъема тяжелых человек пользуется рычагами (устройствами для уравнивания большой силы малой).

Рычаги получили широкое и чрезвычайно разнообразное применение в различных областях техники. Можно без преувеличения сказать, что на их основе действуют почти все машины и механизмы. Такое же широкое применение нашли и зубчатые колеса, используемые как средство передачи вращательного движения, когда выгоднее уменьшить скорость, но получить большую силу или наоборот. Следовательно, рычаги, а также зубчатые колеса позволяют преобразовывать сравнительно небольшие вращающие моменты в гораздо большие.

В практике часто требуется иметь не одну, а несколько ступеней изменения вращающего момента. В этом случае применяется несколько пар зубчатых колес. Механизм с набором таких колес, разных по диаметру и числу зубьев, называется *коробкой передач*. Соединяя зубчатые колеса в различных сочетаниях (изменяя передаточное отношение) при одних и тех же оборотах (частоте вращения) ведущего вала, например вала двигателя внутреннего сгорания, получают различную частоту вращения ведомого вала, например колесных пар.

Многие знают, что в автомобилях есть коробки передач, посредством которых двигатель соединяется с колесами. Благодаря коробке передач у автомобиля изменяется вращающий момент на колесах при сохранении постоянного вращающего момента и частоты вращения вала двигателя. Это именно нужно и на «большом автомобиле» — тепловозе для того, чтобы двигатель внутреннего сгорания мог работать в качестве тягового двигателя. Во время движения на подъем сопротивление поезда возрастает (см. рис. 2). Для увеличения силы тяги тепловоза при сохранении неизменным вращающего момента и частоты вращения вала дизеля выбирают (включают) одно из сочетаний зубчатых колес передачи. При больших скоростях движения (площадка, уклон) пользуются другим сочетанием зубчатых колес. В результате при движении тепловоза на подъем сила тяги из-за увеличения сопротивления поезда должна возрасти, а скорость (чтобы дизель не перегрузился) уменьшить; при движении по равнинному профи-

лю благодаря уменьшению сопротивления поезда сила тяги упадет, а скорость должна увеличиться. Описанная передача называется *механической*. Благодаря своей простоте и невысокой стоимости такие передачи нашли широкое применение на автомобилях, тракторах, мотоциклах, а также на мотовозах и автодрезинах, имеющих двигатели внутреннего сгорания небольшой мощности — до 220—370 кВт (300—500 л. с.).

Дизели современных магистральных тепловозов развивают в несколько раз большие мощности (до 2940 кВт, или 4000 л. с. и более). Такую мощность передать с помощью набора зубчатых колес хотя принципиально и возможно, но практически трудно. Несмотря на это, попытки применить механическую передачу на тепловозах все же были. С такой передачей в 1924—1926 гг. был построен тепловоз Э^{мх3} с дизелем мощностью 775 кВт (1050 л. с.). При трогании такого локомотива с места и для преодоления наиболее трудных участков пути машинист включал первую ступень передачи (первую пару зубчатых колес) с самым большим передаточным числом, увеличивая вращающий момент на колесах локомотива в наибольшее количество раз.

По мере увеличения скорости движения тепловоза включалась вторая ступень передачи, а затем и третья. В соответствии с этим уменьшался вращающий момент на колесах, но возрастала скорость движения. Коленчатый же вал дизеля независимо от включенной ступени передачи имел примерно постоянную частоту вращения, а вращающий момент двигателя

практически не изменялся. Однако коробки передач на тепловозах большой мощности не применяются, так как изменение вращающего момента при переходе с одной ступени скорости на другую приводит к сильным рывкам в поезде; бывали даже случаи разрыва состава вагонов на две части (поезд вел тепловоз Э^{мх3}). Кроме того, сам процесс переключения передач больших мощностей очень сложен и нуждается в специальной автоматике.

Механические передачи строятся с небольшим количеством передаточных отношений (передаточных чисел) — обычно не более 5. При большем передаточном числе коробка передач получается громоздкой и тяжелой. Идеальной была бы передача с бесконечным числом передаточных отношений. При таком условии сила тяги менялась бы непрерывно в зависимости от скорости движения, т. е. в любой момент мощность двигателя использовалась бы полностью. Как добиться этого?

На заре развития тепловозостроения конструкторам, занимающимся исследованиями в области передач между двигателем внутреннего сгорания и колесами, было известно, что еще в 1838 г. русский академик Б. С. Якоби впервые применил созданный им электродвигатель для перемещения лодки по реке Неве. Идея использования электричества, позволяющего осуществить более совершенную передачу мощности от дизеля к колесам, овладела умами многих инженеров. Один из самых первых проектов тепловоза с электрической передачей был разработан в начале

900-х годов русскими изобретателями Н. Г. Кузнецовым и А. И. Одинцовым.

На тепловозе предполагалось установить два дизеля, которые должны были приводить в движение два генератора; постоянный ток, вырабатываемый генераторами, передавался четырем тяговым электродвигателям, которые вращали четыре колесные пары тепловоза. Каждый дизель имел мощность 13,2 кВт (18 л. с.); в другом проекте тех же авторов мощность дизеля должна была составлять 368 кВт (500 л. с.). К сожалению, эти проекты, как и многие другие, в условиях царской России не были осуществлены.

Практическое значение электрической передача приобрела после постройки в 1924 г. первого магистрального тепловоза конструкции профессора Я. М. Гаккеля. С тех пор создание совершенной электрической передачи тепловозов является важной задачей.

Схема электрической передачи представлена на рис. 6. Вал дизеля вращает непосредственно связанный с ним якорь тягового генератора, в котором механическая энергия преобразуется в электрическую. Постоянный ток, вырабатываемый генератором, по кабелям передается к тяговым электродвигателям. Вращательное движение якоря каждого тягового электродвигателя передается колесной паре с помощью зубчатых колес, сидящих на валу якоря и оси колесной пары. Это устройство называют *осевым редуктором*.

Электрическая передача, при которой нет непосредственной связи вала дизеля с колесными парами, в отличие от жесткой механической пере-

дачи позволяет получить лучшую зависимость силы тяги тепловоза от скорости его движения при постоянном вращающем моменте на валу дизеля. При этом регулирование вращающего момента в зависимости от изменения сопротивления движению осуществляется автоматически: с увеличением сопротивления движению (переход на подъем) сила тяги увеличивается, а при уменьшении сопротивления увеличивается скорость движения, т. е. происходит то, что и требуется от тепловоза (см. рис. 3). Все это упрощает и облегчает управление тепловозом. Несколькими тепловозами с электрической передачей, сцепленными друг с другом для получения большой мощности, можно управлять из одной кабины машиниста (по «системе многих единиц»). Поясним это.

Допустим, чтобы повести тяжеловесный состав, необходим тепловоз мощностью 8820 кВт (12 000 л. с.), а такого мощного локомотива нет. Как же быть? Надо поставить в ряд друг за другом в голове состава четыре тепловоза с электропередачей каждый мощностью 2200 кВт (3000 л. с.). Электропередача позволит одному машинисту управлять всеми тепловозами (секциями, см. ниже) с одного поста управления. В этом состоит еще одно преимущество электропередачи.

Но при всех достоинствах электрическая передача имеет и недостатки. Как указывалось, она очень тяжелая. Кроме того, для автоматизации работы электрических машин такой передачи требуется большое количество реле и других аппаратов.

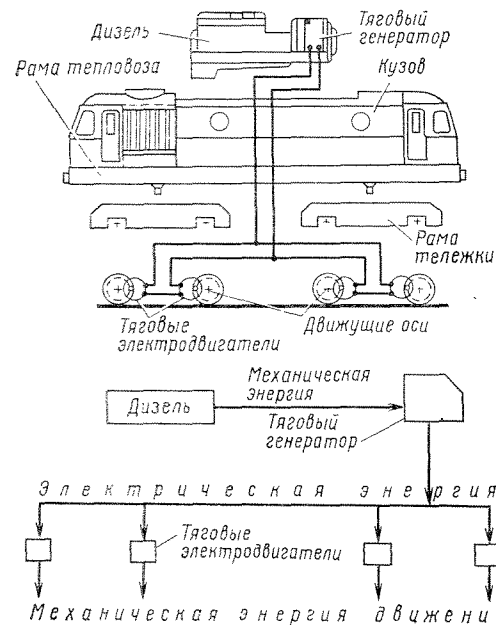


Рис. 6. Схема электрической передачи тепловоза

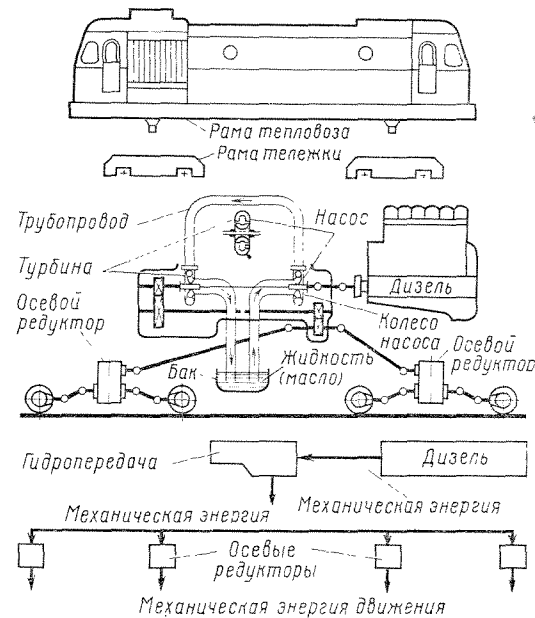


Рис. 7. Схема гидравлической передачи тепловоза

Электропередача не может полностью удовлетворить конструкторов и потому, что на изготовление генератора, тяговых электродвигателей и других машин и аппаратов требуется много цветных металлов, преимущественно меди и ее сплавов. Это сильно удорожает стоимость тепловоза. Подробно электрическая передача описана в гл. 11—20.

Существует передача, которая по сравнению с электрической имеет меньший вес, приходящийся на единицу мощности (правда, для мощностей не более 880 кВт (1200 л. с.), и почти не требует применения цветных металлов. Это гидропередача. Она

может быть либо чисто гидравлической, либо гидромеханической.

Гидравлическая передача, как показывает само название, передает вращающий момент от вала дизеля колесным парам тепловоза с помощью энергии потока жидкости, создаваемой в гидравлических аппаратах. Следовательно, здесь вал дизеля не имеет жесткой связи с осями тепловоза. При гидромеханической передаче только в определенном диапазоне скоростей тяговой характеристики тепловоза вращающий момент передается колесным парам через гидравлические машины (гидромуфты и гидротрансформаторы), а на остальных режи-

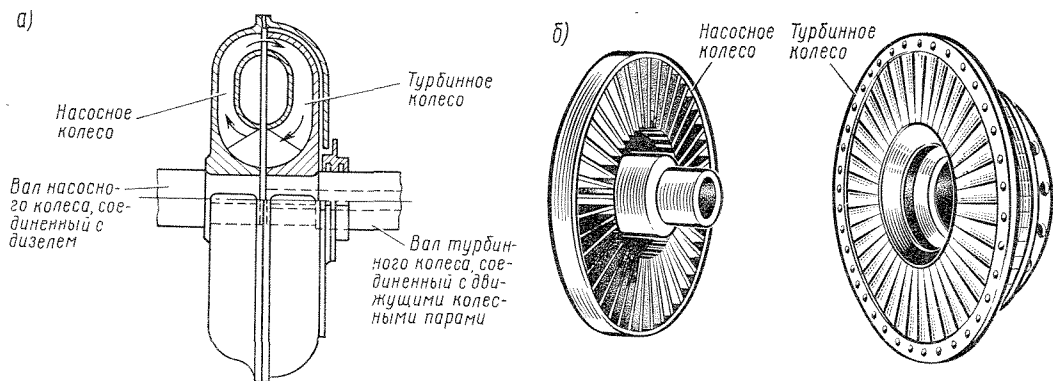


Рис. 8. Гидромуфта:
а — схема; б — колеса

мах — через коробку передач. Не вдаваясь в подробности, опишем лишь принцип ее работы. В общем корпусе (рис. 7) размещены центробежный насос и турбина. Они представляют собой два колеса с лопатками, насаженные на разные валы. Насосное колесо связано с валом дизеля, а турбинное (через ряд промежуточных деталей, в том числе валов и зубчатых колес) — с осями колесных пар. Насосное и турбинное колеса приближены друг к другу (зазор до 2 мм).

Как заставить вращаться турбинное колесо? Можно подвести к его лопаткам поток жидкости (например, масла). Так обычно и поступают. Колесо насоса, приводимое во вращение валом дизеля, засасывает из бака масло. Масло поступает к центру колеса и под действием центробежной силы (отсюда название: центробежный насос) отбрасывается с большой скоростью к его краям: жидкость приобретает кинетическую энергию. Сходя с лопаток насосного колеса, поток

масла с силой ударяется о лопатки турбинного колеса. Кинетическая энергия передается турбине, заставляя ее колесо, а с ним и оси колесных пар вращаться, преодолевая внешний момент сопротивления. А что с маслом? Поток его, теряя скорость, движется к центру турбинного колеса, а затем в бак, откуда снова засасывается центробежным насосом, замыкая круг непрерывной (замкнутой) циркуляции из насоса в турбину и обратно. Такое гидравлическое устройство называется *гидромуфтой* (рис. 8). Гидромуфта обладает высоким коэффициентом полезного действия (к. п. д.), достигающим 95—96%. Казалось бы, что такая передача вращающего момента от дизеля колесным парам не имеет недостатков. Однако это не так. Известно, что действие всегда равно противодействию. Поэтому вращающий момент турбинного колеса всегда равен вращающему моменту насосного колеса. Локомотив же должен создавать на дви-

жущих колесах вращающий момент различной величины (см. с. 15) при постоянном режиме работы дизеля. Иначе, например, при трогании тепловоза с места, когда сопротивление движению особенно велико, вращающий момент турбинного колеса, а значит, и насосного значительно возрастет, дизель начнет перегружаться, в результате частота вращения его вала будет уменьшаться и он может заглохнуть. По мере увеличения скорости вращающий момент турбинного, а значит, и насосного колеса будет падать, т. е. нагрузка дизеля уменьшится. Такой переменный режим работы дизеля непригоден в условиях эксплуатации тепловоза. Чтобы сделать гидромуфту пригодной для использования, надо каким-то способом заставить вращающий момент турбинного колеса изменяться в соответствии с внешней нагрузкой, а вращающий момент насосного колеса оставаться постоянным.

А что если между насосным и турбинным колесами разместить неподвижный (соединенный с корпусом) ряд лопаток? Тогда поток масла, покидающий турбинное колесо, будет направляться на лопатки насосного колеса всегда под одним и тем же постоянным углом. Этот неподвижный (невращающийся) ряд лопаток получил название *направляющего аппарата*. Он позволяет насосному колесу, а значит, и дизелю нагружаться одинаковым (постоянным) моментом независимо от внешней нагрузки. Иными словами, турбинное колесо благодаря направляющему аппарату получает возможность вращаться с малой частотой, преодолевая большой момент

сопротивления, а дизель при этом работает с постоянной нагрузкой.

Так достигается трансформация (преобразование) вращающего момента, создаваемого дизелем. Гидромуфта с направляющим аппаратом получила название *гидротрансформатора*. Из-за дополнительных потерь энергии на удары и трение в направляющем аппарате гидротрансформатор имеет к. п. д. 85—87%, т. е. меньше к. п. д. гидромуфты. Обычно в гидроредукторе применяются гидротрансформатор, и гидромуфта, а в работу они включаются последовательно в зависимости от скорости движения тепловоза.

При гидравлической передаче так же, как и при электрической, переключение ступеней скорости осуществляется очень быстро, но при этом все же происходит некоторое падение силы тяги. Однако оно оказывается малозаметным благодаря тому, что гидроредуктор имеет высокую степень автоматизации процессов регулирования силы тяги тепловоза в зависимости от мощности дизеля и скорости движения. При создании гидроредуктора для тепловозов большой мощности 880—2940 кВт (1200—4000 л. с.) в секции конструкторы сталкиваются с серьезными трудностями. Это обстоятельство и заставляет строить все тепловозы мощностью более 736 кВт (1000 л. с.) с электрическим приводом, при котором вопросы, связанные с передачей большой мощности, решаются проще, а сами передачи работают надежнее, что очень важно.

Кроме тепловозов с механической, электрической и гидравлической передачами, были созданы опытные теп-

ловозы и с другими типами передач: с воздушной (пневматической), где дизель приводит в действие компрессор, а воздух, сжатый в компрессоре, совершает работу в воздушной машине, соединенной с колесами; с газовой передачей, при которой двигатель служит источником газов (продуктов сгорания), совершающих работу в машине, приводящей во вращение колеса тепловоза. Однако эти виды передач оказались несовершенными. Даже при небольшой мощности они получались громоздкими и неэкономичными, поэтому применение на тепловозах не нашли.

Итак, под словом «передача» принято понимать совокупность особых устройств, которые служат для передачи мощности от дизеля к движущим колесам тепловоза. *Самое главное* назначение передачи в том, чтобы сохранить неизменным режим работы дизеля: вращающий момент дизеля остается постоянным, в то время как на движущих колесах тепловоза он изменяется в соответствии с тяговой характеристикой (см. рис. 1).

При современной конструкции дизеля передача тепловоза является неизбежной. Два агрегата — дизель и передача — дополняют друг друга. Передача позволяет отсоединить дизель от колес тепловоза при пуске этого двигателя, на остановке или, если это целесообразно, во время движения.

Естественно возникает вопрос: почему конструкторы предпочитают устанавливать на локомотиве поршневой двигатель внутреннего сгорания, хотя он и требует сложной и дорогой передачи, а не поршневую паровую

машину, непосредственно связанную с колесами наиболее простым и надежным способом, т. е. без передачи?

ПОЧЕМУ НЕВЫГОДНА ПАРОВАЯ МАШИНА?

Интересно такое сравнение: в огневой коробке паровозного котла может разместиться автомобиль «Волга», а в камере сгорания одного цилиндра дизеля тепловоза той же мощности едва умещается фара этого автомобиля. Общая масса паросиловой установки паровоза при мощности 1470 кВт (2000 л. с.) составляет примерно 40 т (без воды в котле и угля в топке), а дизеля той же мощности (без вспомогательного оборудования) — около 16 т, т. е. в 2,5 раза меньше. При этом паросиловая установка, например, паровоза Л требует для своего размещения площади свыше 50 м², а тепловозного дизеля 2Д100 — только 12 м². Если на тепловоз поставить более быстроходный дизель, то соотношение в массах паросиловой установки паровоза и дизеля еще больше увеличится. Так, на тепловозе ТГ102 установлены два дизеля М756 с частотой вращения коленчатого вала 1500 об/мин (у дизеля 2Д100 только 850 об/мин) и первоначальной мощностью 736 кВт (1000 л. с.) каждого; суммарная масса обоих дизелей 3,8 т, т. е. почти в 10 раз меньше, чем масса паросиловой установки той же мощности. Компактность — важное достоинство дизеля (рис. 9).

Самое же главное преимущество дизеля в том, что коэффициент полезного действия у него в 6—7 раз выше,

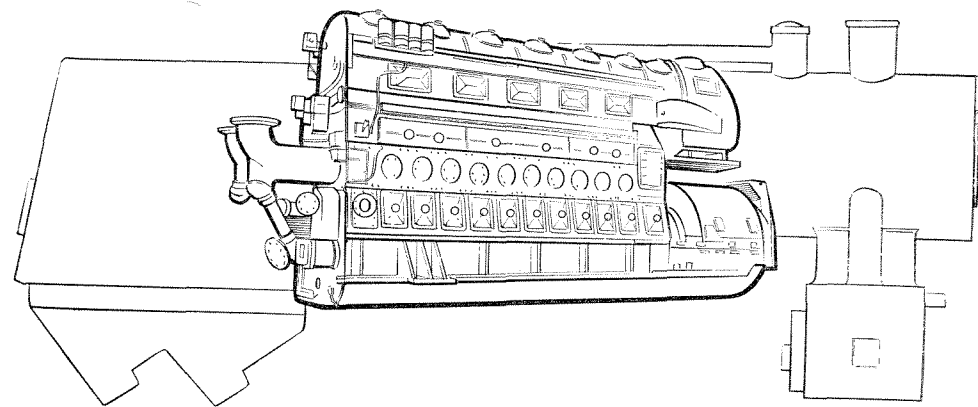


Рис. 9. Наглядное сравнение размеров дизеля и паросиловой установки

чем у паросиловой установки паровоза. Чем это объясняется?

Водяной пар, совершив работу в паровой машине паровоза, выпускается в атмосферу. Но отработавший пар сможет выйти в атмосферу только в том случае, если его давление превысит атмосферное (иначе он просто не выйдет из машины). Более того, давление отработавшего в машине пара должно быть достаточно высоким. Ведь в паровозах необходимая для интенсивного горения топлива тяга осуществляется с помощью специальной вытяжной установки: струя выходящего из конуса пара увлекает окружающую ее газовую среду и выбрасывает газы через дымовую трубу в атмосферу. Чтобы паровая струя имела достаточную скорость, давление пара перед конусом, т. е. после расширения пара в машине, должно быть выше атмосферного давления в среднем в 1,5 раза и даже больше. При таком давлении температура отработавшего пара не может

быть ниже 110—120°С, поэтому он будет уносить с собой большое количество теплоты. В 1 кг отработавшего пара содержится около 2724 кДж, или 650 ккал теплоты. Для сравнения напомним, что энтальпия¹, т. е. теплосодержание перегретого пара, например, при давлении 1,57 МПа, или 16 кгс/см² (с таким давлением пар поступает в машину паровоза), составляет 3210 кДж (766 ккал). Следовательно, только 486 кДж (116 ккал) теплоты из 3210 кДж, пошедших на образование каждого килограмма пара, превращается в работу, а остальная теплота бесполезно выбрасывается из паровой машины в атмосферу. В этой потере теплоты с выпускаемым паром, как в зеркале, отражаются ограниченные возможности повышения экономичности паровоза.

Из физики известно, что эффективность паросиловой установки тем выше, чем больше температура и давле-

¹ От греческого *enthálpō* — согреваю.

ние пара, входящего в паровую машину, и меньше давление пара, выходящего из нее. В этом случае полезно использованное количество теплоты в цилиндрах возрастает. Почему же паровозостроители до самых последних лет не смогли существенно повысить температуру и давление пара на входе в паровую машину и снизить давление отработавшего пара? Почему они были вынуждены прекратить постройку паровозов как в нашей стране, так и в ряде других стран.

Начнем с увеличения начального давления. Ведь в стационарных тепловых установках используется пар с начальным давлением до 29,4—44,1 МПа (300—450 кгс/см²), а в паровозах только до 1,47—1,56 МПа (15—16 кгс/см²).

Выясним, какое влияние на экономичность паровоза окажет повышение начального давления пара при одной и той же температуре, например при 400°С. Оказывается, если давление пара повысить с 1,47 до 1,96 МПа (15—20 кгс/см²), то доля тепла, которая может быть полезно использована, увеличится всего на 1,5%. При дальнейшем увеличении давления эта доля, приходящаяся на 0,098 МПа (1 кгс/см²) повышения давления, снижается. Так, например, если поднять давление пара с 1,47 до 19,6 МПа (150—200 кгс/см²), то долю используемого тепла удастся повысить всего лишь на 0,4%. Следовательно, физические свойства пара таковы, что повышение одного начального давления дает незначительный выигрыш в экономичности процесса.

С другой стороны, давление пара в паровозных котлах нельзя существенно

повысить по конструктивным соображениям. Существующие котлы паровозов — жаротрубные с плоскими стенками топки. Их прочность не позволяет поднять давление в котле выше 1,96—2,45 МПа (20—25 кгс/см²). Дальнейшее повышение давления требует коренной переделки конструкции существующих котлов. Отсюда можно сделать очень важный вывод: для повышения экономичности установки необходимо повысить не только давление, но и *начальную температуру* пара. Почему же не повышают эту температуру, скажем, с 400 до 1000°С и более? Потому, что на этом пути возникают, к сожалению, также серьезные трудности. Высокая температура — враг металлов, из которых сделаны детали, в особенности если они соприкасаются с паром или газом *непрерывно*. В таких условиях и при таких температурах обычный жаростойкий металл быстро теряет прочность. Не менее важно, что смазка, без которой невозможна нормальная работа цилиндра-поршневой группы, может устойчиво работать при температуре не более 400—450°С. Учитывая сказанное, станет понятно, почему дело с повышением начальной температуры пара дальше опытов не пошло.

В стационарных энергетических установках и на водном транспорте значительное повышение экономичности паросиловой установки достигается за счет снижения конечного давления расширения пара. С этой целью отработавший пар выбрасывается не в атмосферу, а в специальные холодильники (конденсаторы), в которых создается разрежение (вакуум) за счет охлаждения (конденсации) пара, на-

пример речной водой, подаваемой насосами. Благодаря этому удается понизить давление пара, выходящего из паровой машины, до 0,003—0,005 МПа (0,03—0,05 кгс/см²), т. е. намного ниже атмосферного. Но для этой цели расходуется очень большое количество воды (до 50—120 кг воды на 1 кг конденсирующегося пара), и размеры холодильника для охлаждения отработавшего пара слишком велики.

В локомотиве, где для охлаждения пара нельзя воспользоваться водой из рек или водохранилищ, приходится отказываться от вакуумной конденсации и выпускать отработавший пар из машины в атмосферу. Таким образом, в условиях паровоза снизить конечное давление пара практически не представляется возможным, а значит, и нельзя заставить пар дополнительно расширяться, т. е. совершать значительную дополнительную работу, хотя попытки создания паровозов с атмосферной конденсацией пара в тендере специальной конструкции предпринимались и у нас, и за рубежом.

Итак, низкий коэффициент полезного действия (к. п. д.) паровоза — это его органический недостаток. Иначе говоря, сколько бы мы ни улучшали конструкцию паровой машины, все равно заметных результатов в повышении экономичности паровоза не достигли бы: нельзя получить к. п. д. паровоза, близкий к к. п. д. тепловоза.

ПОНЯТИЕ ОБ ЭКИПАЖЕ

Самые быстроходные экспрессы в нашей стране курсируют сейчас на линии Москва—Ленинград, а в будущем

здесь намечается движение с максимальной скоростью 200 км/ч. На некоторых других важнейших направлениях скорости пассажирских поездов достигнут 120—140 км/ч, а грузовых 80—100 км/ч при массе поездов 4000—6000 т. Возросли и нагрузки от локомотивных колес на рельсы. У грузовых тепловозов 2ТЭ10В и 2ТЭ116 они равны 225 кН (23 тс). Ведутся работы по дальнейшему повышению нагрузок до 245 кН (25 тс) (тепловоз ТЭ121).

Безопасное движение поездов, особенно при таких высоких скоростях и нагрузках, в огромной степени зависит от той части тепловоза, которая состоит из тележек с колесными парами, буксами, рессорным подвешиванием и несет на себе главную раму и кузов тепловоза, дизель, передачу и все вспомогательное оборудование. Эта часть тепловоза называется *экипажем*. Конструкция узлов экипажа оказывает большое влияние на плавность хода локомотива и вписывание его в кривые участки пути, на величину и характер усилий, действующих на рельсы. У отечественных тепловозов главная рама с помощью специальных устройств опирается на две тележки, каждая из которых имеет самостоятельную раму. В этом случае экипаж относится к тележечному типу. Почти все отечественные тепловозы — тележечного типа.

Тележки могут быть двухосными и трехосными, т. е. иметь две или три колесные пары. Различают колесные пары движущие и вспомогательные. *Движущими* называют колесные пары, участвующие в создании силы тяги локомотива.

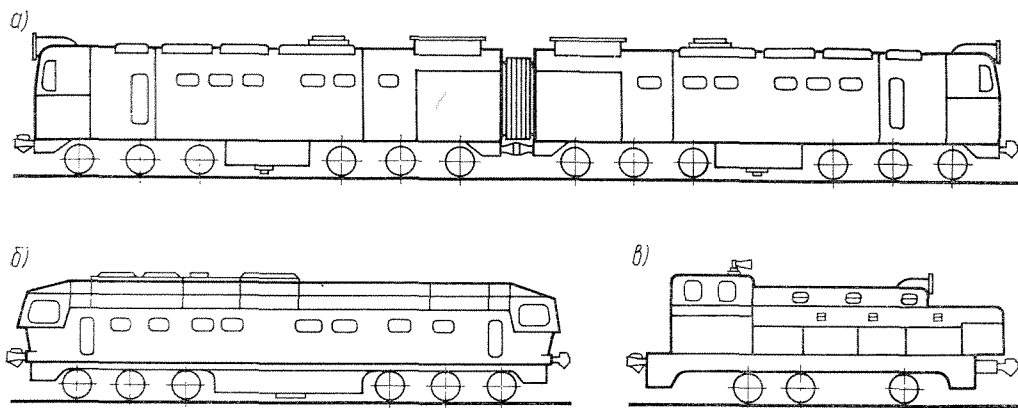


Рис. 10. Схемы двухсекционного и односекционных тепловозов:
 а — с двенадцатью $2(3_0-3_0)$ движущими осями; б — с шестью (3_0-3_0) ; в — с тремя (3)

Вспомогательные колесные пары не участвуют в создании силы тяги; они воспринимают часть массы локомотива. Каждый тепловоз имеет несколько движущих колесных пар, но не у каждого тепловоза есть вспомогательные колесные пары. Современные тепловозы строятся, как правило, без вспомогательных колесных пар. Масса тепловоза, передающаяся на рельсы только через движущие колесные пары, называется *сцепной массой* (*сцепным весом*).

Движущие колеса тепловозов в подавляющем большинстве имеют диаметр (по кругу катания) 1050 мм. Исключение составляют тепловозы ТЭП70 (диаметр 1220 мм), 2ТЭ121 (диаметр 1250 мм) и ТЭП75 (диаметр 1220 мм).

На рис. 10 изображены схемы тепловозов, имеющих шесть, три (одна секция) и двенадцать (две секции) колесных пар, каждая из которых является движущей. Секция тепловоза —

это тяговая единица с одним или несколькими дизелями, расположенными внутри кузова на главной раме. Если тепловоз состоит из одной секции, он считается *односекционным*, из двух одинаковых секций — *двухсекционным* и т. д. Несколько секций могут управляться только одной локомотивной бригадой, что позволяет сократить количество обслуживающего персонала.

Каждому тепловозу присваивается серия. Под серией понимают тепловозы одного и того же типа и одинаковой конструкции. Тепловозы одной серии могут отличаться друг от друга принципиальными конструктивными изменениями отдельных узлов. В СССР в послевоенные годы условно ввели серию тепловозов обозначать двумя или тремя заглавными буквами русского алфавита и цифрами, например: ТЭЗ, 2ТЭ116, ТЭП70, ТГ102, ТЭМ2, ТГМ3.

Буквы серии тепловоза обозначают: Т — тепловоз, Э — электрическая

передача, П — пассажирский, Г — гидравлическая или гидромеханическая передача, М — маневровый.

Цифра перед буквами (обычно 2) означает, что тепловоз состоит из двух секций, цифра 3 — из трех секций, например 3ТЭЗ.

Цифра после букв присуща только данной серии. При этом магистральные тепловозы, спроектированные Харьковским заводом транспортного машиностроения им. Малышева, обозначаются цифрами с 1 до 49 (например, ТЭЗ, ТЭ10, ТЭ40); Коломенским тепловозостроительным заводом им. Куйбышева — с 50 до 99 (ТЭП60, ТЭП70, ТЭП75); Ворошиловградским тепловозостроительным заводом им. Октябрьской революции — со 100 до 150 (2ТЭ116, 2ТЭ121) и т. д. На маневровые тепловозы это правило не распространяется, и цифра показывает только номер варианта тепловоза.

Таким образом, обозначения, например серий ТЭП60, ТЭП70, ТЭП75, расшифровываются так: пассажирские тепловозы с электрической передачей конструкции Коломенского завода. Некоторым отступлением от общепринятых обозначений являются серии 2ТЭ10В, 2ТЭ10Л, где буквы В и Л означают Ворошиловградский (б. Луганский) тепловозостроительный завод, построивший эти локомотивы, по разработке близкие к тепловозам типа ТЭ10 Харьковского завода им. Малышева.

На железных дорогах СССР эксплуатируются маневровые тепловозы чехословацкой и венгерской постройки. Первые буквы страны-изготовителя ставятся впереди обозначения серии тепловоза: ЧМЭЗ, ЧМЭ2, ВЭМ1.

Когда хотят дать общую характеристику тепловоза, то, кроме обозначения его серии, указывают еще *тип* тепловоза, т. е. количество колесных пар и их размещение. Число движущих колесных пар в тележках локомотивов и их расположение относительно друг друга на железных дорогах СССР принято обозначать цифрами, разделенными знаком плюс или минус. Такое обозначение условно называют *осевой характеристикой*. Знак «+» ставится в случаях, когда рамы тележек одной секции тепловоза связаны шарнирно между собой. Знак «—» показывает, что тележки между собой непосредственно не соединены. Например, условное обозначение двухсекционного тепловоза с двенадцатью движущими колесными парами, обе секции которого соединены друг с другом (рис. 10, а) напишется так $2(3_0-3_0)$. Индекс «о» у цифры 3 условно показывает, что движущие колесные пары внутри тележки не связаны между собой механически, т. е. имеют индивидуальный привод от электродвигателей. Если речь идет об односекционном шестиосном тепловозе того же типа (рис. 10, б), то его обозначают так: 3_0-3_0 . Именно так обозначают экипажную часть односекционных тепловозов ТЭП75, ТЭП70, ТЭП60, ТЭМ2, ЧМЭЗ, М62 и др. А в чем особенность осевой характеристики $3-3$?

В том, что это локомотив не с индивидуальным, а с групповым приводом осей. На рис. 10, в изображена схема трехосного тепловоза ТГМ23 с групповым приводом осей; такой экипаж обозначается только одной цифрой 3.

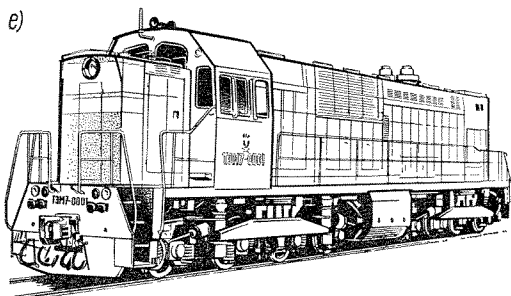
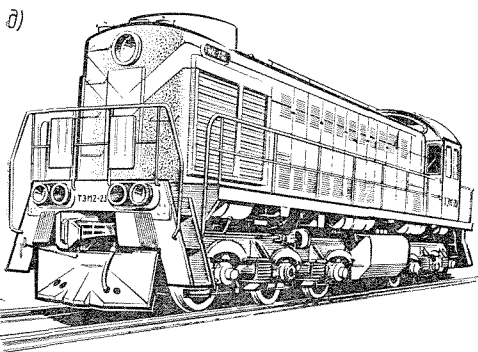
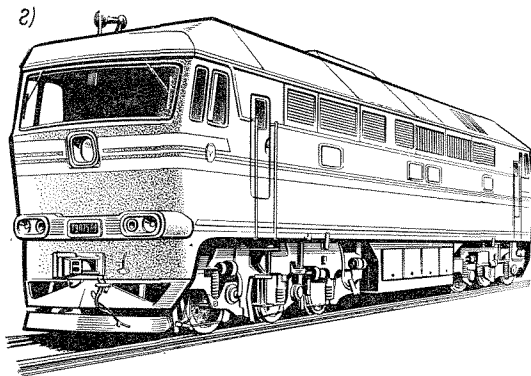
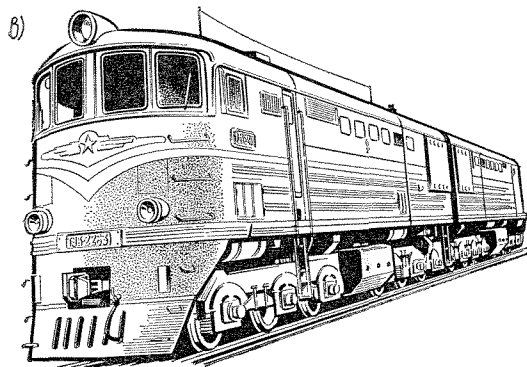
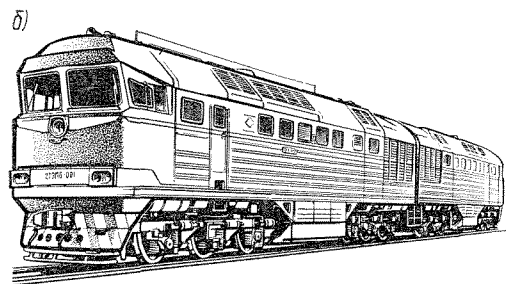
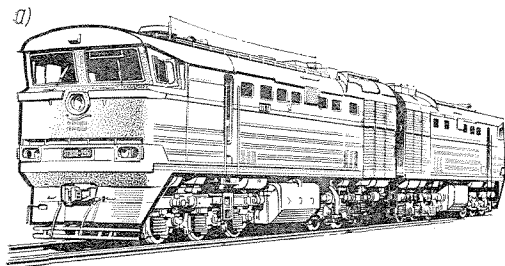


Рис. 11. Внешние виды тепловозов:
 а — 2ТЭ10В; б — 2ТЭ116; в — ТЭ3; г — ТЭП75; д — ТЭМ2; е — ТЭМ7

Внешние виды наиболее распространенных тепловозов представлены на рис. 11, а в приложении (в конце книги) приведены характеристики.

КАК РАСПОЛОЖИТЬ ОБОРУДОВАНИЕ?

Какое место отвести дизелю? Как наиболее умело скомпоновать электрические машины? Сколько устроить кабин машиниста — одну или две? Как снизить шум и вибрации в кабине? Каким должен быть кузов? Ресорное подвешивание? Тут следует отметить одну особенность тепловоза как подвижной единицы. Он жестко скован габаритными размерами.

Конструкторам приходится много искать и пробовать, прежде чем они добиваются самого выгодного (оптимального) размещения всех агрегатов, механизмов, аппаратов. Их нужно расположить так, чтобы обслуживание и ремонт были удобными. При этом необходимо, чтобы масса оборудования равномерно распределилась по длине тепловоза.

Дизель, передача, экипаж, вспомогательное оборудование выполняют одни и те же функции на всяком тепловозе, но могут сильно отличаться по конструкции и размещению. Компоновка этих главных частей зависит от ряда условий: от числа и типа дизелей, устанавливаемых в одной секции, вида передачи (электрическая, гидравлическая) и рода работы тепловоза (магистральные, маневровые).

Кузов секции тепловоза представляет собой помещение обширной площади. Для наглядности условно разре-

жем его так, как показано на развернутой обратной стороне обложки книги. Благодаря кузову локомотивная бригада и все основное оборудование тепловоза надежно защищены от зимней стужи, ветров, атмосферных осадков и пыли.

На тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, а также и на других магистральных тепловозах с одним дизелем в секции его всегда располагают в средней части кузова. Делается это не только потому, что дизель требует большой площади, но главным образом для того, чтобы масса этого самого тяжелого агрегата (около 27 000 кг) равномерно распределилась между тележками. Кроме того, при «центральном» размещении дизеля создаются наилучшие условия для его обслуживания. Между дизелем и стенками кузова устраивают проходы. В тех случаях, когда нужна очень большая мощность секции тепловоза, а дизеля соответствующей мощности не существует, на тепловозе приходится устанавливать два дизеля, что затрудняет размещение остального оборудования.

Чтобы обеспечить доступ к дизелю, крыша кузова машинного отделения (так называют помещение, где расположена дизель-генераторная установка) обычно делается съемной. В крыше прорезан ряд люков, через которые можно производить выемку дизеля или отдельных его деталей и агрегатов. Под полом машинного отделения между тележками устанавливают аккумуляторную батарею.

Тепловоз — это второй дом машиниста. Здесь на очень ответственном посту днем и ночью он проводит много непрерывных часов за работой. Конст-

рукторы стремятся создать локомотивной бригаде хорошие условия для труда.

Зайдем в одну из двух кабин машиниста двухсекционного грузового тепловоза 2ТЭ10В. Две кабины позволяют избежать поворота тепловоза для следования в обратном направлении после прибытия на конечную станцию. В каждой кабине размещены (рис. 12) многочисленные приборы для управления тепловозом и контроля за работой отдельных агрегатов. Кабина — просторная, светлая, даже уютная. Свет проникает сюда через лобовые и боковые окна, имеющие хороший обзор.

В окна вставлено специальное очень прочное стекло красивой формы.

Калориферное отопление дает возможность зимой поддерживать в кабине необходимую температуру воздуха. В жаркую погоду вентиляторы улучшают вентиляцию кабины. От снега, дождя и пыли лобовые стекла очищаются стеклоочистителями автомобильного типа. Теневые щиты или шторы защищают бригаду от ярких лучей солнца.

Мягкое кресло для машиниста установлено, как обычно, справа, для помощника — слева. Оба сиденья прочно укреплены на полу. Высоту их

можно регулировать. Разработаны конструкции кресел, сиденья которых могут перемещаться не только вверх-вниз, но и во все стороны относительно пульта машиниста. Кроме этих двух сидений, имеются еще два жестких откидных, убирающихся в заднюю стенку кабины.

Видимость во всех направлениях — обязательное условие для кабин маневровых тепловозов, поэтому вместо кузова ставят так называемый капот, позволяющий машинисту достаточно хорошо видеть местность близ железной дороги. Осмотр и обслуживание оборудования, укрытого капотом, осуществляются через смотровые двери с площадок, расположенных с обеих сторон тепловоза (см. рис. 11, д и е).

Жизнь идет к тому, что во всех кабинах машиниста будут применяться кондиционеры — установки, обеспечивающие такую температуру воздуха, которая бы отвечала наилучшим условиям труда локомотивной бригады. О кондиционерных установках особенно мечтают локомотивные бригады, работающие на дорогах Средней Азии, на Юге страны, где летом температура наружного воздуха достигает 40—45°С, а в кабине машиниста на 10—20°С выше. Сейчас несколько опытных тепловозов, оборудованных кондиционированными системами, проходят эксплуатационные испытания.

В кабинах новейших локомотивов устанавливают умывальники, санитарный узел, холодильники для пищи, электроплитки для подогрева пищи, шкафы для одежды, аптечки с медикаментами.

Мощные тепловозы, как правило, самые шумные. Ученые тщательно исследуют источники шума и вибрации на тепловозе и пути их устранения. Главные виновники шума — дизель, вентиляторы, насосы и другие вспомогательные машины, а также колеса, катящиеся по рельсам. Все новые локомотивы сдают в эксплуатацию после проверки уровней шума и вибраций, которые не должны превышать установленные величины.

Принимаются различные меры для снижения шума и вибрации в кабине машиниста. В передней части кузова тепловоза 2ТЭ10Л между кабиной машиниста и машинным отделением расположена камера, в которой сосредоточены основные электрические аппараты для автоматического управления тепловозом. Двери в эту камеру, называемую *аппаратной (высоковольтной)*, открываются непосредственно из кабины машиниста. Стенки камеры изолируют кабину машиниста от шума работающего дизеля. На тепловозах 2ТЭ116, М62, ТЭ109 конструкторы отделили кабину от машинного помещения тамбуром, использовали звукоизоляционные перегородки. Для борьбы с вибрациями улучшают конструкцию экипажной части, применяют гасители (демпферы) колебаний, подрессоренные виброгасящие кресла, получает путевку в жизнь пневматическое подвешивание, улучшают состояние железнодорожного пути.

Металлические полы, металлическая обшивка в дизельном помещении — все это делается для предотвращения пожара. А если все-таки пожар возникнет? На этот исключительный случай в опасных местах (например, около

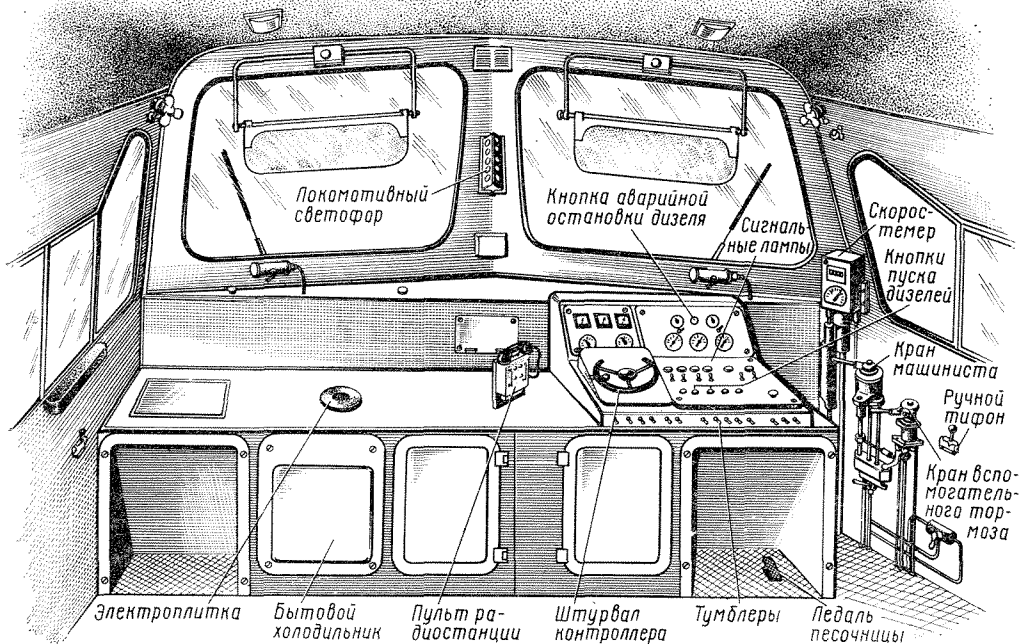


Рис. 12. Внутренний вид кабины управления тепловоза 2ТЭ10В

тягового генератора на тепловозах 2ТЭ10Л и в шахте холодильника) установлена воздухопленная установка с автоматической сигнализацией, возвещающей о начале пожара: если вспыхнет огонь, он не успеет распространиться, так как на пламя моментально среагирует автоматическая система тушения.

В задней части кузова тепловоза 2ТЭ10Л установлено оборудование охлаждающего устройства и привод его вентилятора, а также вентилятор охлаждения тяговых электродвигателей задней тележки и другие агрегаты.

Остов (корпус) каждого из шести тяговых электродвигателей с одной стороны опирается на ось колесной пары, а с другой — подвешен с помощью пружин к раме тележки. На каждой тележке установлено по два тормозных цилиндра и по шесть тормозных колодок.

Чтобы полнее использовать пространство между тележками, там под главной рамой секции тепловоза 2ТЭ10Л расположен топливный бак, вмещающий 6300 кг топлива.

Все современные тепловозы радиофицированы. Радиостанция позволяет машинисту в любой момент связаться с машинистами других локомотивов, дежурными по станциям и диспетчером, который руководит движением поездов на участке. Кроме того, в кабине тепловоза установлены локомотивный светофор, передающий показания путевых светофоров, устройства автоматической сигнализации с автоматическим непрерывного действия и другое оборудование.

Теперь, когда мы имеем общее представление о тепловозе, как локомотиве,

можно сказать, что дизель вместе с передачей составляет специфическую особенность тепловоза, тогда как экипаж и вспомогательное оборудование имеются у каждого локомотива. Первая часть слова тепловоз — тепло — означает лишь, что этот локомотив снабжен тепловым двигателем. Но тепловые двигатели могут быть паровые, поршневые, паротурбинные, газотурбинные.

Какой же из них установлен на тепловозе? Термин «тепловоз» этого не разъясняет. Поэтому часто тепловоз называют *дизель-электрическим* локомотивом, если у него имеется электрическая передача, или *дизель-гидравлическим* локомотивом, если он имеет гидравлическую или гидромеханическую передачу.

Тепловозы, газотурбовозы, паровозы с собой возят *ограниченные* запасы топлива и работают за счет теплоты сгорания этого топлива. Электровозы работают за счет теплоты, выделяющейся на стационарных тепловых электростанциях (при сгорании топлива) или на гидростанциях (энергия падающей воды получена от теплоты солнечных лучей). В том и другом случае теплота на электростанциях превращается в энергию электрического тока, которая направляется к электровозам по проводам в *неограниченном* для нужд данного электровоза количестве. Так как от проводов работа тепловозов не зависит, их называют *автономными* (от греческого слова *autonomia* — независимость), в отличие от электровозов, которые относят к *неавтономным* локомотивам, поскольку они связаны с проводами.

УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

Источником энергии, используемой в тепловых двигателях для получения механической работы, служит топливо — жидкое, газообразное, твердое. Химическими элементами топлива являются углерод, водород, кислород, азот, сера и др. Из этих элементов только углерод, водород и частично сера при горении выделяют тепло и составляют так называемую горючую часть топлива. К негорючей части относятся остальные элементы, являющиеся как бы балластом топлива. *Горением* называется процесс химического соединения (окисления) элементов горючей части топлива с кислородом воздуха, сопровождающийся выделением тепла и света.

Сгорание считается полным, если весь углерод, содержащийся в топливе, превращается в углекислый газ, а водород — в пары воды. Если в продуктах окисления имеются окись углерода или другие горючие вещества, то это свидетельствует о неполном сгорании. Для того чтобы очаг горения возник и поддерживался, необходимо воспламенить топливо и обеспечить непрерывный подвод к месту его образования окислителя (кислорода воздуха) и топ-

лива. Воздух представляет собой смесь отдельных газов. По объему в нем содержится более $\frac{1}{5}$ кислорода (20,95%) и около $\frac{4}{5}$ (78,08%) азота. Небольшой процент (0,97%) составляют другие газы.

Азот — инертный газ, и при обычных условиях он не окисляется. Поэтому, когда говорят о подводе к очагу горения необходимого окислителя, подразумевают собственно подвод кислорода воздуха.

Сколько же нужно подвести воздуха, чтобы топливо сгорело полностью? Здесь на помощь приходит химия. Она позволяет определить теоретически потребное количество воздуха. Установлено, что для полного сгорания 1 кг жидкого дизельного топлива требуется около 14 кг воздуха. Например, на максимальной 1470 кВт (2000 л. с.) мощности дизеля 2Д100 во всех его цилиндрах сжигается в час 350 кг дизельного (жидкого) топлива и за это время нужно подать в цилиндры около 4900 кг воздуха.

Однако не весь кислород воздуха практически может принять участие в горении топлива. Следовательно, если к очагу горения подводить только теоретически необходимое количество воздуха, то сгорание будет неполным, а значит, и тепловой энергии при этом

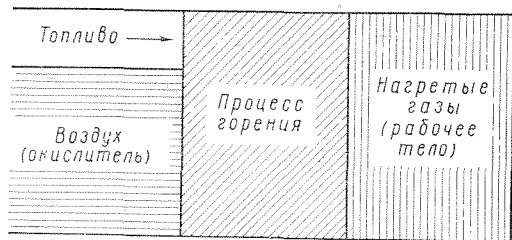


Рис. 13. Схема последовательного сжигания топлива

выделится меньше и часть топлива будет потеряна, выброшена на «ветер». Поэтому практически в цилиндры подводят значительно большее количество воздуха, чем требуется по теоретическим подсчетам. Это объясняется тем, что процесс перемешивания частиц жидкого топлива с воздухом происходит недостаточно совершенно. В то же время чрезмерно увеличивать количество подводимого воздуха невыгодно, так как для подвода воздуха необходимо затрачивать дополнительную энергию, которая не всегда окупается улучшением качества сгорания.

Отношение действительно подводимого количества воздуха к теоретически необходимому количеству принято называть *коэффициентом избытка воздуха*. Этот показатель обычно обозначают греческой буквой α . Получить смесь топлива, равномерно перемешанного с воздухом, и обеспечить благодаря этому полное и своевременное выделение тепла ($\alpha=1$) даже на современных дизелях не удается.

Практика показывает, что для полного сгорания дизельного топлива в тепловозных дизелях применяемых конструкций необходимо примерно в 1,8—2 раза больше воздуха, чем это

теоретически необходимо, или, как говорят, имеют коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,8 \div 2^*$. Это означает, что для полного сжигания 350 кг топлива в дизеле 2Д100 нужно в течение одного часа подать во все его цилиндры не 4900 кг воздуха, как было указано в нашем примере, а 8800 — 9800 кг. И не просто подать, а еще и тщательно перемешать топливо с воздухом. Тогда оно полностью сгорит.

Итак, только при соблюдении условий подвода топлива, окислителя (воздуха) и воспламенения этой смеси возможно возникновение и поддержание процесса горения (рис. 13). Вот почему в дизеле предусматриваются устройства, обеспечивающие согласованный подвод к месту горения топлива и окислителя (воздуха) и их воспламенение.

Воспламенение горючей смеси топлива с окислителем может произойти как от постороннего источника тепла (например, от электрической искры), так и без него (от самовоспламенения). В двигателях применяются оба способа воспламенения.

Но на тепловозах установлены двигатели с самовоспламенением жидкого топлива. Читателю известно, что их называют двигателями с воспламенением от сжатия, или просто *дизелями*. В отличие от такого двигателя с высокой (сильной) степенью сжатия возду-

*В некоторых конструкциях дизелей коэффициент избытка воздуха α удается снизить до 1,2—1,4. Сжигание жидкого топлива при $\alpha=1$ осуществляется на автомобильных (бензиновых) двигателях, в которых горючая смесь образуется не внутри цилиндра, а вне его с помощью карбюратора.

ха в карбюраторном (автомобильном) двигателе воспламенение топлива (бензина) производится принудительно с помощью искры от электрической свечи.

В двигателях, работающих на газовом топливе (на природном газе или газе, полученном в газогенераторах путем газификации твердого топлива), воспламенение может быть осуществлено впрыском в цилиндры порции жидкого топлива или электрической искрой.

По сравнению с карбюраторными двигателями дизели являются более экономичными, т. е. при одинаковой мощности потребляют меньше топлива. Они безопаснее в пожарном отношении, а продукты их сгорания менее токсичны. Благодаря этим преимуществам дизели находят все большее применение также на автомобилях и тракторах. Тепловозные дизели в отличие от стационарных имеют низкий расход топлива в широком диапазоне эксплуатационных режимов. Они приспособлены к длительной работе на частичных (неполных) нагрузках и даже вовсе без нагрузки (при стоянках тепловоза под поездом), к быстрой набору нагрузки, к частым пускам и остановкам. И, несмотря на столь тяжелые и переменные условия работы, тепловозные дизели должны обладать высокой надежностью и долговечностью основных деталей.

СХЕМЫ ДИЗЕЛЕЙ

В дизелях теплота, выделяющаяся при сгорании топлива, преобразуется в работу перемещения поршней в цилиндрах. Заключенный в цилиндр

поршень может совершать только прямолинейное возвратно-поступательное движение от одного крайнего положения к другому. А коленчатый вал, передающий мощность дизеля нагрузочному устройству (потребителю), совершает вращательное движение.

Как преобразовать прямолинейное движение поршня во вращательное движение коленчатого вала двигателя? Для этого применяется шатунно-кривошипный механизм, схема которого представлена на рис. 14. Благодаря разности давлений газов над и под поршнем он перемещается в цилиндре. При этом энергия расширения газов преобразуется в энергию движения поршня и других деталей двигателя, соединенных с ним. Чтобы «передать» силу давления газов дальше на коленчатый вал, необходим шатун-стержень, верхний конец которого шарнирно соединяют с поршнем (посредством поршневого пальца), а нижний — с коленчатым валом через кривошип (колесо), являющийся частью вала. Поршневой палец представляет собой отшлифованное цилиндрическое тело, вставляемое в отверстия поршня и верхней головки шатуна.

Если начать двигать поршень, то вместе с ним придет в движение и шатун, который через кривошип заставит коленчатый вал вращаться. Если же вращать коленчатый вал, то его кривошип будет перемещать шатун, а значит, и поршень: все детали шатунно-кривошипного механизма связаны между собой. Таким образом, шатун служит для передачи усилия от поршня коленчатому валу и

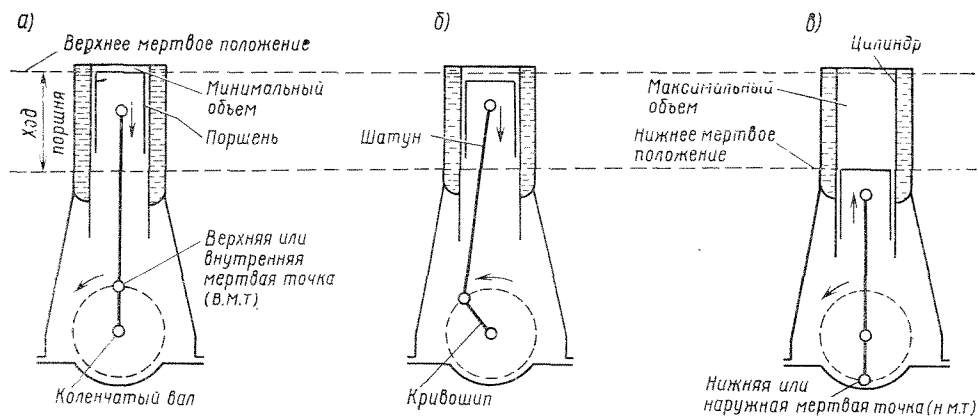


Рис. 14. Схема шатунно-кривошипного механизма поршневого двигателя

преобразования прямолинейного возвратно-поступательного движения во вращательное. Во время работы дизеля шатуны похожи как бы на стальные руки, неумоимо вращающие коленчатый вал.

Каждая из подвижных деталей шатунно-кривошипного механизма совершает различные виды движения относительно неподвижного цилиндра: коленчатый вал с кривошипом — чисто вращательное движение, поршень — поступательное, а шатун — сложное.

Все тепловозные дизели являются многоцилиндровыми. Число цилиндров в одном ряду может достигать до двенадцати. Цилиндры по отношению друг к другу могут быть размещены в один ряд вертикально (см. рис. 14 и 15) или в два ряда V-образно (расположение цилиндров в поперечном разрезе напоминает латинскую букву V, рис. 16). Вертикальные однорядные шестицилиндровые дизели ПД1М установлены на тепловозах ТЭМ2;

Д50 — на тепловозах ТЭ1 и ТЭ2, а 2Д50М — на ТЭМ1. Среди дизелей с вертикальным однорядным расположением цилиндров особое место занимают двигатели со встречно-движущимися или расходящимися поршнями (см. рис. 15). Это означает, что в каждом цилиндре друг против друга движутся два поршня, соединенных шатунами с верхним и нижним коленчатыми валами. Такие однорядные десятицилиндровые дизели 2Д100 мощностью 1470 кВт (2000 л. с.) установлены на тепловозах ТЭ3. Десятицилиндровые дизели 10Д100 мощностью 2206 кВт (3000 л. с.) установлены на тепловозах 2ТЭ10В, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10, ТЭП10, ТЭП10Л.

В V-образных дизелях шатуны двух смежных цилиндров действуют на один кривошип. V-образное расположение цилиндров имеют шестнадцатицилиндровые дизели 11Д45 и 2А-5Д49 пассажирских тепловозов соответственно ТЭП60 и ТЭП70; 1А-5Д49 грузовых тепловозов 2ТЭ116 и

ТЭ109; 2Д70 тепловозов 2ТЭ116; 2ТЭ109 и 2ТЭ40. Двенадцатицилиндровые V-образные дизели 14Д40 установлены на грузопассажирских тепловозах М62, а дизели М753 — на тепловозах ТГМ3.

Во всех тепловозных дизелях каждый цилиндр располагается так, чтобы его продольная ось пересекалась с осью вращения коленчатого вала, как это видно из рис. 14 — 16. Характерной особенностью любого дизеля является то, что все детали шатунно-кривошипного механизма, совершая движения в определенной последовательности (рис. 14, а, б, в), неизменно возвращаются в исходное положение. Так, поршень, двигаясь сверху вниз, начнет двигаться обратно после того, как коленчатый вал сделает пол-оборота. Еще через пол-оборота вала поршень займет свое исходное положение.

Когда поршень приходит в одно из двух крайних положений, то направление шатуна (в простом шатунно-кривошипном механизме) совпадает с направлением кривошипа; шатунно-кривошипный механизм становится как бы «в растяжку» (см. рис. 14, а и в). В этом случае, как бы велика ни была сила давления газов на поршень, он не сдвинется с места и коленчатый вал в движение не придет. Усилие от действия газов на поршень будет только сжимать детали шатунно-кривошипного механизма, но коленчатый вал дизеля останется неподвижным; вот почему крайние положения поршня и кривошипа называются мертвыми положениями, или мертвыми точками — внутренней и наружной.

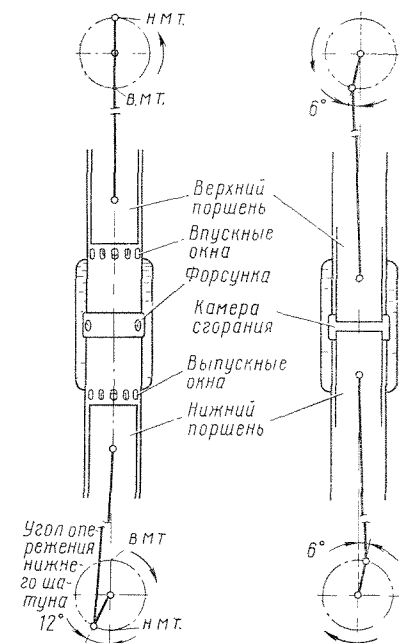


Рис. 15. Схема шатунно-кривошипного механизма дизеля со встречно-движущимися поршнями

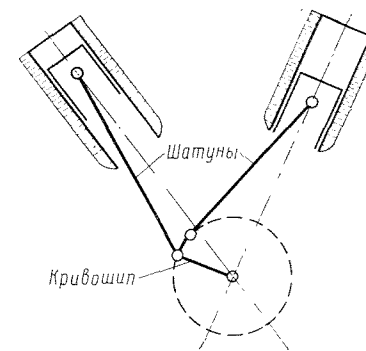


Рис. 16. Схема шатунно-кривошипного механизма V-образного дизеля

Внутренняя мертвая точка (в. м. т.) соответствует положению поршня в цилиндре, при котором расстояние поршня от оси коленчатого вала достигает наибольшего значения (см. рис. 14, а — поршень находится в самой верхней точке). Оно называется *внутренним* потому, что кривошип (колесо) «смотрит» внутрь цилиндра.

Положение поршня в цилиндре, при котором расстояние его от оси вала двигателя наименьшее — кривошип «смотрит» наружу цилиндра (см. рис. 14, в) — соответствует *наружной* мертвой точке (н. м. т.). Если имеется один коленчатый вал, расположенный ниже цилиндров, то наружная мертвая точка является нижней, а внутренняя — верхней. Положения в. м. т. и н. м. т. определяются длиной шатуна и радиусом кривошипа. Длиной хода поршня, или просто *ходом поршня* (см. рис. 14, а), называется расстояние по оси цилиндра между двумя мертвыми точками в. м. т. и н. м. т., равное удвоенному радиусу кривошипа. Ход поршня и диаметр цилиндра являются важнейшими характеристиками дизеля, определяющими его размеры и способность развивать требуемую мощность.

В цилиндре двигателя внутреннего сгорания образуется рабочая полость, ограниченная поршнем, стенками цилиндра и его крышкой. Когда поршень находится в н. м. т., в цилиндре образуется максимальный по своей величине объем (см. рис. 14, в); когда же поршень находится в в. м. т., объем уменьшается до минимума (см. рис. 14, а). При наличии в каждом цилиндре двух поршней рабочая полость образуется между

днищами верхнего и нижнего поршня и стенками цилиндра.

Объем цилиндра, освобождаемый поршнем при движении от одной мертвой точки к другой, называется *рабочим*. Например, ход поршня у дизелей 2Д50М, ПД1М равен 330 мм, диаметр цилиндра — 318 мм; ход поршня и диаметр цилиндра дизелей типа Д49 одинаковы и равны соответственно 260 мм. Эти размеры определяют и рабочий объем одного цилиндра, который в первом случае оказывается равным примерно 26 л, а во втором случае около 14 л.

СТЕПЕНЬ СЖАТИЯ

Газ, как известно, обладает способностью изменять свой объем: он может расширяться и сжиматься. Процесс увеличения объема газа называется *расширением*, а процесс уменьшения объема газа — *сжатием*.

Предположим, что при нахождении поршня в н. м. т. воздух в цилиндре займет объем V_1 , равный 28,3 л (рис. 17), а при достижении поршнем в. м. т. объем сократится до 2,3 л (объем V_2). Это значит, что при сжатии объем воздуха уменьшился в 12,3 раза. В таких случаях говорят, что двигатель имеет *степень сжатия*, равную 12,3. Объем V_2 называют объемом камеры сжатия. Объем V_1 , состоящий из рабочего объема и объема камеры сжатия, есть полный объем цилиндра.

Таким образом, степень сжатия определяется как отношение полного объема цилиндра (в котором воздух размещался до сжатия) к объему ка-

меры сжатия (который воздух занимает после сжатия). Степень сжатия двигателя обозначается греческой буквой ϵ .

У современных тепловозных дизелей степень сжатия составляет обычно 12 — 16. У карбюраторных двигателей внутреннего сгорания, где сжимается не воздух, а горючая смесь, степень сжатия значительно меньше. Поэтому тепловозные дизели и называют *двигателями высокого сжатия*.

Зачем же повышают степень сжатия? Делается это для того, чтобы повысить температуру и давление сжимаемого воздуха перед сгоранием. Если, например, атмосферный воздух быстро сжать до давления порядка 2,94—4,9 МПа (30—50 кгс/см²), то температура его достигнет 500—600°С, т. е. превысит температуру самовоспламенения дизельного топлива. Нагретый до высокой температуры воздух и будет той «спичкой», которая зажжет жидкое топливо, впрыскиваемое в цилиндр с помощью форсунок (см. гл. 7). Но высокая степень сжатия выгодна не только поэтому.

Чтобы переход теплоты в работу был наиболее полным, нужно сжечь топливо в возможно меньшее время, измеряемое тысячными долями секунды. А достигнуть этого без высокого давления и температуры нельзя. После воспламенения частиц распыленного топлива начинается выделение большого количества теплоты, сопровождающееся вследствие этого быстрым нарастанием давления и температуры внутри цилиндра дизеля. В

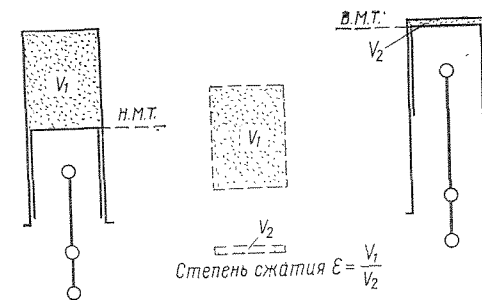


Рис. 17. Определение степени сжатия

процессе горения топлива давление газов в цилиндре повышается до 9,8—11,7 МПа (100—120 кгс/см²) [например, у дизелей 10Д100 оно достигает 9,8—10,6 МПа (100—110 кгс/см²)], а температура — до 1800°С и более. При таких высоких температурах и давлениях преобразование теплоты в работу более совершенно.

Таким образом, величина степени сжатия оказывает большое влияние на экономичность рабочего процесса и поэтому является важнейшей конструктивной характеристикой двигателя. Чем выше степень сжатия, тем выше к. п. д. двигателя (см. с. 64). Казалось бы, что степень сжатия выгодно иметь как можно больше. Однако в тепловозных дизелях степень сжатия, как указывалось, не превосходит величины 16. Это объясняется тем, что рост давления в конце сжатия приводит к значительному увеличению максимального давления сгорания. При этом резко увеличиваются усилия, действующие на детали цилиндро-поршневой группы и шатунно-кривошипного механизма, что приводит к их интенсивному износу: дизель быстро приходит в негодность.

Максимальное давление сгорания в тепловозных дизелях ограничивают величиной 11,76 МПа (130 кгс/см²).

РАБОЧИЕ ЦИКЛЫ ДИЗЕЛЕЙ

Поршень в цилиндре дизеля 10Д100 при частоте вращения коленчатого вала, равной 850 об/мин, делает за минуту 1700, а за секунду — больше 28 перемещений сверху вниз и снизу вверх. Примерно тридцатая доля секунды дана поршню на один ход. Если подсчитать путь, пройденный поршнем, то он может оказаться равным 200 км за 8 ч работы, а ведь тепловоз может находиться в движении почти 24 ч в сутки.

Если какие-либо явления последовательно и периодически повторяются, следуя друг за другом, это называется *циклом*. Например, цикл составляет смена времен года, смена дня и ночи и т. д. Аналогично этому в тепловых машинах также происходят *циклические (круговые) процессы*.

Проследив за процессами, происходящими в цилиндре работающего дизеля, можно заметить, что рабо-

та поршня складывается из чередующихся процессов: 1) впуск воздуха; 2) сжатие воздуха; 3) горение впрыснутого топлива, образование газообразных продуктов горения и их расширение; 4) выпуск отработавших газов. Комплекс последовательных процессов, периодически повторяющихся в каждом рабочем цилиндре, называется *рабочим циклом двигателя*.

Как бы ни были разнообразны конструкции дизелей, но упомянутые процессы имеют место в каждом из них. Разница только в том, что в одних дизелях весь рабочий цикл совершается за один оборот коленчатого вала, а в других — за два оборота, т. е. соответственно за два хода (такта) поршня (эти двигатели принято называть *двухтактными*) и за четыре хода (такта) поршня (эти двигатели принято называть *четырёхтактными*). Таким образом, *такт* — это часть рабочего цикла.

Рабочим, так сказать, «мускульным» тактом во всех двигателях внутреннего сгорания является расширение продуктов сгорания топлива в цилиндре. Именно во время этого такта развивается сила, перемещающая поршень. Поэтому такт расширения называют *рабочим ходом поршня*. Этот такт является движущим началом остальных нерабочих тактов, совершающихся за счет накопленной при рабочем такте энергии. На каждый рабочий ход приходится в двухтактном двигателе один нерабочий ход, а в четырехтактном — три нерабочих хода (рис. 18). На тепловозах применяются и конкурируют между собой двухтактные и четырехтактные дизели.

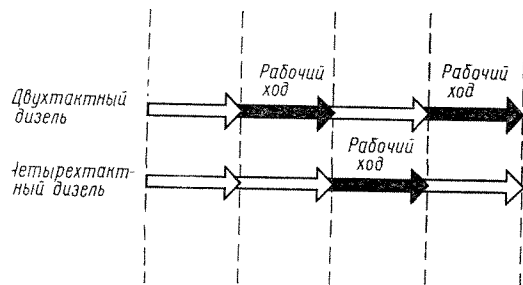


Рис. 18. Схематичное изображение рабочих ходов в дизелях

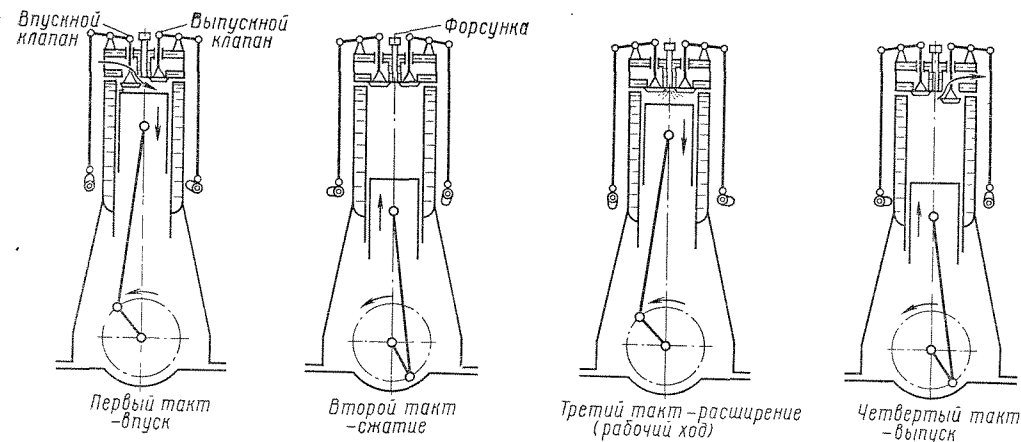


Рис. 19. Схема работы четырехтактного дизеля

Четырёхтактный дизель. Первый такт — *впуск* воздуха (рис. 19). При движении поршня от верхней мертвой точки к нижней (допустим, что поршень движется благодаря вращению коленчатого вала по инерции) под действием специального механизма открыт впускной клапан, давая, таким образом, доступ воздуху в цилиндр; выпускной клапан закрыт.

Второй такт — *сжатие*. Пройдя нижнюю мертвую точку, поршень, приводимый в движение коленчатым валом, начинает перемещаться вверх: объем цилиндра уменьшается. Так как оба клапана — впускной и выпускной — в это время закрыты, то поршень сжимает воздух, заполнивший цилиндр. Когда поршень находится около в. м. т., воздух оказывается сжатым до давления 2,94 — 4,9 МПа (30—50 кгс/см²). Этот такт поэтому и называется тактом сжатия. От такого сжатия температура воздуха

в цилиндре дизеля повышается до 500—600°С.

Третий такт — *расширение газа*. При подходе поршня к верхней мертвой точке в цилиндр через форсунку впрыскивается порция топлива. Давление впрыска топлива (не путать с давлением газов!), достигающее до 98 МПа (1000 кгс/см²), создает топливным насосом (на схеме не показан). В цилиндре происходит перемешивание топлива со сжатым воздухом и самовоспламенение. Процесс горения топлива сопровождается ростом температуры и давления газов. При сгорании топлива температура газов в цилиндре достигает 1500—1800°С, а давление повышается (в зависимости от конструкции и мощности дизеля) до 4,9 — 11,7 МПа (50—120 кгс/см²). Под действием высокого давления газов поршень перемещается к нижней мертвой точке, а продукты сгорания топлива расширяются. Как уже указывалось, этот третий

такт является рабочим ходом поршня потому, что только при этом ходе поршень совершает полезную работу. Температура и давление газов после расширения значительно понижаются. В третьем такте так же, как и во втором, впускной и выпускной клапаны закрыты.

Четвертый такт — *выпуск газов*. В конце третьего такта открывается выпускной клапан и начинается выход отработавших газов в коллектор. При обратном движении поршня вверх объем цилиндра уменьшается, газы поршнем выталкиваются через открытый выпускной клапан. Процесс выпуска отработавших газов, т. е. очистки цилиндра для последующего впуска воздуха, заканчивается несколько позже того, как поршень пройдет верхнюю мертвую точку. Для чего это делается, мы скоро узнаем, а пока отметим, что четвертый такт является замыкающим в цикле; после него все такты повторяются сначала: 1) впуск, 2) сжатие, 3) рас-

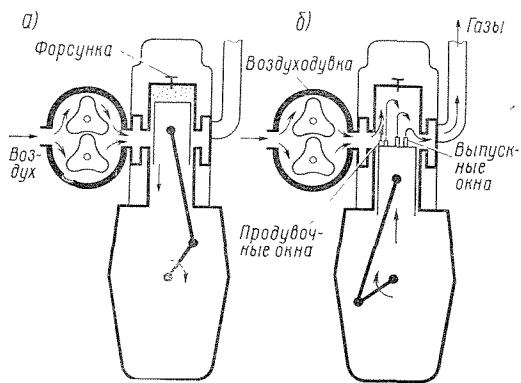


Рис. 20. Схема работы двухтактного дизеля

ширение, 4) выпуск и т. д. Итак, в четырехтактном дизеле рабочий цикл осуществляется за четыре хода (такта) поршня.

Хорошо ли, что в четырехтактном дизеле только один из тактов — расширение — является рабочим, а три — подготовительными? И да, и нет. Хорошо потому, что цилиндры двигателя тщательно очищаются от отработавших газов. Плохо потому, что на один рабочий такт приходится три вспомогательных такта, во время которых двигатель не производит работу. Следовательно, в четырехтактных дизелях около $\frac{3}{4}$ времени цикла затрачивается на вспомогательные операции — впуск, сжатие и выпуск. Нельзя ли сократить это время, уменьшить продолжительность рабочего цикла?

Двухтактный дизель. Изучая процессы, происходящие в работающем дизеле, конструкторы пришли к выводу, что рабочий цикл дизеля можно осуществить и за два хода поршня: при воспламенении и сгорании топлива поршень совершает один ход сверху вниз (рис. 20, а), следующий, обратный ход поршня используется для сжатия новой порции воздуха (рис. 20, б). Для остальных двух процессов отводится гораздо меньше времени, чем раньше: очистка цилиндра и заполнение его воздухом происходят в период, когда поршень находится вблизи н. м. т.

Двухтактный дизель так же, как и четырехтактный, имеет цилиндр, поршень, шатунно-кривошипный механизм. У двухтактных дизелей типа Д100 нет клапанов: впуск и выпуск осуществляются не через отверстия в

крышке цилиндра, открываемые клапанами, а через специальные окна (щели) в стенке цилиндра (см. рис. 20, б), которые закрываются и открываются самим поршнем во время его перемещения в цилиндре. Поршень двухтактного дизеля сам выполняет функции клапанов. Но, как бы в награду за этот труд, поршень в двухтактном дизеле практически не производит работы по выталкиванию отработавших газов и созданию разрежения в цилиндре двигателя внутреннего сгорания.

Вот как это достигается. В конце рабочего хода, когда поршень приближается к н.м.т., он сначала открывает выпускные (в нашем случае более высокие) окна, через которые и устремляются отработавшие газы в выпускной коллектор; давление в цилиндре начинает падать. Еще через мгновение поршень, продолжая двигаться вниз, открывает более низкие продувочные окна, сквозь которые в цилиндр врывается струя сжатого воздуха, подаваемого воздухоподкачкой. Сжатый воздух выталкивает газы через выпускные окна в атмосферу и заполняет объем цилиндра, частично проходя через него «транзитом». Выпуск газов происходит в тот очень короткий промежуток времени, пока окна не перекроет поршень при своем движении вверх от нижней мертвой точки. При этом закрываются продувочные окна, а затем выпускные. После того как поршень перекроет окна, начнется процесс сжатия воздуха.

Процесс очистки цилиндра от отработавших газов и наполнения его чистым воздухом получил название *продувки*.

ПРОДУВКА ЦИЛИНДРА ДВУХТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ

Наиболее простой является поперечная (петлевая) продувка (рис. 21, а). Продувочный воздух поступает через продувочные окна, занимающие часть боковой поверхности цилиндра против выпускных окон. При движении вниз (в конце расширения) поршень открывает выпускные окна, через которые газы выпускаются из цилиндра, затем открывает продувочные окна. Давление в цилиндре снижается по сравнению с давлением продувочного воздуха. Поэтому продувочный воздух заполняет цилиндр, вытесняя оставшиеся отработавшие газы.

После того как поршень при движении вверх закроет окна, начнется процесс сжатия воздуха. При таком способе продувки верхнее пространство цилиндра плохо очищается от отработавших газов.

Для улучшения очистки приходится пропускать большое количество воздуха пропускать через цилиндр, на что затрачивается дополнительная мощность. В этом отношении лучше прямоточная продувка (рис. 21, б), при которой продувочный воздух, поступающий через окна, имеющие тангенциальный и радиальный наклоны, направляется к верхней части цилиндра и вместе с газами выходит из цилиндра через выпускные каналы в цилиндрической крышке при открытом выпускном клапане: двигаясь по винтовой линии, воздух образует как бы «воздушный» поршень, который вытесняет отработавшие газы через выпускной клапан в крышке цилиндра. Поэтому такая продувка на-

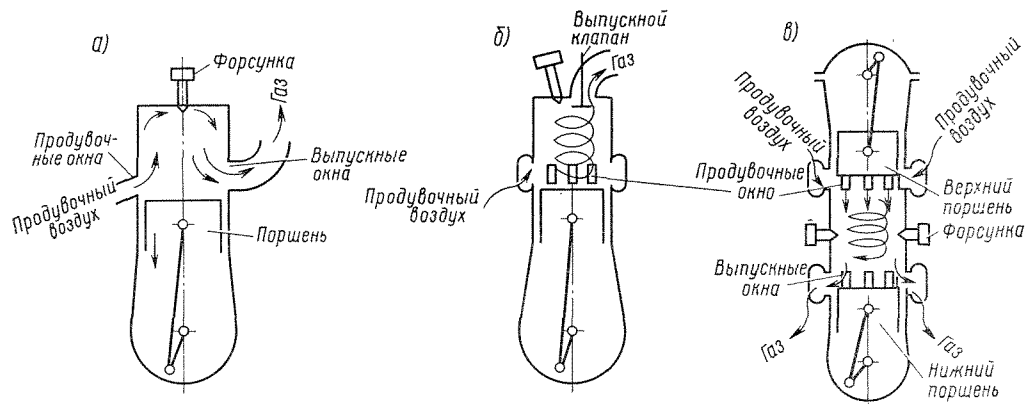


Рис. 21. Схемы продувок:
 а — поперечная; б — клапанно-щелевая; в — прямоточно-щелевая

зывается *клапанно-щелевой*. Но, удаляя отработавшие газы, часть воздуха также проходит «транзитом» через цилиндр в выпускной тракт. Хотя этот вид продувки и более совершенный, чем поперечная, но продукты сгорания не полностью удаляются из цилиндра, ибо зоны вблизи крышки остаются неочищенными.

Такая схема продувки применена в тепловозных дизелях 11Д45 и 14Д40.

На дизелях типа Д100 при встречно-движущихся поршнях применена так называемая *прямоточно-щелевая* продувка цилиндров (рис. 21, в). В этой схеме сначала нижним поршнем открываются выпускные окна. Осуществляется предварительный выпуск газов. Затем верхний поршень открывает продувочные окна, после чего начинается принудительная продувка цилиндра воздухом, поступающим через впускные окна и движущимся в цилиндре по винтовой линии, как показано стрелками.

Образующийся «воздушный» поршень вытесняет отработавшие газы через выпускные окна, расположенные по периметру окружности в нижней части цилиндра. Этот вид продувки наиболее совершенный: вместо металлического поршня в четырехтактном двигателе образующийся в двухтактном дизеле «воздушный поршень» обеспечивает хорошую очистку цилиндра. После закрытия выпускных окон воздух под давлением еще некоторое время продолжает поступать в цилиндр через продувочные окна, благодаря чему осуществляется дозарядка цилиндра. С закрытием продувочных окон начинается сжатие поршнями воздуха. В двухтактном дизеле процессы сжатия воздуха, впрыска топлива, его воспламенения и расширения газов протекают примерно так же, как и в четырехтактном.

Таким образом, в двухтактном дизеле рабочий цикл образуется следующими двумя тактами.

Первый такт — *сжатие* (см. рис. 20, б). Пройдя нижнюю мертвую точку, поршень начинает перемещаться вверх, закрывая сначала продувочные, затем выпускные окна. Так как окна закрыты, поршень сжимает воздух, заполнивший цилиндр. При этом температура воздуха повышается до температуры, достаточной для воспламенения топлива.

Второй такт — *рабочий ход* (см. рис. 20, а). При подходе поршня к верхней мертвой точке в горячий воздух из форсунки впрыскивается дизельное топливо. Происходит самовоспламенение топлива, процесс горения которого сопровождается ростом температуры и давления рабочей смеси. Под действием возрастающего давления газов поршень перемещается к нижней мертвой точке. Этот такт является рабочим.

Как уже знает читатель, конец второго и начало первого такта занимают процессы очистки и продувки цилиндра, соответствующие тактам выпуска и всасывания в четырехтактном дизеле. Благодаря этим особенностям рабочий цикл двухтактного дизеля осуществляется за два хода поршня или за один оборот (360°) коленчатого вала вместо четырех ходов поршня или двух оборотов (720°) коленчатого вала, как это делается в четырехтактных дизелях. При этом часть рабочего хода поршня не используется из-за более раннего, чем в четырехтактных двигателях, открытия выпускных органов (подробно об этом ниже). Кроме того, часть полезной работы дизеля затрачивается на сжатие дополнительного воздуха, необходимого для продувки цилиндров.

ФАЗЫ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧЕТЫРЕХТАКТНОГО И ДВУХТАКТНОГО ДИЗЕЛЕЙ

Одним из важнейших условий хорошей работы дизеля является качество очистки цилиндров от отработавших газов и наполнение цилиндров воздухом. Время, отводимое на это, исчисляется долями секунды. Поэтому стремятся увеличить продолжительность процессов очистки и наполнения цилиндров, т. е. время, в течение которого органы газораспределения (клапаны или окна цилиндров) остаются открытыми. Однако при чрезмерном увеличении продолжительности открытия окон или клапанов возрастают потери воздушного заряда цилиндра или потери газов от предыдущего рабочего цикла и т. п. Все это ухудшает рабочий процесс, снижает экономичность, приводит к падению мощности. Вот почему так необходимо и важно выбрать наиболее выгоднейшее (оптимальное) соотношение в открытии и закрытии впускных и выпускных органов газораспределения.

Моменты открытия и закрытия клапанов и окон называются *фазами газораспределения* дизелей. Фазы газораспределения обычно выражаются в углах поворота коленчатого вала и представляются графически в виде диаграммы фаз (круговой диаграммы). Рассмотрим сначала фазы газораспределения *четырёхтактного* дизеля.

Как увеличить продолжительность выпуска газов из цилиндра?

Для освобождения цилиндра четырехтактного дизеля от отработавших

газов надо открыть выпускной клапан. А чтобы облегчить выпуск газов, нужно увеличить время открытия и проходное сечение клапанов, ибо в узкой щели, открываемой клапаном, происходит дросселирование газов. Конструкторы решили открывать клапан еще во время рабочего хода, т. е. до того, как поршень дойдет до крайнего нижнего положения.

На первый взгляд это кажется невыгодным. В самом деле, зачем преждевременно выпускать из цилиндра газы, не потерявшие давления? Однако значительной потери энергии практически не происходит, так как клапан открывается в конце хода расширения, когда поршень прошел значительную часть пути. Небольшая потеря энергии газов оправдывается теми выгодами, которые получаются благодаря лучшей очистке цилиндров и меньшему давлению на ходе выталкивания.

Выпуск газов с опережением облегчает движение поршня вверх. Происходит это потому, что давление в цилиндре при движении поршня к наружной мертвой точке из-за опережения выпуска успевает значительно понизиться. Поэтому отработавшие газы будут оказывать незначительное противодействие обратному ходу поршня. Вредная работа при выпуске уменьшается. Этому способствует также увеличение проходного сечения и времени открытия клапанов за счет запаздывания закрытия выпускного клапана не в момент нахождения поршня в в. м. т., а несколько позже (рис. 22).

Аналогично, чтобы облегчить впуск воздуха, открытие впускных клапанов

происходит не в в. м. т., а до того, как поршень дойдет до крайнего верхнего положения. Благодаря опережению начала и запаздывания конца выпуска величина угла поворота кривошипа коленчатого вала при открытом выпускном клапане увеличивается и возникает возможность продувки цилиндров воздухом, проходящим через них «транзитом» (в четырехтактных двигателях).

Как видно из диаграммы фаз четырехтактного дизеля Д50, выпускной клапан (темная линия на диаграмме) начинает открываться в конце такта расширения за 50° до прихода кривошипа коленчатого вала в положение, соответствующее н. м. т. Для разных дизелей в зависимости от их конструкции устанавливают разные фазы газораспределения. Закрывается выпускной клапан после того, как кривошип пройдет на 54° положение, соответствующее в. м. т. Подсчитаем, на сколько градусов повернется коленчатый вал в процессе выпуска газов из цилиндра четырехтактного дизеля Д50:

$$50 + 180 + 54 = 284^\circ.$$

Величина угла поворота кривошипа в процессе очистки цилиндра доходит в четырехтактных дизелях до 240—290° против теоретических 180°. Ясно, что при таком увеличении процесса выпуска, в течение которого выпускной клапан открыт, из цилиндра успеет выйти больше отработавших газов и, что не менее важно, давление в цилиндре на ходе выталкивания будет значительно ниже. Однако для экономичной работы двигателя внутреннего сгорания важно не только хорошо очистить цилиндры от газов,

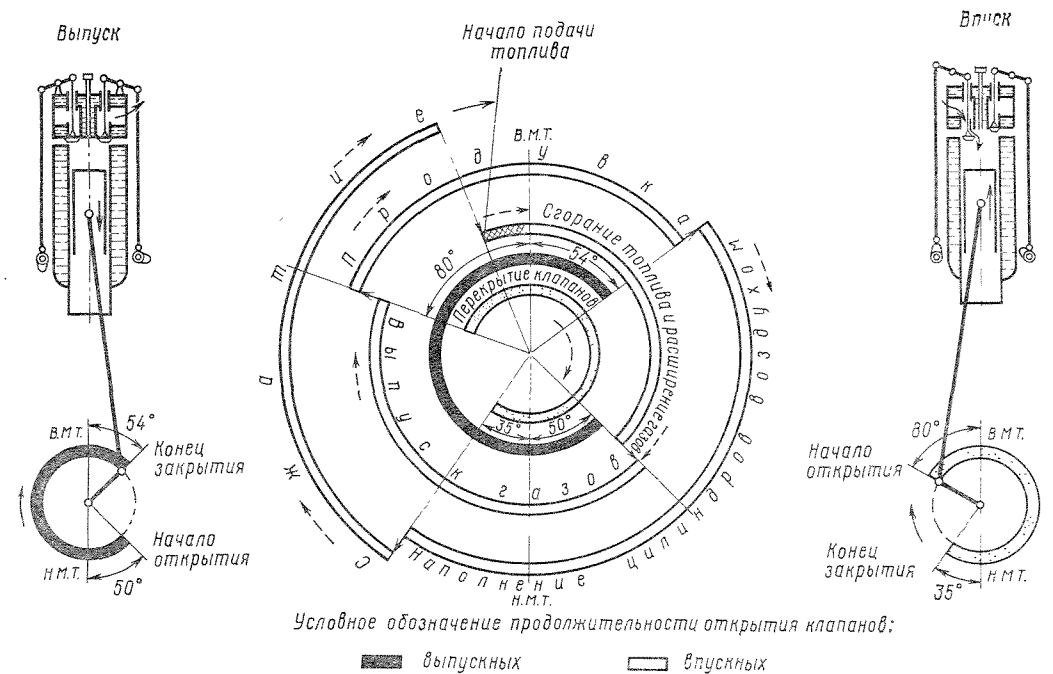


Рис. 22. Круговая диаграмма газораспределения четырехтактного дизеля Д50

но и наполнить их требуемым количеством свежего воздуха.

Каким же образом решается эта задача, за счет каких резервов конструкторы увеличивают наполнение цилиндра воздухом?

Для увеличения заряда цилиндра свежим воздухом впускной клапан начинает открываться немного раньше того момента, когда поршень придет в крайнее верхнее положение. Опережение впуска делается для того, чтобы к началу обратного хода поршня проходное сечение клапана для впуска свежего воздуха было достаточно большим. Если же пачать откры-

вать клапан одновременно с началом хода впуска, то воздуху придется вначале проходить через уменьшенное сечение за меньшее время. Это вызовет большие потери на дросселирование воздуха, и он не успеет заполнить цилиндр до н. м. т. Чтобы увеличить среднее проходное сечение и время открытия впускных клапанов и уменьшить потери давления, конструкторы решили закрывать впускной клапан не в момент подхода поршня к нижнему мертвому положению, а позже, т. е. в начале обратного хода поршня.

Что при этом получается? Поршень идет вверх, объем над поршнем умень-

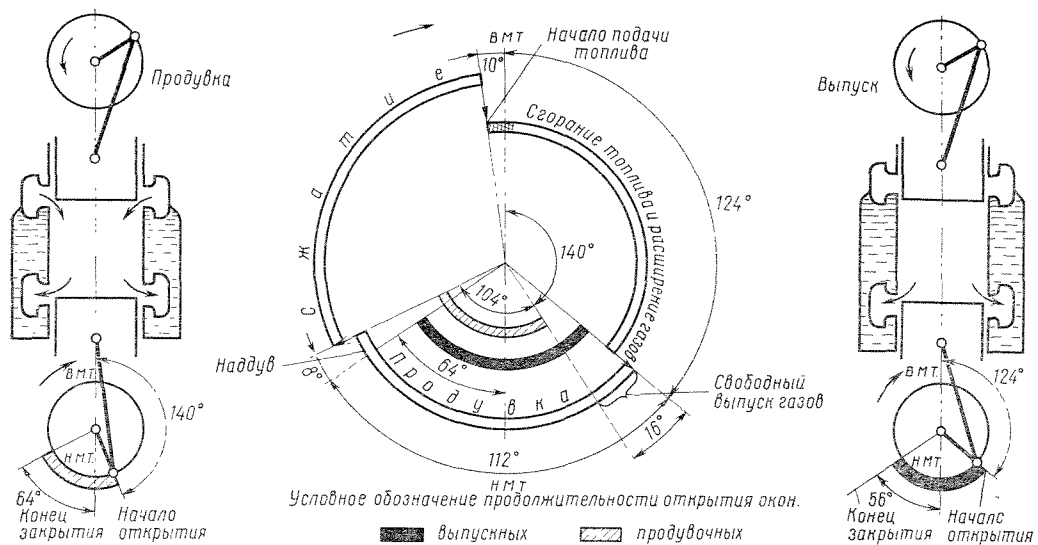


Рис. 23. Круговая диаграмма газораспределения двухтактного дизеля 10Д100

шается, но, несмотря на это, воздух продолжает поступать в цилиндр до тех пор, пока давление в нем станет равным давлению наддува.

В этот момент закрывается впускной клапан. В тепловозных дизелях продолжительность открытия впускного клапана соответствует $230-300^\circ$ угла поворота кривошипа коленчатого вала. Впускной клапан (линия с точками на диаграмме рис. 22) открывается в конце такта выпуска, когда кривошип коленчатого вала еще не дошел на 80° до положения, соответствующего в. м. т., а закрывается, когда коленчатый вал пройдет на 35° положение, соответствующее н. м. т.

Подсчитаем продолжительность наполнения цилиндра:

$$80 + 180 + 35 = 295^\circ.$$

На тепловозных дизелях 2Д50, ПД1 фазы газораспределения отличаются от приведенных на рис. 22 увеличением продолжительности открытия выпускного клапана до 300° . Это уменьшает потери воздуха при дросселировании через клапаны и улучшает очистку цилиндра.

Мы видели, что впускной клапан начинает открываться еще до того, как закончится такт выпуска, т. е. до того, как поршень придет в верхнюю мертвую точку, а выпускной клапан закрывается после прохода поршнем этой точки, т. е. в начале такта впуска. Следовательно, в течение некоторого времени оба клапана находятся в открытом положении, процессы выпуска газов и впуска воздуха накладываются один на другой (перекрываются). Поэтому фаза, в которой од-

новременно открыты выпускной и впускной клапаны, называется *перекрыванием клапанов*. Особенно полезно перекрывание клапанов в двигателе с наддувом (см. с. 55).

При наддуве за счет перекрывания клапанов осуществляется продувка воздухом, проходящим через цилиндры «транзитом». Это улучшает очистку цилиндра от газов, происходит некоторое охлаждение поверхности цилиндра, головки поршня и выпускных клапанов, работающих в напряженных температурных условиях. Перемешивание с воздухом отработавших газов приводит к понижению их температуры, облегчая условия работы лопаток турбины.

Мы рассмотрели две фазы газораспределения — впуск и выпуск. Обычно на круговую диаграмму, иллюстрирующую эти важные фазы, наносят еще два полукруга, изображающих процессы сжатия и расширения, а также момент начала подачи топлива.

Построение круговой диаграммы газораспределения *двухтактных* дизелей принципиально не отличается от построения круговой диаграммы четырехтактных дизелей, но учитывается, что процессы выпуска и наполнения в двухтактных дизелях протекают в течение части хода поршня за счет повышенного давления продувочного воздуха, а в четырехтактных дизелях в процессах газообмена участвует поршень, выталкивая газы или всасывая свежий воздух.

Продолжительность выпуска и наполнения (от момента открытия выпускных органов до момента закры-

тия впускных) в четырехтактном дизеле Д50 соответствует 445° угла поворота коленчатого вала ($50+180+180+35$), в двухтактном же дизеле 10Д100 этот угол составляет 120° ($56+56+8$).

На рис. 23 показана круговая диаграмма газораспределения дизеля 10Д100. Когда кривошип нижнего коленчатого вала не дойдет на 10° до положения, соответствующего в. м. т., начинается подача топлива, а после его сгорания через некоторый период начинается процесс расширения. После того как кривошип нижнего коленчатого вала пройдет на 124° от положения, соответствующего в. м. т., нижним поршнем начинают открываться выпускные окна. Свободный выпуск газов продолжается в течение 16° поворота нижнего коленчатого вала. После этого верхний поршень откроет продувочные окна. Начинается принудительный выпуск газов, продувка и наполнение цилиндра свежим воздухом. Выпускные окна нижним поршнем перекроются при проходе им 56° от н. м. т. Продувка закончится, но продувочные окна еще будут открыты в течение 8° поворота кривошипа, и в цилиндр будет поступать воздух (происходит дозарядка). Сжатие воздуха начнется после закрытия продувочных окон.

Итак, в двухтактных и четырехтактных дизелях с воспламенением от сжатия рабочий процесс состоит из следующих процессов: впуск свежего воздуха; сжатие свежего воздуха; впрыск и горение топлива; расширение газов; выпуск отработавших газов.

3 МОЩНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ ДИЗЕЛЯ

ИНДИКАТОРНАЯ ДИАГРАММА

Процессы, происходящие в цилиндре поршневого двигателя, помимо круговой диаграммы, могут быть изображены в виде индикаторной диаграммы, названной так потому, что ее вычерчивает особый прибор — индикатор (от латинского слова — *indico*, что значит указываю, определяю). *Индикаторная диаграмма* — это графическое отображение изменения давления газа в цилиндре поршневого двигателя в зависимости от перемещения поршня или угла поворота кривошипа.

Если индикатор вычерчивает кривую линию, которая показывает, как изменяется давление в цилиндре в зависимости от угла поворота кривошипа, то такая диаграмма называется *развернутой*. Положение любой точки на кривой этой диаграммы определяет величину давления в цилиндре при соответствующем угле поворота вала.

Развернутая индикаторная диаграмма (рис. 24) показывает, например, что наибольшее давление в цилиндре дизеля 10Д100 8,72 МПа (89 кгс/см²) достигается при угле поворота кривошипа нижнего коленчатого вала, равном 7° после в. м. т. По

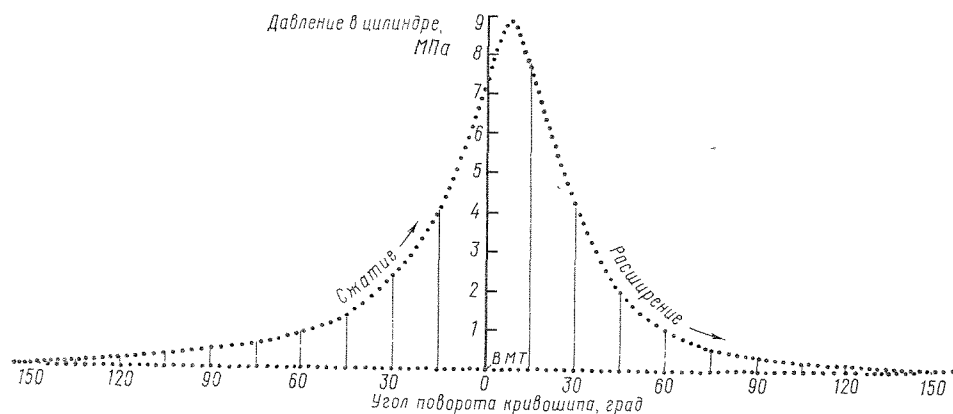


Рис. 24. Развернутая индикаторная диаграмма дизеля с наддувом

этой диаграмме может быть получена (пересчетом) кривая изменения температуры газов в цилиндре в зависимости от угла поворота кривошипа.

На так называемой *свернутой* индикаторной диаграмме (рис. 25) изменение давления дано в зависимости от положения поршня. Участок 3—А, выделенный на рис. 26, а, соответствует горению топлива при постоянном объеме. Такой процесс, называемый *изохорным*¹, возможен только при очень быстром, почти мгновенном сгорании топлива. Однако практически в двигателе с самовоспламенением от сжатия вся порция жидкого топлива не может быть впрыснута в цилиндр мгновенно и тем более мгновенно сгореть. Поэтому часть топлива сгорает не при постоянном объеме, а за время перемещения поршня на величину ΔS (рис. 26, б). В этот период постепенного (а не мгновенного!) сгорания топлива давление газов в цилиндре не повышается, а остается постоянным (*изобарный*² процесс), так как при перемещении поршня одновременно увеличивается объем газов в цилиндре. На рис. 26, б (справа) выделена линия А—4, изображающая горение топлива при постоянном давлении. Рабочий цикл дизеля называется *циклом со смешанным сгоранием* (линия 3—А—4 на рис. 25), так как на линии 3—А имеет место *изохорическое* сгорание, а на

¹ Слово «изохорный» происходит от греческих слов *isos* — равный, одинаковый и *chora* — место, пространство; занимаемое чем-нибудь.

² Слово «изобарный» происходит от *isos* и греческого *baros*, что означает вес, тяжесть.

линии А—4 — *изобарическое*. Для большей наглядности отдельные участки индикаторной диаграммы четырехтактного дизеля без наддува представлены на рис. 27. Из всех процессов, с которыми мы познакомились, только во время одного процесса А—Б (см. рис. 25) совершается полезная работа. Остальные процессы являются вспомогательными, и на их выполнение затрачивается некоторая часть полезной работы, создаваемой в соседних цилиндрах.

Рассмотрим более подробно процесс, происходящий от точки 3 до точки 4. Как указывалось выше, в конце сжатия в цилиндр подается топливо, которое воспламеняется. Предположим, что сгорание внутри цилиндра дизеля происходит настолько быстро, что поршень почти не успевает переместиться (см. рис. 26, а), т. е. будем считать, что объем цилиндра, ограниченный поршнем, практически за это время не изменится. Это, как указывалось, означает, что процесс горения топлива осуществляется при постоянном объеме, т. е. работа по перемещению поршня не соверша-

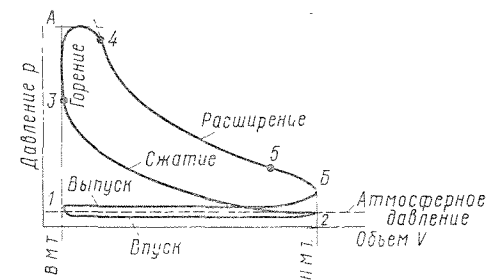


Рис. 25. Индикаторная диаграмма дизеля без наддува

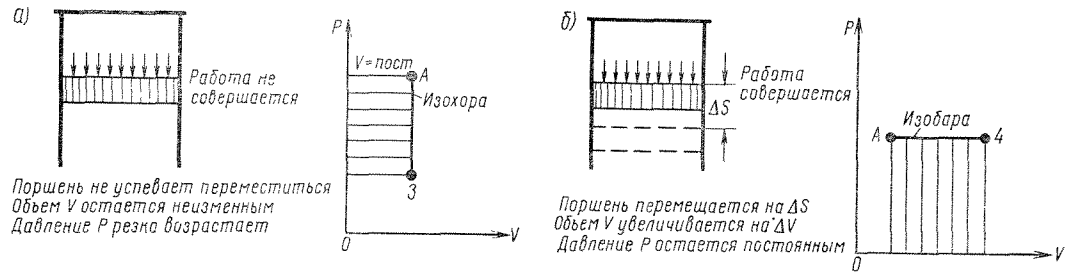


Рис. 26. Графическое изображение процессов горения в координатах p — V (давление — объем):
 а — сгорание смеси при постоянном объеме (изохорный процесс); б — сгорание смеси при постоянном давлении (изобарный процесс)

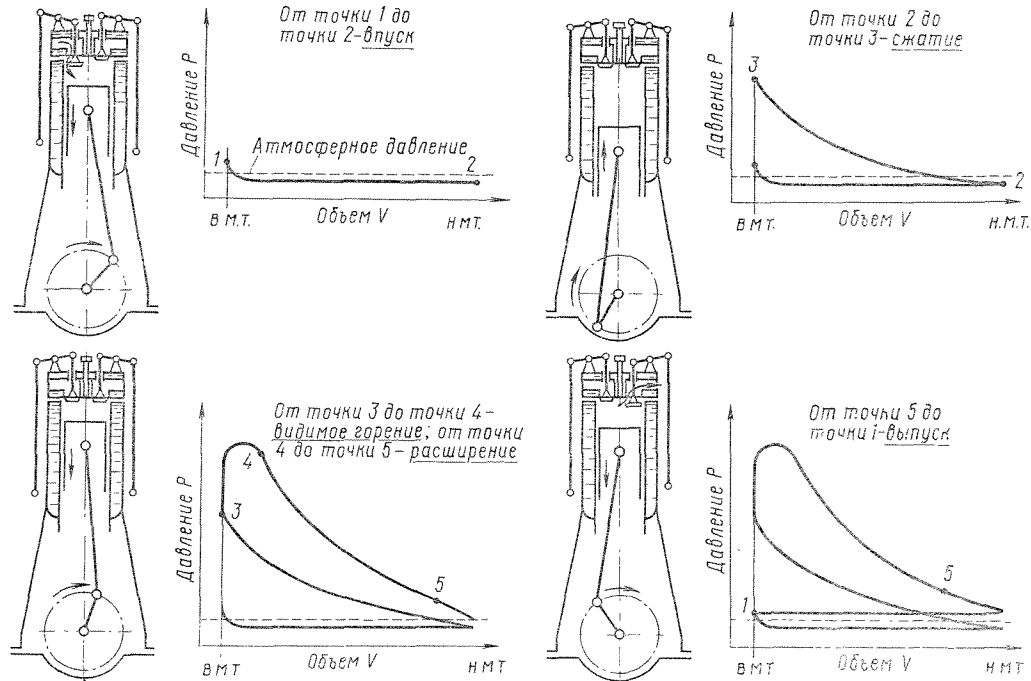


Рис. 27. Графическое изображение отдельных участков индикаторной диаграммы для дизеля без наддува и соответствующие положения поршня в цилиндре

ется (работа равна нулю). На что же в таком случае идет тепло, выделяющееся при сгорании? Оно идет на нагревание рабочего тела. А с повышением температуры рабочего тела возрастает давление в цилиндре, объем которого в данном случае не меняется. В действительной индикаторной диаграмме изохорный и изобарный процессы четко не разграничены, а наоборот, первый постепенно переходит во второй, т. е. процесс сгорания происходит сложнее. Свернутая индикаторная диаграмма двухтактного дизеля показана на рис. 28. Легко видеть, что в отличие от четырехтактного дизеля, здесь отсутствуют такты впуска воздуха и выпуска.

По мере развития тепловых двигателей и увеличения их быстроходности совершенствовались и индикаторные приборы. Простые по устройству механические индикаторы уступили место более сложным, которые позволяют не только получать индикаторные диаграммы отдельных процессов и судить о правильности их протекания, но даже наблюдать эти процессы непосредственно на экране (визуальные наблюдения).

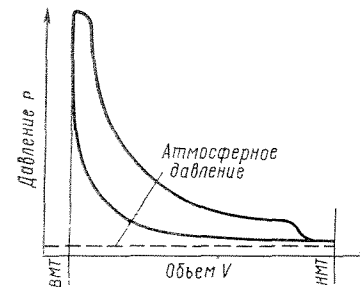


Рис. 28. Индикаторная диаграмма двухтактного дизеля

СРЕДНЕЕ ИНДИКАТОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

Во время перемещения поршня давление газов в цилиндре изменяется. Сила давления газов на поршень в связи с этим также является величиной переменной. Работа, как мы знаем, равна произведению силы на путь (перемещение). Таким образом, работа газов за рабочий цикл может быть подсчитана как сумма произведений давления в цилиндре на каждом маленьком участке (где это давление можно принять постоянным) на перемещение поршня на этом участке. Эта сумма соответствует площади индикаторной диаграммы. Таким образом, площадь диаграммы, очерченная линией 3—4—5—3 (см. рис. 25), выражает полезную работу газов, которую они совершают в цилиндре за один рабочий цикл. Однако оценивать работу цикла по площади индикаторной диаграммы во многих случаях неудобно. Поэтому введено понятие *среднего индикаторного давления*. Условно приняли, что величина этого давления не изменяется, т. е. является постоянной (рис. 29) в течение хода

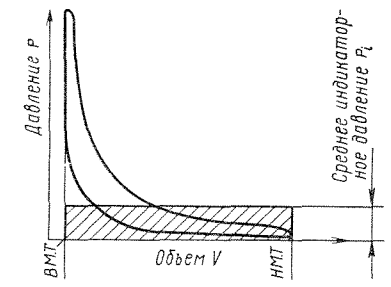


Рис. 29. Определение среднего индикаторного давления

поршня. Тогда графически среднее индикаторное давление представляет собой высоту заштрихованного прямоугольника, площадь которого равна площади индикаторной диаграммы, а основание равно длине диаграммы.

Средним индикаторным давлением называют условное, постоянное по величине давление, при котором работа за один цикл равна работе газов в цилиндре. В тепловозных дизелях среднее индикаторное давление p_i находится в пределах 0,58—1,76 МПа (6—18 кгс/см²). Прежде чем перейти к подсчету работы и мощности дизеля, выясним, что такое энергия.

ПОНЯТИЕ ОБ ЭНЕРГИИ

Слово энергия происходит от греческого слова *energia*, что значит действие, *деятельность*. Различают энергию кинетическую и потенциальную. Кинетической энергией обладает любое движущееся тело: поезд, вода, ветер, пуля. Потенциальной, или скрытой, энергией обладает тело, находящееся на высоте. Поднимем, например, боек молота на некоторую высоту и будем удерживать его в этом положении посторонней силой. На поднятие бойка нам пришлось затратить работу, которую нетрудно подсчитать, если его массу умножить на высоту подъема. Пока боек поднят, он обладает запасом потенциальной энергии, накопленной по мере того, как его поднимали. Если теперь отпустить боек, то во время падения потенциальная энергия переходит в кинетическую (энергию движения). Исчезнуть энергия не может: она

только переходит из одного вида в другой. Это утверждение основано на известном законе сохранения энергии. На первый взгляд кажется, что когда, например, катящийся с горки вагон останавливается, то запас его кинетической энергии куда-то «исчезает». На самом деле кинетическая энергия переходит в тепловую при трении деталей тормозных устройств. Мы не замечаем этого потому, что нагревание окружающей среды незначительно. Зато мы можем увидеть покраснение тормозных колодок при резком торможении поезда.

Каждый вид энергии может переходить в другой, причем определенное количество «исчезнувшей» энергии одного вида даст эквивалентное (равноценное) ему количество энергии другого вида. Иными словами, каждая единица теплоты может дать строго определенное количество работы, и, наоборот, каждая единица работы может дать определенное количество теплоты.

При работе двигателя внутреннего сгорания каждый килограмм жидкого топлива при сгорании выделяет определенное количество теплоты. Тепловой эффект любого вида топлива, в частности дизельного, характеризуется теплотой сгорания, т. е. тем количеством теплоты, которое выделяется при полном сгорании 1 кг данного топлива.

Чем же измеряется теплота сгорания топлива? Количество теплоты измеряют в джоулях подобно тому, как сила измеряется в ньютонах, а длина — в метрах. Установлено, что 1 кг дизельного топлива при полном сгорании способен выделить тепла до

42 500 кДж (10 151 ккал). Сходство между теплотой и работой в том, что они подобны. Это вытекает из одного из основных законов термодинамики — науке о превращении теплоты и работы друг в друга.

ПОДСЧЕТ РАБОТЫ И МОЩНОСТИ ДИЗЕЛЯ

Работа поршня определяется произведением силы, действующей на поршень, на пройденный путь. Перемещения поршня ограничиваются его крайними положениями. Как упоминалось выше, ход поршня и диаметр цилиндра — величины, весьма важные для дизеля. Если площадь поршня умножить на среднее индикаторное давление, то получим среднюю силу, приложенную к поршню. Если теперь эту силу умножить на расстояние, проходимое поршнем от верхней до нижней мертвой точки, то найдем работу, которую совершают газы, действующие на поршень, за один ход в одном цилиндре.

Поясним это примером. Пусть среднее индикаторное давление равно 0,98 МПа (10 кгс/см²), а площадь поршня 0,08 м² (800 см²). Тогда сила, действующая на поршень такого дизеля, составит $0,98 \times 0,08 = 78,4$ кН = 78 400 Н (или $800 \times 10 = 8000$ кгс).

Пусть ход поршня равен 330 мм, или 0,33 м (дизели типа Д50). Работа, которую произведет газ при движении поршня из верхней мертвой точки к нижней, будет равна произведению силы на величину перемещения, т. е. на ход поршня: $78\,400 \times 0,33 = 25\,872$ Н·м (или $8000 \times 0,33 = 2640$ кгс·м).

Мы подсчитали работу, которую совершает газ в одном цилиндре за один рабочий ход поршня. В четырехтактном дизеле рабочий ход происходит в течение двух полных оборотов коленчатого вала. Значит, за один оборот вала в среднем совершается работа в два раза меньше, т. е. $25\,872 : 2 = 12\,936$ Н·м, или $2640 : 2 = 1320$ кгс·м.

Теперь подсчитаем мощность дизеля. Предположим, что коленчатый вал делает в минуту 750 оборотов, или $750 \times 60 = 45\,000$ об/ч.

Так как работа газа за один оборот вала составляет в нашем случае 12 936 Н·м, то, следовательно, за 1 ч она будет равна $12\,936 \times 45\,000 = 582\,120\,000$ Н·м (т. е. $582\,120\,000$ Дж, так как $1 \text{ Н} \cdot \text{м} \equiv 1 \text{ Дж}$), или $1320 \times 45\,000 = 59\,400\,000$ кгс·м.

Мощностью называется работа, выполненная в единицу времени (в секунду). Если за 1 с будет совершена работа в 736 Н·м (75 кгс·м), то эту мощность условно называют *одной лошадиной силой* (0,736 кВт, или $736 \text{ Вт} = 75 \text{ кгс} \cdot \text{м}/\text{с}$). Значит, работа, выполненная при мощности 736 Вт (1 л. с.) за 1 ч, будет равна $736 \times 3600 = 2\,649\,600$ Н·м (\equiv Дж), или $75 \times 3600 = 270\,000$ кгс·м.

Следовательно, индикаторная мощность в *киловаттах* одноцилиндрового двигателя определится, если работу в джоулях за 1 ч разделить на 3600 с: $582\,120\,000 : 3600 = 162$ кВт, а в *лошадиных силах*, если величину часовой работы 59 400 000 кгс·м разделить на 270 000, т. е. $59\,400\,000 : 270\,000 = 220$ л. с.

Однако полезная, или эффективная, мощность, измеряемая (реализуемая) на коленчатом валу, будет

меньше индикаторной, так как часть мощности расходуется на преодоление сопротивлений в трущихся частях шатунно-кривошипного механизма и на привод вспомогательных механизмов (насосы, воздуходувка и др.).

Величина этих потерь зависит от величины зазоров, качества обработки деталей, температуры и вязкости масла и в среднем для номинального режима работы может быть принята равной около 20%. Тогда для нашего случая эффективная мощность для одного цилиндра равна $162 \times 0,8 = 130$ кВт, или $220 \times 0,8 = 176$ л. с., а для шести цилиндров дизеля в 6 раз больше, т. е. 780 кВт, или 1056 л. с. Мощность современных тепловозных дизелей достигает 2210, 4400 кВт (3000, 6000 л. с.) в одном агрегате.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ДИЗЕЛЯ

Непрерывное увеличение мощности тепловозных дизелей — одно из важнейших направлений развития тепловозостроения как в нашей стране, так и за рубежом. Однако решение этой задачи значительно осложняется тем, что тепловоз является транспортной машиной, размеры которой ограничены габаритом подвижного состава, а вес — нагрузками на рельсы. Увеличение размеров цилиндра или их числа повышает вес дизеля. Поэтому осуществлять дальнейший рост мощности тепловозных дизелей только за счет этого нельзя. Практика показывает, что для V-образных дизелей число цилиндров должно быть не более 20.

Как же увеличить мощность дизеля при тех же габаритных ограничениях?

Одним из путей является применение двухтактного дизеля, у которого рабочий цикл, как указывалось выше, осуществляется за один оборот коленчатого вала. Иными словами, в двухтактном двигателе при тех же размерах и той же быстроходности совершается в единицу времени в два раза больше рабочих циклов, чем в четырехтактном. Казалось бы, что при одинаковом рабочем объеме и той же частоте вращения вала мощность двухтактного дизеля должна быть в 2 раза больше мощности четырехтактного дизеля. Однако практически она возрастает только в 1,5—1,7 раза, так как часть мощности приходится расходовать на привод нагнетателя воздуха, необходимого для пуска и продувки цилиндров; кроме того, часть хода поршня, при котором совершается расширение газа, приходится на период, когда открываются выпускные окна (клапаны) и газы в это время почти не совершают полезной работы.

Другой путь повышения мощности — увеличение частоты вращения вала дизеля. Чем быстрее будет вращаться коленчатый вал, тем большее число рабочих циклов в единицу времени будет выполнено и тем большая работа будет произведена в единицу времени. Однако возможность увеличения частоты вращения вала дизеля ограничивается прочностью отдельных деталей его и интенсивностью их износа, который возрастает с ростом скорости движения деталей. Скорость же деталей шатунно-кривошипного

механизма зависит не только от частоты вращения вала, но и от величины хода поршня, поэтому принято при определении быстроходности двигателя исходить из средней скорости поршня, которая у современных дизелей достигает 10—12 м/с.

Третий путь предусматривает повышение мощности дизеля увеличением работы, выполняемой в цилиндрах двигателя в течение каждого рабочего цикла. А чтобы увеличить эту работу, надо сжечь в цилиндрах больше топлива. Но для этого потребуется больше воздуха, которое может уместиться в цилиндре, возрастает с увеличением давления и понижением температуры воздуха. Повысить давление воздуха перед поступлением в цилиндры двигателя внутреннего сгорания можно с помощью наддува.

ЧТО ТАКОЕ НАДДУВ И КАК ОН ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ?

Питание цилиндров дизелей воздухом можно производить непосредственно из атмосферы или через специальный компрессор, который создает давление выше атмосферного. Сжатый воздух занимает меньший объем, чем несжатый, поэтому в одном и том же цилиндре (объеме), помещается больше (по весу) воздуха, а значит, можно больше сжечь топлива, обеспечив хорошие условия сгорания его, т. е. получить больше тепла, а следовательно, и большую мощность. В результате такой дополнительной подачи сжатого воздуха и топлива мощность дизеля увеличивается: например, мощ-

ность дизеля ПД1 возрастает в 1,82 раза с 486 до 882 кВт (с 660 до 1200 л. с.), хотя его габаритные размеры остаются неизменными. Есть конструкции, в которых мощность дизеля повышена более чем в 2 раза.

Подачу в цилиндры дизеля предельно сжатого воздуха, давление которого выше атмосферного [в тепловозных дизелях на 0,039—0,196 МПа (0,4—2,0 кгс/см²)], условно называют *наддувом*. Как же устроены и работают нагнетатели воздуха? В тепловозных дизелях для этой цели используются *воздуходувки с механическим и газовым приводом* (турбокомпрессоры), осуществляющие сжатие воздуха с 0,098 до 0,294 МПа (с 1 до 3 кгс/см²), после чего он подается в цилиндры. Создание тепловозных дизелей с таким высоким наддувом — характерная черта и одна из важнейших особенностей современного дизелестроения. Поэтому рассмотрим процесс наддува подробнее.

Начнем со схемы устройства простейшей воздуходувки с механическим приводом, изображенной на рис. 30. Внутри корпуса расположены два рабочих колеса — ротора (слово «ротор» происходит от латинского *rotato* — вращаюсь). Каждый ротор имеет две (рис. 30, а) или три (рис. 30, б) лопасти специальной формы.

Познакомимся с принципом работы воздуходувки на примере двухроторной трехлопастной воздуходувки двухтактного дизеля 2Д100. Корпус воздуходувки сообщается с атмосферным воздухом (очищаемым в особых фильтрах, см. с. 161) через впускной патрубок «Впуск воздуха» (рис. 31, а). Пока роторы неподвижны, ни-

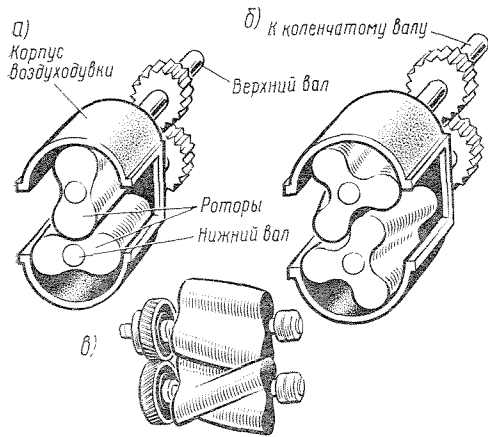


Рис. 30. Схемы устройства двухроторных воздуходувок:
 а — с двумя лопастями; б — с тремя лопастями;
 в — общий вид роторов с тремя лопастями

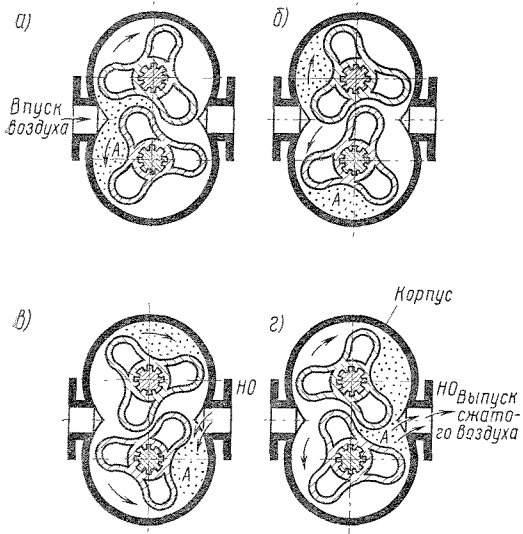


Рис. 31. Схемы работы двухроторной трехлопастной воздуходувки

какого перемещения воздуха в нагнетателе нет. Что же происходит с порцией (объемом) воздуха в полости А между впадинами роторов и корпусом воздуходувки? Как только роторы придут во вращение (в противоположные стороны), порция воздуха (определенное количество его) перемещается ими по направлению стрелок (рис. 31, б).

Вращаясь дальше вместе с роторами, объем воздуха переносится между лопастями и стенками корпуса по направлению к нагнетательному окну *НО* (рис. 31, в). При таком перемещении воздух не сжимается. Это происходит до тех пор, пока объем воздуха, транспортируемый ротором, не получит выход в нагнетательное окно *НО*. В момент соединения полости А ротора с окном *НО* картина резко меняется: ведь нагнетательное окно, сообщаемое с цилиндрами дизеля, заполнено сжатым ранее воздухом. Давление этого воздуха больше давления атмосферного воздуха, находящегося в воздуходувке. А поэтому в какой-то момент почти мгновенно давление в нагнетательном окне и корпусе воздуходувки выравнивается, и ротор, продолжая свое вращение, перемещает, вернее, теперь уже вытесняет воздух из полости А (рис. 31, г) в нагнетательное окно *НО*, дополнительно сжимая его. Когда поршни в цилиндрах открывают продувочные окна, сжатый воздух устремляется в цилиндры, выталкивает отработавшие газы, т. е. производит *продувку* и *зарядку* цилиндров (*наддув*) свежим воздухом. При быстром вращении роторов воздух непрерыв-

но перемещается от всасывающего к нагнетательному окну, находясь между лопастями роторов. За один оборот вала оба ротора подают шесть порций (объемов) воздуха. Делая 1700 об/мин, роторы воздуходувки дизеля 2Д100 за одну минуту могут подать около 185 м³ воздуха, или 11 100 м³/ч. Чтобы уменьшить пульсацию воздуха, т. е. неравномерность нагнетания его, лопастям роторов придают специальную винтовую форму (см. рис. 31, в). Это способствует также уменьшению шума, возникающего при работе таких нагнетателей.

Валы роторов устанавливают строго параллельно, а пара зубчатых колес воздуходувки гарантирует синхронизацию вращения и неизменное положение роторов относительно друг друга; изготавливают их по высокому классу точности. Чтобы предохранить поверхности роторов, сделанных из алюминиевого сплава, от износа, между ними и рабочими поверхностями корпуса предусмотрены небольшие радиальные зазоры (от 0,5 до 1,3 мм). С этой же целью роторы установлены так, что их лопасти не касаются друг друга при работе. Здесь конструкторы несколько проигрывают на производительности воздуходувки из-за утечек воздуха через зазоры (особенно при пониженной частоте вращения вала), но зато предотвращают износ и задир алюминиевых роторов, что, конечно, очень важно.

Итак, чтобы описанная воздуходувка работала, необходимо заставить вращаться роторы. Как решить эту задачу? Можно, конечно, применить специальный двигатель внутреннего

сгорания или электродвигатель. Но это будет очень громоздко. На дизеле 2Д100 воздуходувка приводится в действие от коленчатого вала (рис. 32, а) с помощью зубчатых колес, установленных на верхнем коленчатом вале и на валах нижнего и верхнего роторов (на рисунке не показаны). Возхоудувка имеет, как говорят, *механический привод*.

Роторная (или объемная) воздуходувка с механическим приводом обладает одним очень важным свойством: даже при загрязнении окон цилиндров в процессе эксплуатации объем воздуха, находящегося между лопастями роторов воздуходувки, будет все-таки подан (вытеснен) в цилиндры. Правда, это произойдет при повышенном противодавлении. Всем хороша воздуходувка с механическим приводом, но есть у нее существенный недостаток: такой привод отнимает у дизеля 2Д100 значительную часть его мощности — более 147 кВт, или 200 л. с.

Нельзя ли создать нагнетатель, который бы не имел привода от коленчатого вала дизеля? Этот вопрос с давних пор занимал конструкторов.

Газ после расширения в цилиндрах обладает еще значительным запасом энергии. Нередко энергия, которую несут с собой выпускные газы, достигает 30—35% всей энергии (всего тепла), полученной в двигателе в результате сгорания топлива. Нельзя ли использовать эту драгоценную энергию если не полностью, то хотя бы частично? Тогда значительно повысится экономичность двигателя. Если можно, то как? Очевидно, для этого надо заставить газы более полно расширяться.

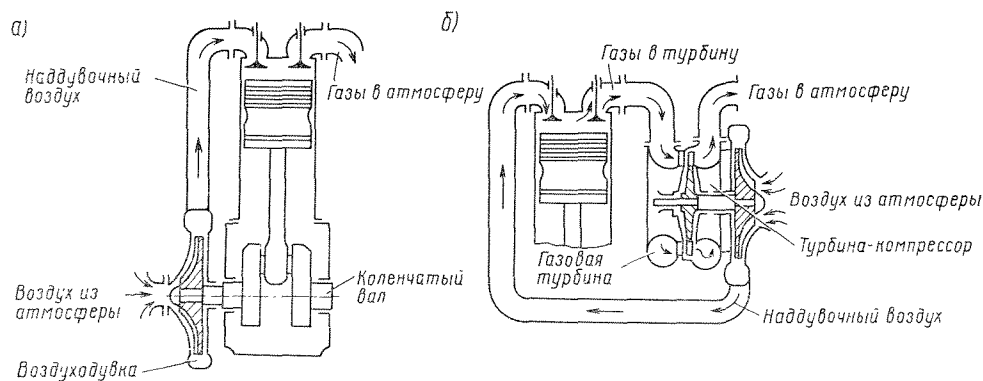


Рис. 32. Схемы привода нагнетателей при наддуве дизелей:
а — приводная (механическая) воздуходувка; б — газотурбинный компрессор

В газовой турбине в отличие от двигателя внутреннего сгорания газы имеют возможность осуществить дальнейшее расширение. Вот почему в современных дизелях газ, совершивший работу в цилиндрах, выбрасывается не в атмосферу, а направляется в газовую турбину (рис. 32, б).

В газовой турбине для расширения газов предусмотрена установка соплового аппарата и рабочих лопаток. Хотя на выпуске и создается некоторое дополнительное сопротивление, но зато оказывается возможным расширить газы и использовать их энергию. Иными словами, газы, отработавшие в цилиндре, и турбина выполняют здесь такую же роль, как и коленчатый вал дизеля для привода описанной выше роторной воздуходувки. Но так как для привода газовой турбины используется энергия отработавших газов, то применение так называемого газотурбинного привода вместо механического оказывается значительно выгоднее. Итак, при

работе дизеля отработавшие газы после выхода из цилиндров поступают в сопловой аппарат турбины. Здесь газы с избыточным давлением на выпуске расширяются, приобретают значительную скорость и направляются на рабочие лопатки, укрепленные на колесе турбины. На рабочих лопатках, которым придана особая форма, происходит поворот и дальнейшее расширение газового потока. При этом снижается его температура. В результате возникает вращающий момент на валу газовой турбины: часть тепловой энергии газа преобразуется в механическую энергию. Отработавшие в турбине газы выпускаются в атмосферу.

На одной оси с турбиной укреплено колесо центробежного компрессора. Турбина вращает рабочее колесо этого компрессора, который засасывает воздух из атмосферы и сжимает его. Из компрессора сжатый воздух направляется в цилиндры дизеля.

Чтобы турбина и компрессор занимали меньше места, меньше весили и изготовленные их было дешевле, их компонуют в один общий одновальный агрегат, называемый обычно турбокомпрессором. На современных тепловозных дизелях воздух, сжатый в турбокомпрессоре, поступает в цилиндры не сразу, а сначала охлаждается в специальном теплообменнике (см. с. 142).

Как же устроен и работает современный турбокомпрессор? Представление об этом мы уже получили.

Рассмотрим устройство турбокомпрессора ТК-34С (среднего давления) на примере дизеля 10Д100 (рис. 33). Отработавшие в дизеле газы по кольцевому впускному патрубку (см. нижнюю часть рисунка) подводятся к сопловому аппарату, в котором повышенное по сравнению со свободным выпуском давление газа преобразуется в скорость, т. е. потенциальная энергия давления преобразуется в кинетическую энергию движения газов. Неподвижные лопатки этого аппарата расположены по окружности перед рабочими лопатками турбины-

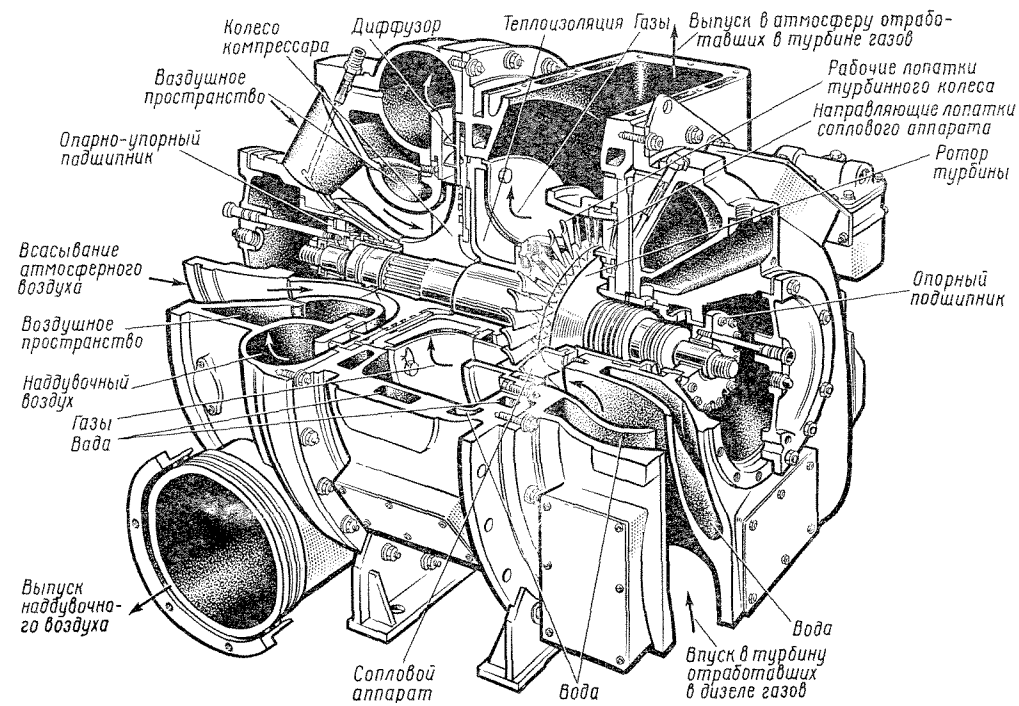


Рис. 33. Турбокомпрессор ТК-34С дизеля 10Д100 в разрезе

го колеса. Из соплового аппарата газы, имея необходимое направление, с большой скоростью поступают на рабочие лопатки колеса турбины: кинетическая энергия движения газов преобразуется в энергию вращения колеса турбины. Одновременно часть тепловой энергии выпускных газов за счет их расширения в турбинном колесе дополнительно используется для вращения ротора турбины. Газы, отработавшие в турбине, отводятся в атмосферу по выпускному патрубку. А так как на другом конце ротора турбины закреплено колесо компрессора, то, вращая турбинное колесо (с

частотой до 18000 об/мин), газы заодно с ним заставляют вращаться с той же частотой и рабочее колесо компрессора. При этом на дизеле 10Д100 это колесо всасывает (через фильтр компрессора) атмосферный воздух и нагнетает его через лопаточный диффузор (расширяющийся канал) в охладитель воздуха, а оттуда во всасывающую полость приводного центробежного компрессора.

Вал ротора опирается на два подшипника скольжения, один из которых является опорно-упорным. В деталях корпуса турбины сделаны каналы, по которым подводится к под-

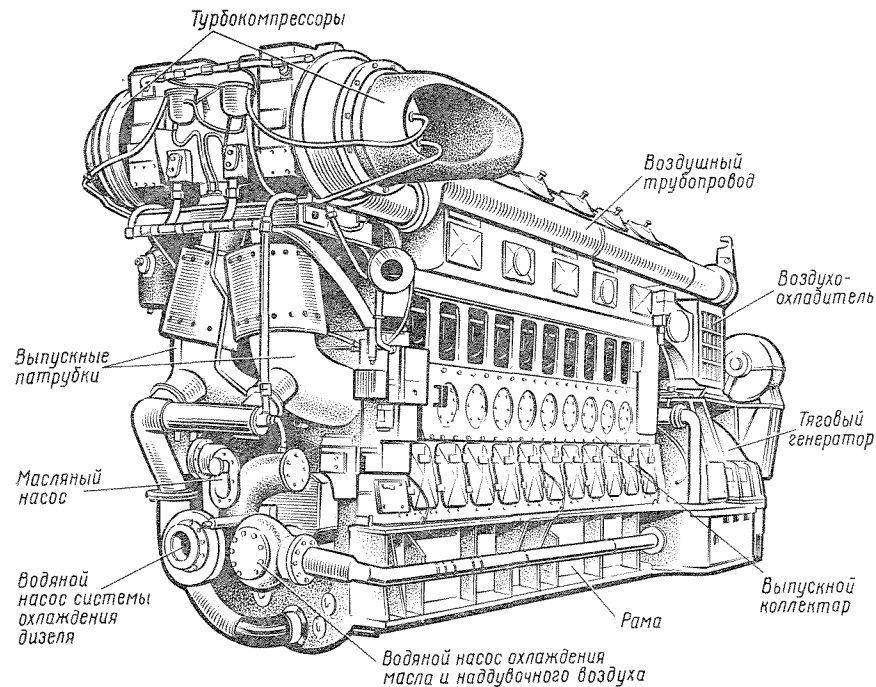


Рис. 34. Внешний вид дизель-генератора 10Д100 с газотурбинным наддувом

шипникам масло из масляной системы дизеля. Благодаря лабиринтным уплотнениям газовые и воздушные полости турбоагнетателя надежно отделены друг от друга, что исключает возможность проникновения газов из одной полости в другую, а также предотвращает выход газов наружу.

Турбокомпрессор охлаждается водой из системы охлаждения дизеля. На двухтактных дизелях 10Д100 (рис. 34) таких турбокомпрессоров два — левый и правый.

Принципиальная схема наддува, осуществленная на тепловозных дизелях 11Д45 и 10Д100, приведена на рис. 35. Из схемы видно, что воздух, сжатый в турбокомпрессоре (I ступень сжатия), направляется в центробежный нагнетатель с механическим приводом (на дизеле 10Д100 с приводом от верхнего коленчатого вала), который как бы дожимает наддувочный воздух (II ступень сжатия), после этого воздух подается в цилиндры дизеля. Получается, как принято называть, *двухступенчатая* (комбинированная) система наддува. Спрашивается, зачем понадобилось усложнять конструкцию устройств турбонаддува и устанавливать еще один нагнетатель (II ступень)?

Дело в том, что у двухтактных дизелей (см. с. 41) очистка цилиндров от продуктов сгорания производится сжатым воздухом. Поэтому в двухтактном двигателе в отличие от четырехтактного обязательным условием для организации рабочего процесса (прежде всего для пуска дизеля) является установка приводного центробежного компрессора. Кроме того, при пуске дизеля и при малых нагруз-

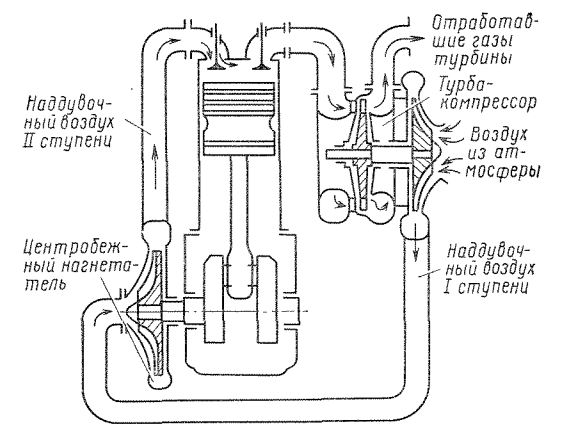


Рис. 35. Схема двухступенчатого комбинированного наддува

ках, когда энергии отработавших газов недостаточно для наддува дизеля только от турбокомпрессора, подача воздуха в цилиндры осуществляется главным образом приводным центробежным компрессором. Вот почему на дизелях 11Д45, 10Д100 пришлось установить еще один компрессор, приводимый в движение от коленчатого вала.

Охлаждение воздуха при высоком наддуве до поступления его в цилиндры позволяет увеличить плотность воздуха и понизить температуру газа в цилиндре, тем самым снизить тепловую и механическую напряженность деталей цилиндро-поршневой группы дизеля. Поэтому охлаждение наддувочного воздуха находит все более широкое применение в современных тепловозных дизелях. О том, как оно осуществляется, мы узнаем позже в гл. 9.

Чтобы ясно представить себе схему работы I и II ступени при комбинированном наддуве, посмотрите на

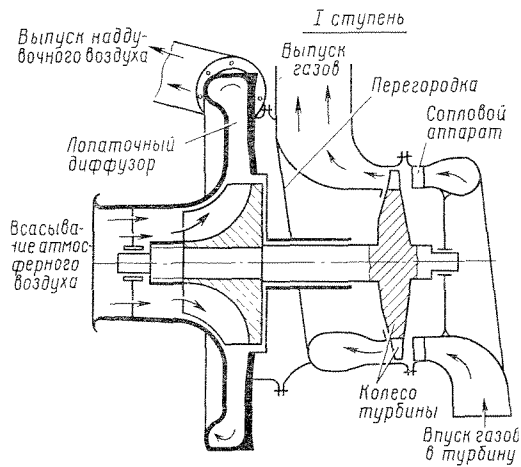


Рис. 36. Схема турбокомпрессора дизеля 10Д100

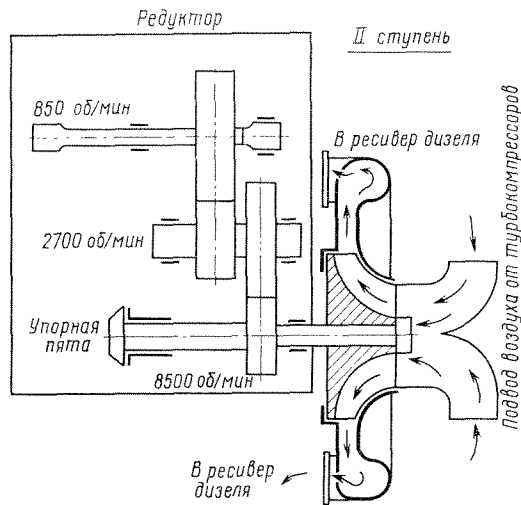


Рис. 37. Схема приводного центробежного компрессора дизеля 10Д100

рис. 36 и 37, которые теперь не требуют дополнительных разъяснений. Подчеркнем только еще раз, что турбокомпрессор I ступени состоит из двух надежно изолированных между собой полостей, одна из которых предназначена для газов, а другая — для воздуха. Полости разделены перегородкой (см. рис. 36). Рис. 37 иллюстрирует схему приводного центробежного компрессора II ступени. Из рисунка видно, что центробежный компрессор приводится в действие через редуктор (от верхнего коленчатого вала). Здесь так же, как и в турбокомпрессоре, камера сжатого воздуха тщательно изолирована от камеры, где размещен редуктор. Редуктор позволяет увеличить частоту вращения рабочего колеса центробежного компрессора с 850 до 8500 об/мин.

Применение газотурбинного наддува и охлаждения воздуха является генеральным направлением повышения мощности современных тепловозных дизелей при тех же габаритах. Огромное значение наддува можно оценить на таком сопоставлении. Дизель 10Д100 имеет столько же цилиндров и тех же размеров, сколько дизель 2Д100. Однако мощность его в 1,5 раза (!) больше — 2210 кВт вместо 1470 кВт, или 3000 вместо 2000 л. с. Этого удалось добиться за счет повышения давления наддува с 0,127 до 0,215 МПа (с 1,3 до 2,2 кгс/см²), большей (за цикл) подачи топлива в дизель и охлаждения воздуха перед поступлением в цилиндры.

Увеличение мощности тепловозов в секции особенно необходимо для дальнейшего роста пропускной и провозной способности железных дорог.

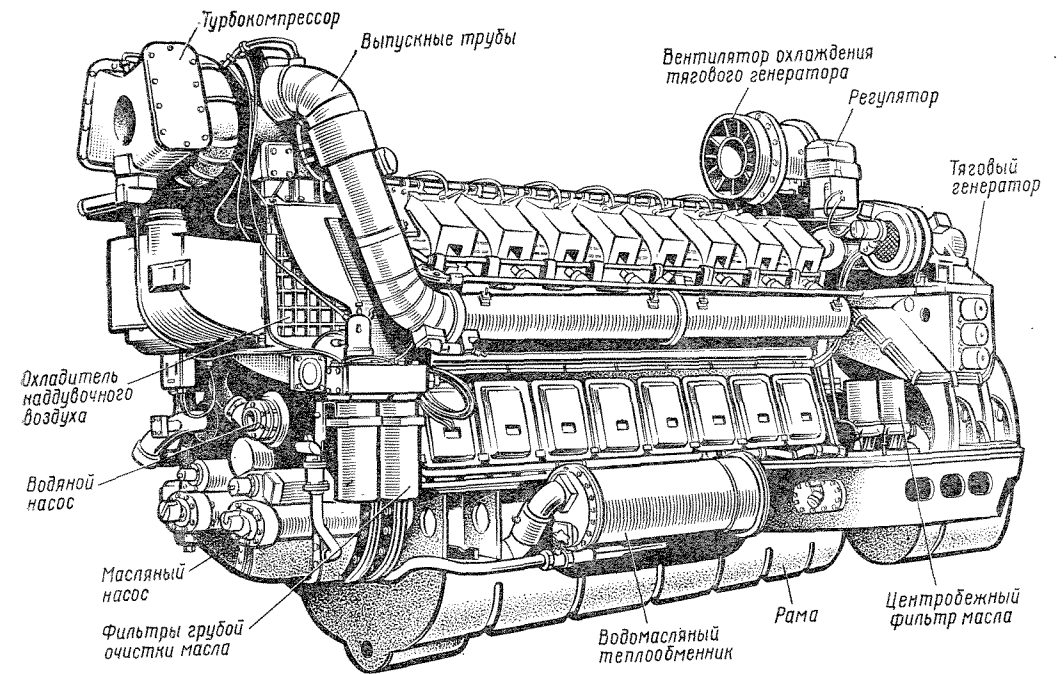


Рис. 38. Внешний вид дизель-генератора типа Д49 с газотурбинным наддувом

Коломенский тепловозостроительный завод создал четырехтактные дизели с диаметром цилиндра 260 мм и ходом поршня тоже 260 мм типа Д49 (рис. 38) мощностью 2940 кВт (4000 л. с.) в шестнадцати цилиндрах, установленные на тепловозах ТЭП70 и ТЭ121, и мощностью 4400 кВт (6000 л. с.) в двадцати цилиндрах для тепловоза ТЭП75.

ЧТО ДАЕТ ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВА?

Для работы двигателя внутреннего сгорания необходимо топливо. Топливо — богатство страны. Добыча

топлива, в частности нефти, его переработка, перевозка и хранение требуют больших затрат труда. Почти половина расходов, связанных с содержанием и эксплуатацией тепловозов, приходится на топливо. А ведь дизельными локомотивами выполняется около половины всех перевозок, осуществляемых на стальных магистралях нашей страны.

Чтобы обеспечить работу тысяч тепловозных дизелей, железнодорожный транспорт потребляет дизельного топлива около 18% от общего производства его в стране. Поэтому даже самая небольшая экономия дизельного топлива в масштабе всей железно-

рожной сети приобретает государственное значение. Покажем это на таком примере.

Возьмем одну тысячу двухсекционных тепловозов ТЭЗ мощностью 2940 кВт (4000 л. с.) и подсчитаем, сколько потребуется топлива, чтобы эти локомотивы могли работать в течение только 1 ч.

Мощность дизелей всех тепловозов составит

$$1000 \times 2940 = 2\,940\,000 \text{ кВт,}$$

или

$$1000 \times 4000 = 4\,000\,000 \text{ л. с.}$$

Дизель тепловоза ТЭЗ на каждый киловатт своей мощности в течение 1 ч расходует 231 г (или 170 г на каждую лошадиную силу) дизельного топлива, а 2 940 000 кВт (или 4 000 000 л. с.) потребуют 2 940 000 × 231 = 680 т.

Это за один час. Если считать, что тепловоз работает в полную нагрузку только половину суток, то за это время будет израсходовано (не учитывая работу дизеля на холостом ходу) дизельного топлива

$$680 \times 12 = 8160 \text{ т.}$$

Если экономить 1% топлива, то это составит за каждые сутки 81,6 т, а за год

$$81,6 \times 365 \approx 30\,000 \text{ т.}$$

Целое озеро дизельного топлива, для перевозки которого потребуется 10 — 12 тяжеловесных составов! Но это только 1000 тепловозов. А в масштабе всей сети железных дорог? Можно представить, сколько миллио-

нов рублей будет сэкономлено в год, если к тому же учесть и сокращение расходов, связанных с добычей и транспортированием топлива.

Вот почему придается большое значение вопросам экономии топлива как при создании новых тепловозов, так и при их модернизации: идет напряженная борьба за каждый грамм удельного расхода дизельного топлива. В этой связи трудно переоценить значение новых четырехтактных дизелей. Например, дизели 5Д49 на режиме номинальной мощности расходуют на один киловатт-час 211 г дизельного топлива вместо 218 г, расходуемых двухтактными дизелями 10Д100, установленными на тепловозах 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В.

Для того чтобы оценить, насколько полно используется в дизеле теплота, полученная при сжигании топлива, пользуются понятием коэффициента полезного действия (к. п. д.).

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ДИЗЕЛЯ И БАЛАНС ЭНЕРГИИ В ДИЗЕЛЕ

Отношение теплоты, эквивалентной произведенной работе на коленчатом валу, ко всей подведенной теплоте за счет сгорания топлива называется *коэффициентом полезного действия* дизеля.

Коэффициент полезного действия современных тепловозных дизелей достигает 34 — 36%. К. п. д. самого тепловоза при этом ниже, так как, кроме потерь в самом дизеле, имеют место и потери в электрической передаче, которые складываются из по-

терь в тяговом генераторе, тяговых электродвигателях и в зубчатых колесах. Необходимо учитывать также затраты дизелем энергии на приведение в действие вспомогательных агрегатов тепловоза, например вентилятора холодильника, компрессора и др. Если принять к. п. д. электрической передачи равным 0,85, а коэффициент, учитывающий затраты энергии на собственные нужды, равным 0,9, то к. п. д. тепловоза (при к. п. д. дизеля 34—36%) будет составлять 26—28%. В любом современном дизеле есть потери теплоты, т. е. в соответствии с теорией преобразования теплоты в работу к. п. д. двигателя внутреннего сгорания всегда меньше 100%. Тепловозный дизель в этом отношении (по к. п. д.) является довольно совершенным двигателем. Как отмечалось выше (см. с. 20), его к. п. д. в несколько раз превосходит к. п. д. паросилового установки паровоза.

Необходимо, однако, отметить, что к. п. д. локомотивных тепловых двигателей, в том числе и дизелей, на номинальном режиме не может полностью характеризовать их экономичность в эксплуатации, так как на этом режиме тепловоз работает обычно не более 10% времени. Локомотивные двигатели эксплуатируются при переменных нагрузках, а длительное время (около 40 — 50% общего времени) на холостом ходу. В этих условиях расход топлива на единицу выполненной дизелем работы увеличивается. Объясняется это в основном ухудшением процесса смесеобразования и сгорания топлива в цилиндрах. Однако даже и в этом отношении, что очень важно, дизель по сравнению с

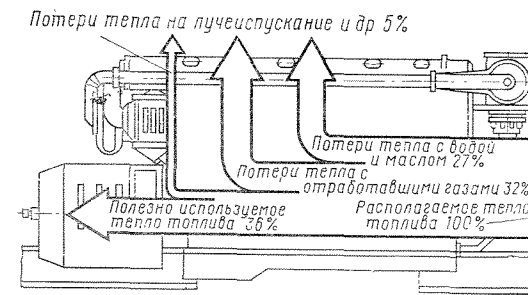


Рис. 39. Тепловой баланс дизеля

другими тепловыми двигателями отличается совершенством: расход топлива на холостом ходу относительно невелик (около 3% полного расхода).

Хотя к. п. д. дизеля выше к. п. д. паросилового установкой паровоза, но все же он до обидного мал. Посудите сами: только одна треть всей выделяемой в цилиндрах дизеля тепловой энергии превращается в полезную работу, а остальная часть просто пропадает даром. Чтобы понять, почему самый совершенный из тепловых поршневых двигателей — дизель является в то же время относительно далеко несовершенным и почему так трудно поднять к. п. д. дизеля, обогатимся некоторыми сведениями о балансе тепловой энергии (рис. 39), затрачиваемой в нем.

Из чего складываются потери тепла в дизеле?

Отработавшие газы, покидая силовую установку, уносят с собой около 30 — 32% тепла, внесенного с топливом. Другой, существенной потерей является отвод тепла в воду и масло. Детали дизеля от трения и соприкос-

новения с горячими газами нагреваются. Чтобы детали не перегрелись и не вышли из строя, их надо непрерывно охлаждать (см. гл. 9). Потери тепла за счет охлаждения деталей водой и маслом достигают 27—30%. Кроме того, топливо в цилиндрах сгорает не полностью, имеются потери топлива в окружающую среду и т. д.

Если сложить все потери, то окажется, что в рассматриваемом балансе дизеля бесполезно расходуется около 64% тепловой энергии дизельного топлива, а на полезную работу используется только 36%. Задача конструкторов и эксплуатационников — снижать потери энергии, но не в ущерб надежности дизелей.

Для дальнейшего повышения топливной экономичности тепловозных дизелей важно совершенствовать их рабочий процесс, особенно на частичных нагрузках.

Большое значение имеет создание агрегатов наддува с более высоким к. п. д., а также переход на неохлаждаемые выпускные коллекторы.

Своевременный и высококачественный ремонт топливной аппаратуры, тщательная очистка выпускных и продувочных окон в цилиндрических втулках, правильная регулировка дизелей после ремонта — все это позволяет значительно снизить расход топлива на тепловозах в эксплуатации.

БЛОК ДИЗЕЛЯ И ПОДДИЗЕЛЬНАЯ РАМА

Блок (рис. 40) — это как бы костяк дизеля. Он полностью воспринимает усилия от давления газов на поршни в цилиндрах и силы инерции деталей шатунно-кривошипного механизма, совершающих возвратно-поступательное (см. рис. 14) и вращательное движение.

К блоку крепят турбокомпрессоры, центробежный нагнетатель, воздухоохладители, топливный, водяной и масляный насосы, форсунки, регулятор частоты вращения и другие вспомогательные агрегаты, механизмы, трубопроводы.

Высокая степень нагруженности блока заставляет конструкторов делать его не только *прочным*, но и, что особенно важно, *жестким*. Если блок не будет жестким, он не сможет сопротивляться деформациям, которые могут быть вызваны действием сил и неравномерным нагревом отдельных частей дизеля. В результате может нарушиться работа коленчатого вала и других узлов.

Прочность блока обеспечивает целостность всей конструкции, а жесткость препятствует изменению формы, сохраняя прогибы (деформации)

в пределах определенных, допустимых, заранее установленных величин.

По своим размерам блок является самой крупной деталью дизеля. Например, длина блока дизеля типа Д100 около 4 м, ширина — 1,1 м, высота — 1,8 м. Масса блока около 5,5 т.

Чтобы обеспечить блоку дизеля достаточную прочность и жесткость при заданной массе, выбирают не только размеры и форму блока, но и материал. На некоторых дизелях блоки изготовлены из чугуна (например, на дизелях типа Д50), легких алюминиевых сплавов (на дизелях 1Д12, М756 и М753). Блоки дизелей 2Д100, 10Д100, 11Д45, 14Д40, Д49 (верхняя часть) и Д70 сварены из листовой стали, что позволяет более рационально использовать металл. Благодаря тому они обладают небольшой массой по сравнению с литыми чугунными блоками, а по массе, приходящейся на 1 кВт, приближаются к блокам из алюминиевых сплавов. В этом состоит одно из основных преимуществ блоков сварной конструкции.

Интересно отметить, что длина сварных швов, например блока дизеля 2Д100, достигает 600 м, т. е. в 150 раз больше длины блока, что, конечно, создает трудности в его изготовлении. Блок дизеля типа Д100

представляет собой коробчатую конструкцию из стальных вертикальных и горизонтальных листов с гнездами для цилиндрических втулок и опорами для подшипников верхнего и нижнего коленчатых валов. Листы-перегородки, придавая блоку жесткость, разделяют его по высоте на пять горизонтальных отсеков (см. рис. 40) и по длине на двенадцать вертикальных отсеков, где и размещаются все основные детали и узлы дизеля. Первый (верхний) горизонтальный отсек занимает верхний коленчатый вал; во втором — размещен воздушный ресивер, в который подается воз-

дух для продувки и зарядки цилиндров; в третьем — топливные насосы и форсунки; в четвертом — выпускные коллекторы и в пятом — нижний коленчатый вал. Второй, третий и четвертый отсеки изолированы друг от друга, а первый и пятый связаны между собой через отсек вертикальной передачи и отсек управления. К двенадцати вертикальным отсекам относятся (на рис. 40 справа налево) отсек вертикальной передачи, десять отсеков цилиндрических втулок и отсек управления.

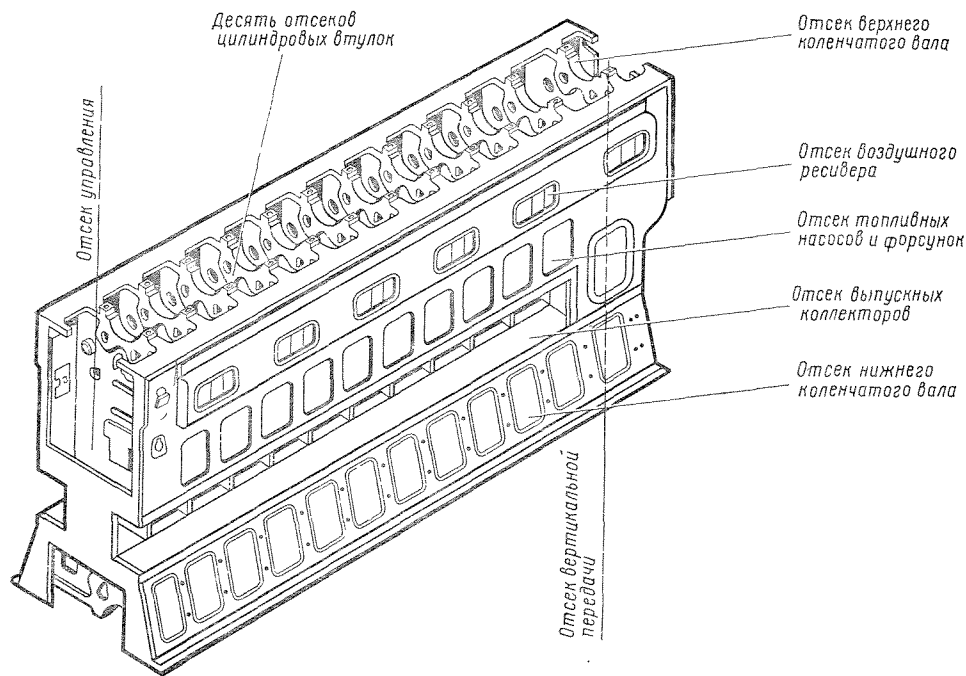


Рис. 40. Блок дизеля 2Д100

крываемые крышками. Сверху блок закрыт крышкой картера верхнего коленчатого вала, а снизу блок ставится на поддизельную раму, имеющую картер (корытообразный маслосборник), из которого масло поступает к масляному насосу дизеля. Поддизельная рама состоит из двух массивных продольных балок, соединенных между собой двумя поперечными балками. Для увеличения жесткости поддизельная рама снабжена дополнительными листами (ребрами жесткости). На верхних опорных листах поддизельной рамы имеются отверстия для крепления к ней блока ди-

зеля и станины тягового генератора. Поддизельная рама опирается на раму тепловоза.

Мы подробно рассмотрели устройство блока однорядных дизелей типа Д100. На рис. 41 представлен внешний вид блока V-образного тепловозного дизеля типа Д49. В развале между цилиндрами блока дизеля Д49 образован канал (воздушный ресивер), по которому в цилиндры подается наддувочный воздух. Ниже ресивера размещен центральный масляный канал. К верхней горизонтальной плите блока крепится лоток (на

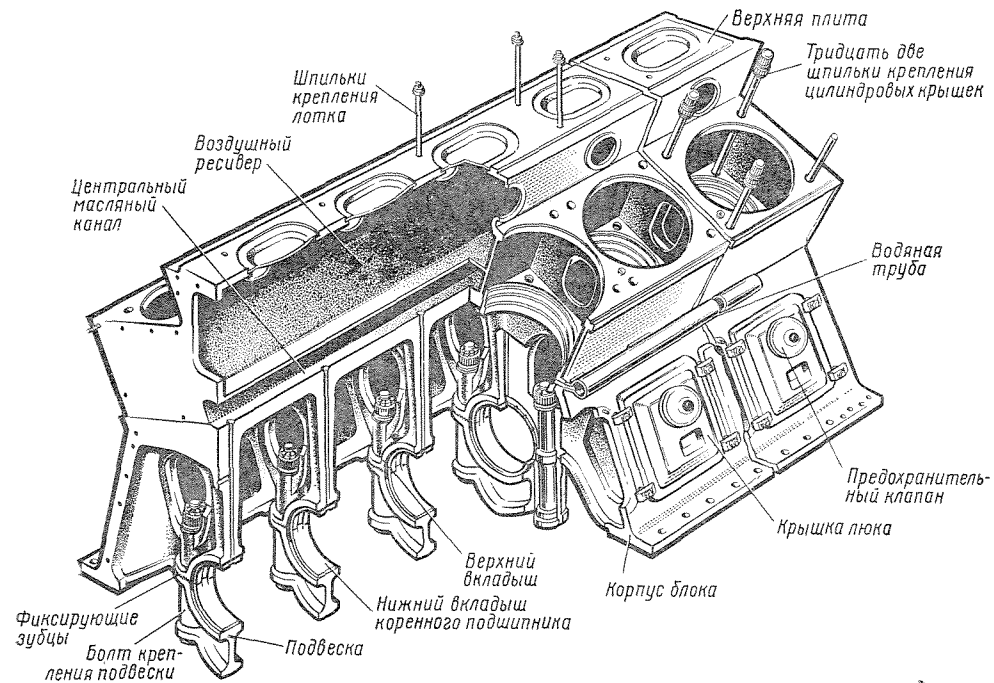


Рис. 41. Блок дизеля типа Д49

рисунке не показан), в котором установлены распределительный вал, топливные насосы и рычажный механизм привода впускных и выпускных клапанов. Почти такой же внешний вид имеют блоки V-образных двигателей внутреннего сгорания 11Д45 и Д70.

ЦИЛИНДРОВЫЕ ВТУЛКИ

Втулка цилиндра (рис. 42) представляет собой деталь цилиндрической формы. Внутренний диаметр цилиндра дизелей 10Д100 равен 207 мм, дизелей 11Д45—230 мм, Д70—25 мм

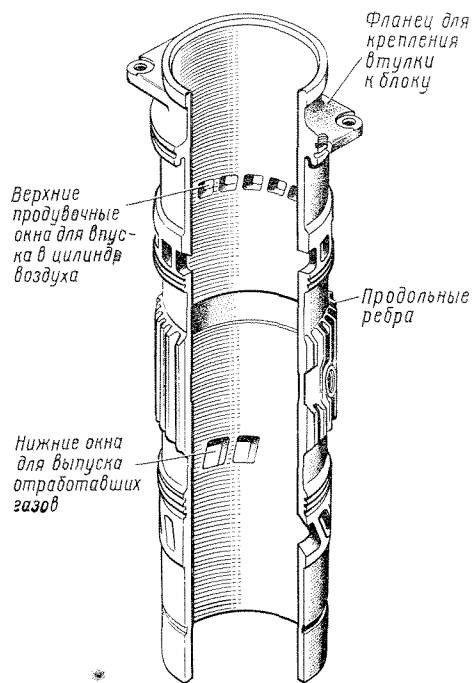


Рис. 42. Втулка цилиндра дизеля 10Д100

и Д49—260 мм, а у дизелей Д50 этот диаметр составляет 318 мм. Внутренняя поверхность цилиндрической втулки подвергается воздействию высоких температур и давлений газов. Необходимо, чтобы трение поршня о стенки втулки было наименьшим, а кольца поршня всегда прилегали к втулке, обеспечивая хорошую плотность. При этих условиях можно избежать интенсивного износа втулки, поршня и колец. Втулки цилиндров большей частью (дизеля Д100, 11Д45, Д49, Д50, Д70) отливают из чугуна, легированного, хромом, никелем и молибденом. На некоторых дизелях (1Д12 и М756) втулки изготавливаются из стальных труб.

Однако со временем поршень и его кольца при работе дизеля изнашивают поверхность втулки, снимая с нее тонкий слой металла, изнашиваясь в свою очередь и сами. Если бы втулка цилиндра была изготовлена за одно целое с блоком, то при износе ее стенок пришлось бы заменять весь блок, что было бы невыгодно. Поэтому в современных дизелях применяют цилиндрические втулки, которые вставляют в гнезда блока.

Качество внутренней поверхности цилиндрических втулок, в большой степени влияющее на плотность цилиндра, оценивается правильностью геометрической формы втулок и требуемой шероховатостью (чистотой) их поверхности. Какое значение имеют эти требования, можно представить себе, если иметь в виду, что даже тонкое шлифование, оставляющее шероховатость, измеряемую высотой неровностей 0,12—0,2 мкм (1 микронметр — 1/1 000 000 м), не обеспе-

чивает нужной чистоты поверхностного слоя. Для доводки поверхности цилиндрических втулок в качестве основного метода применяется так называемое хонингование¹, дающее высоту гребней от 0,05 до 0,1 мкм, т. е. значительно меньшую, чем при шлифовании. После хонингования обработанная поверхность кажется (если посмотреть на нее невооруженным глазом) зеркально-гладкой: ее даже называют зеркалом цилиндра. Чтобы лучше удержать смазку на внутренней (рабочей) поверхности чугунных втулок, часто производят так называемое фосфатирование этих поверхностей (нанесение тонкого слоя фосфатов).

Конструкция втулки в большей степени зависит от типа дизеля (двухтактный или четырехтактный), т. е. от особенностей рабочего процесса двигателя и его теплового режима. Посмотрим как нагружаются различные места втулки. У дизелей 10Д100 и 2Д100 наибольшим тепловым и механическим нагрузкам подвергается средняя часть, так как здесь находится камера сгорания.

Другую картину мы имеем у дизелей, скажем, типа Д50, у которых наибольшему нагреванию и наибольшему усилию подвергается верхняя часть втулки, так как здесь температура и давление газов бывают наиболее высокими. Нижняя часть втулки оказывается в лучших условиях, так как воспринимает меньшие давления и тепловую нагрузку.

¹ Слово «хонингование» происходит от английского hone — буквально точить, доводить.

Каждая втулка дизеля типа Д100 является общей для верхнего и нижнего поршней. Нетрудно догадаться, что общая прочность втулки мало изменится, если толщину стенки ее уменьшить там, где давление газов меньше. Именно по этим соображениям втулка дизеля Д50 утолщена в верхней части, а на среднюю часть втулки дизелей типа Д100 напрессована стальная рубашка (необходимая для охлаждения, см. с. 138), благодаря чему прочность ее повышена. Местами уплотнения рубашки с втулкой являются специальные цилиндрические пояса, расположенные сверху и снизу от продольных ребер на внешней поверхности втулки.

Втулка должна быть не только прочной, но и жесткой. От нее необходимо интенсивно отводить тепло, образующееся при сгорании топлива, иначе нормальная работа дизеля невозможна. Охлаждение средней части наружной поверхности втулки тепловозных дизелей осуществляется водой (см. гл. 9). При охлаждении водой температура стенок втулок со стороны поршня не должна превышать 150—180°С.

При разных режимах работы дизеля температура стенок втулки изменяется в широких пределах. Поэтому втулку в блоке дизеля устанавливают так, чтобы она имела возможность свободно удлиняться. Для этого верхний конец втулки дизеля типа Д100 с помощью шпилек жестко прикреплен к блоку, а нижний конец оставлен свободным, что позволяет ей при нагреве удлиняться вниз.

На рис. 43 показана втулка цилиндра дизеля Д49, конструкция ко-

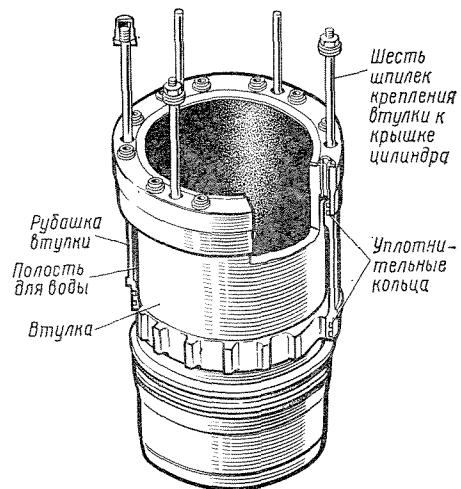


Рис. 43. Втулка цилиндра дизеля типа Д49

торой получила название подвесной. Втулка соединена с крышкой цилиндра. На втулку напрессована рубашка, вместе с которой втулка вставляется в блок дизеля. Стыки между рубашкой и втулкой уплотняют кольцами. Втулка цилиндра, таким образом, непосредственно к блоку не крепится, а находится в нем как бы в подвешенном состоянии.

ПОРШНИ

Поршень и его детали испытывают при своей работе не только очень высокие тепловые и механические нагрузки, но и перемещаются с большой скоростью. По мере поворота коленчатого вала скорость поршня изменяется от нулевой до наибольшей. Средняя скорость поршней современных тепловозных дизелей находится в пре-

делах 7,2—11,5 м/с. В результате переменной скорости движения возникают и действуют на поршень силы инерции.

В особенно тяжелых условиях находится головка поршня, которая непосредственно соприкасается с горячими газами (температура 1200—1800°С). Поршень испытывает большие усилия от действия газов. Так, на головку поршня дизеля Д50, поверхность дна которой составляет примерно 800 см², действует сила, превышающая 450 Н (46 тс). Эта сила более чем в 2 раза превышает вес самого дизеля с генератором. Не будет преувеличением сказать, что от деталей поршневой группы прежде всего зависит надежность работы дизеля. Однако разработка надежной конструкции поршня оказывается трудным делом: с одной стороны, нужны прочность и жесткость, с другой — легкость: чем меньше вес деталей поршневой группы, тем меньше величина сил инерции, возникающих при движении, тем большую частоту вращения коленчатого вала можно допустить. Положение осложняется тем, что поршень должен интенсивно охлаждаться, иначе из-за высоких температур снизятся прочностные свойства материала, из которого он сделан, и поршень может разрушиться. А отвести тепло от поршня не так просто, ведь он движется.

Стремление обеспечить высокую прочность, легкость и сделать так, чтобы поршень не нуждался в масляном охлаждении, привело к тому, что на ряде дизелей (например, Д50, М756, 1Д12) его изготавливают из алюминиевого сплава (к алюминию

добавляют присадки кремния, никеля, марганца и др.). Замечательная особенность этого сплава состоит в том, что он хорошо проводит тепло. Так, если при наибольшей нагрузке дизеля головка алюминиевого поршня нагревается до 300°С, то этот же поршень из серого чугуна имел бы температуру около 500°С, требующую уже специального (масляного) охлаждения.

Чугун проводит тепло в три раза хуже, чем поршневой алюминиевый сплав. Если к этому добавить, что алюминиевый сплав в 2,6 раза легче чугуна, то станет ясно, почему поршни дизелей многих марок изготовлены из сплавов на основе алюминия.

У различных тепловозных дизелей поршни могут отличаться друг от друга конструкцией, материалом и размерами, но все они по своей форме напоминают стакан (рис. 44), высота которого почти всегда больше диаметра. По своей форме поршни дизеля не являются строго цилиндрическими. Если бы поршень по всей длине имел одинаковый наружный диаметр, то его головка, которая работает в зоне высоких температур, расширилась бы больше, чем нижняя часть, что привело бы к заклиниванию поршня в цилиндрической втулке. Чтобы этого не произошло, диаметр головки поршня при изготовлении несколько уменьшают по сравнению с диаметром нижней части его, называемой юбкой, т. е. придают поршню коническую форму. Такой поршень при нагревании приобретает форму, близкую к цилиндрической. Боковая поверхность поршней современных дизелей имеет весьма сложную геомет-

рическую форму, образованную из ряда конических и цилиндрических поверхностей. Сторона поршня, обращенная к камере сгорания, обычно делается вогнутой, что улучшает условия сгорания топлива.

Рассмотрим вкратце устройство поршня дизелей Д100 (см. рис. 44). Главными деталями его являются корпус (стакан) с дном вогнутой формы и вставка, которая соединяется с корпусом с помощью пружинного стопорного кольца. Корпус поршня изготовлен из серого чугуна, легированного хромом, никелем, молибденом и медью; сделано это для повышения прочности материала. Вставка имеет два отверстия, в которые запрессованы бронзовые втулки; в них вставлен поршневой палец. Средней

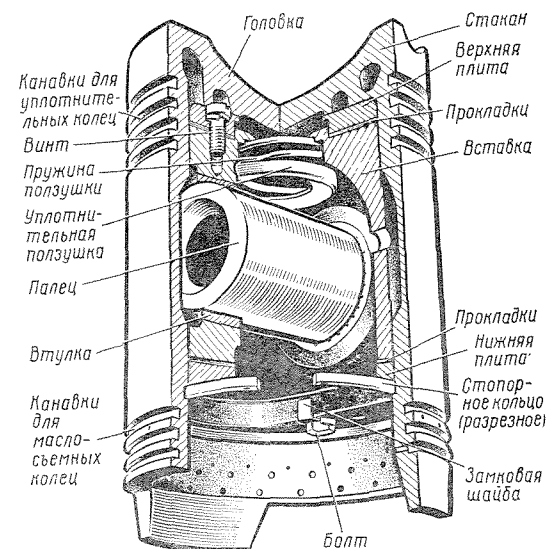


Рис. 44. Поршень дизелей 10Д100 и 2Д100 бесшпильчатой конструкции

частью палец входит в верхнюю головку шатуна. Такая конструкция поршня называется *составной*. При составном поршне камера сжатия дизеля может быть изменена за счет регулировочных прокладок разной толщины (от 0,1 до 3,0 мм), устанавливаемых между вставкой и верхней и нижней плитами. Такое соединение корпуса поршня со вставкой (*без шпилек*) возможно только в двухтактных дизелях, где силы давления газов всегда прижимают корпус поршня к вставке, так как они превышают силы инерции. Начиная с 1974 г. *бесшпильчатые* поршни устанавливают серийно на дизелях 10Д100 и 2Д100.

Составную конструкцию имеет и поршень двухтактного дизеля 11Д45, у которого вставка с корпусом поршня соединена также с помощью стопорного кольца.

На четырехтактных дизелях Д49 головка поршня, изготовлена из жаростойкой стали, соединяется с тронком поршня из ковального алюминиевого сплава с помощью четырех шпилек.

ПОРШНЕВЫЕ КОЛЬЦА

Поршень, перекрывающий поперечное сечение цилиндра, должен быть устроен так, чтобы через зазор между поршнем и стенками цилиндра в картер дизеля не проникли газы. Утечка газов приведет к снижению мощности дизеля. Кроме того, газы, проходя через зазор, вызовут местный перерыв стенок цилиндровой втулки и выгорание масла. Это повлечет за собой интенсивный износ втулки и поршня. Утечка же воздуха при хо-

де сжатия приведет к снижению экономичности, а температура, в камере сгорания может оказаться недостаточной для воспламенения топлива.

Для чего в таком случае нужен зазор? Если его не предусмотреть, то во время работы дизеля поршень расширится и его заклинит в цилиндровой втулке; зеркало ее и боковая поверхность поршня будут повреждены. Чтобы этого избежать, между поршнем и втулкой цилиндра приходится оставлять зазор, а конструкцию поршня несколько усложнять: на его поверхности протачивают кольцевые канавки (ручьи) (см. рис. 44), в которые вставляют упругие (пружинящие) уплотнительные кольца (рис. 45).

Первое требование к кольцам — это плотное прилегание к канавкам поршня и боковой поверхности цилиндровой втулки. В свободном состоянии диаметр кольца больше, чем диаметр втулки: все кольца имеют разрез — замок (см. рис. 45). Замок позволяет разжать кольцо и в таком состоянии надеть его на поршень. Такие упругие кольца, введенные вместе с поршнем во втулку, подобно пружине стремятся разжаться и при этом плотно прилегают к стенкам цилиндровой втулки. В сжатом состоянии в месте стыка концы кольца сходятся. Формы замков бывают разными. Наибольшее распространение получили косые замки. Под давлением воздуха и газов кольца плотно прижимаются к канавкам поршня и, кроме того, прижимаются к боковой поверхности втулки, обеспечивая достаточную герметичность (уплотнение) внутри цилиндра.

Когда в процессе работы зазор между поршнем и цилиндровой втулкой вследствие износа увеличивается, поршневые кольца, будучи упругими, разжимаются, чем достигается самоуплотнение их во втулке. *Уплотнительные* (компрессионные) кольца размещены в верхней части поршня, а самое верхнее — вблизи днища поршня. Поршни дизелей 10Д100, 2Д100, 14Д40, 11Д45 имеют по четыре канавки для уплотнительных колец, поршни дизелей Д49 и Д70 — по три канавки, а поршни дизелей 2Д50 и Д50 — по пять.

Несколько колец, расположенных рядом, создают лучшую преграду (по сравнению с одним кольцом) против проникновения (пробоя) газов в картер дизеля (во время рабочего хода поршня) и против утечки воздуха из цилиндра (во время сжатия).

Работа уплотнительных колец сопровождается интересным явлением. Взгляните на рис. 46, а. Когда поршень начинает перемещаться вниз, уплотнительные кольца прижимаются к верхней плоскости канавки поршня так, что между нижней и боковой плоскостями каждого кольца и канавками образуется свободное пространство, которое заполняется маслом. При движении поршня вверх (рис. 46, б) кольца прижимаются к нижней плоскости канавок, и они выжимают оставшееся в канавки масло вверх, в камеру сгорания.

Масло, находившееся под кольцом, оказывается над кольцом. Получается, что поршневые кольца, прижимаясь поочередно к верхней и к нижней плоскостям канавок, то засасывают масло, то постепенно вытес-

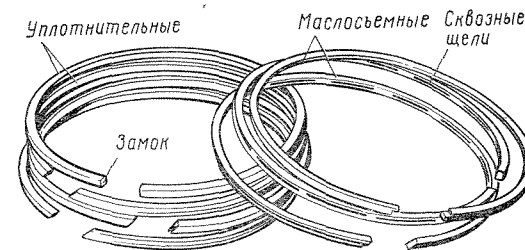


Рис. 45. Кольца поршня дизеля 10Д100

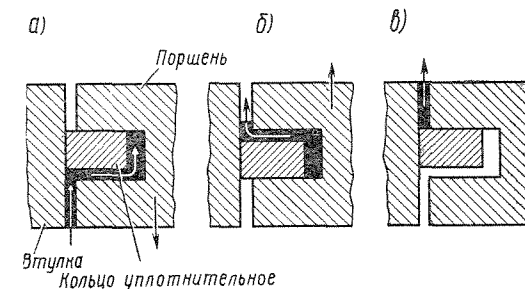


Рис. 46. Схема насосного действия уплотнительных колец

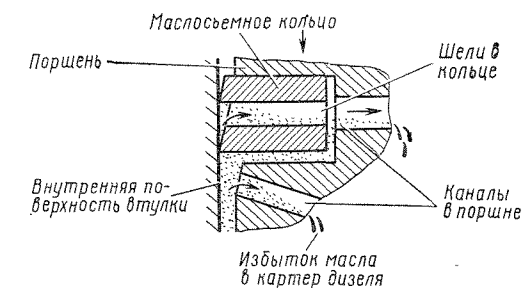


Рис. 47. Схема работы маслосъемного кольца

няют его (рис. 46, в) в камеру сгорания подобно насосу. «Насосное действие» колец настолько сильно, что на внутреннюю поверхность цилиндра поступает масла больше, чем требуется, а это нежелательно, так как избыток масла попадает в камеру сгорания, оставаясь на стенках цилиндра. Масло подвергается нагреву от горячих газов. Так как оно находится на относительно холодных стенках, то полностью не сгорает и превращается в смолистое вещество, которое в виде нагара после остановки дизеля затвердевает на головке поршня, забивает канавки в зазорах между поршнем и поршневыми кольцами, ухудшает подвижность уплотнительных колец.

Нижняя часть зеркала цилиндрической втулки покрывается слоем масла, попадающего на стенки втулки через зазоры подшипников шатунно-кривошипного механизма путем разбрызгивания. Как же снять с зеркала втулки избыток масла? Для этого поршень снабжают еще двумя-тремя *маслосъемными* (или *маслосредствыми*) кольцами, устанавливаемыми в нижней части поршня.

Конструктивно маслосъемные кольца отличаются от уплотнительных еще и тем, что имеют скошенную острую кромку (рис. 47), которой при движении поршня вниз от камеры сгорания они соскабливают масло со стенок цилиндрической втулки. Дальше через сквозные щели в кольце и каналы в кольцевых канавках поршня масло стекает в картер дизеля.

При обратном ходе, когда поршень движется вверх к камере сгорания, кольцо своими скошенными поверхностями скользит по масляной

пленке, но не может его увлечь. Поршень дизеля 10Д100 наряду с маслосъемными кольцами, имеющими щели, снабжен также кольцами без щелей. В последнем случае масло, срезаемое кольцом, стекает в картер через отверстия в теле поршня.

ПОРШНЕВЫЕ ПАЛЬЦЫ

Усилия от поршня к коленчатому валу передаются через поршневой палец, шарнирно соединяющий поршень с шатуном. Общим у пальцев дизелей 10Д100, 11Д45, Д50 является то, что они выполнены полыми. Это сделано для облегчения веса, а у дизелей типа Д50 — и для подачи смазки к трущимся поверхностям. Палец шпильчатого поршня дизеля 2Д100 по способу закрепления отличается от пальца дизеля Д50. При работе дизеля Д50 палец может свободно поворачиваться, а при работе дизеля 2Д100 палец остается неподвижным относительно вставки поршня — он закреплен во вставке. Если палец при работе может свободно поворачиваться в поршне и головке шатуна, то он называется *плавающим*. Плавающие пальцы изнашиваются почти равномерно по всей поверхности благодаря тому, что имеют возможность поворачиваться. Эта особенность имеет важное значение, так как при неравномерном износе образуются односторонние зазоры между пальцем и головкой шатуна. Чем больше зазор, тем с большей силой ударяет палец о втулку шатуна, изнашивая ее и создавая повышенные напряжения в шатунно-кривошипном механизме.

5 ШАТУННО-КРИВОШИПНЫЙ МЕХАНИЗМ

ШАТУНЫ

Усилие, воспринимаемое поршневым пальцем от поршня, передается далее на коленчатый вал с помощью *шатуна* (рис. 48). Стержень шатуна должен выдерживать попеременно сжатие, растяжение, продольный изгиб от усилия газов и сил инерции. Чтобы не произошло изгиба или излома, шатун приходится делать из сталей специальных марок. Для облегчения же веса стержню шатуна придана форма двутавра, хорошо противостоящая продольному изгибу. Стержень по концам имеет две головки: в отверстие малой неразъемной головки входит палец поршня, а в большой разъемной головке размещается шейка кривошипа коленчатого вала.

С устройством шатунов познакомимся сначала на примере дизеля 10Д100 (рис. 48, а). Большая головка нижнего шатуна — разъемная, так как цельную головку невозможно надеть на шейку вала — мешают выступающие колена. Эта головка разрезана на две части по плоскости, перпендикулярной оси шатуна; шейка коленчатого вала помещается между двумя половинками разъемной головки шатуна. Одна из них составляет одно целое со стержнем шатуна.

К ней присоединяется другая половинка, называемая крышкой. Крышку соединяют в месте разреза с шатуном с помощью замка в виде выступов и двух болтов с гайками (*шатунных* болтов), которые прижимают друг к другу обе половинки головки шатуна, связывая их воедино.

Шатунные болты — очень важные детали. Если ослабнет гайка или выйдет из строя (оборвется) шатунный болт, испытывающий воздействие возникающих в процессе движения поршня больших усилий, произойдет авария дизеля. Чтобы противостоять действующим усилиям, болт должен обладать достаточной прочностью; особая точность предъявляется также к резьбе шатунного болта и гайки.

В обе головки шатуна вставлены подшипники, представляющие собой бронзовую втулку (в малой головке), и полувтулки, называемые вкладышами (в разъемной головке). Вкладыши заливают тонким слоем свинцовистого кальциевого баббита (дизели типов Д100 и Д50) или свинцовистой бронзы (дизели 11Д45, 14Д40 и Д49). Слой антифрикционных металлов — баббита или бронзы — уменьшает трение и износ шейки коленчатого вала и поршневого пальца.

По конструктивным и технологическим соображениям втулка поршневой головки шатуна дизеля 10Д100 и 2Д100 выполнена двухслойной—бронзовая втулка запрессована не в отверстие стержня шатуна, а в стальную втулку, которая уже вместе с бронзовой запрессовывается в шатун.

Шатун дизелей типа Д50 имеет конструкцию, аналогичную описанной выше. Основное отличие его состоит в том, что крышка нижней головки прикрепляется к телу шатуна четырьмя шатуновыми болтами по два с каждой стороны, так как в четырех-

тактных дизелях на тактах выпуска и всасывания инерционные силы достигают очень больших значений. Дизели Д49, Д70, 11Д45, М756 и 1Д12 имеют V-образное расположение цилиндров, поэтому здесь применены сочлененные шатуны. Один из них называется *главным* (левый на рис. 48, б), а другой—*прицепным*. Прицепной шатун соединен с главным с помощью пальца, который вставлен в отверстие специального выступа нижней головки главного шатуна. В шестнадцатицилиндровом дизеле Д49 размещается восемь комплектов сочлененных шатунов.

ЧТО ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ

Вал двигателя внутреннего сгорания совсем не похож на обычный вал. Несколько коленообразных кривошипов, расположенных по всей длине вала (рис. 49), придают ему на первый взгляд странную, непонятную форму. Однако, рассматривая вал более внимательно, мы увидим, что форма его имеет определенный смысл и обусловлена особенностями устройства и работы дизеля. Кривошипы называют *коленами*, а сам вал — *коленчатым*. Шестицилиндровые дизели типа Д50 имеют один коленчатый вал с шестью коленами, десятицилиндровые дизели 10Д100, 2Д100 — два десятиколенных вала, а V-образные шестнадцатицилиндровые дизели 11Д45, 5Д49, 2Д70 и др. — один вал с восемью коленами.

Как же расположены колена по длине коленчатого вала? Читателю

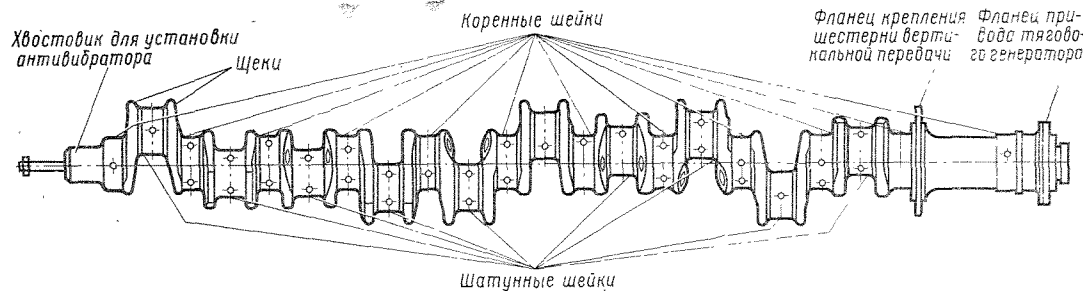


Рис. 49. Нижний коленчатый вал дизелей 10Д100, 2Д100

известно, что вспышки топлива в цилиндре четырехтактного дизеля происходят через два оборота коленчатого вала (720°), а двухтактного — через один оборот (360°). Если вспышки будут происходить последовательно в каждом цилиндре через равные промежутки времени, то, например, в шестицилиндровом четырехтактном дизеле Д50 за каждые два оборота коленчатого вала произойдет шесть вспышек, а в десятицилиндровом двухтактном дизеле типа Д100 за один оборот вала возникнет десять вспышек. Значит, в первом случае между двумя последовательными вспышками угол поворота вала будет равен $720:6=120^\circ$, во втором $360:10=36^\circ$. Если посмотреть на коленчатые валы дизелей типов Д50 и Д100 с торца, то можно установить, что колена их как раз и расположены под углами 120° и 36° (рис. 50) по отношению друг к другу. Практически это означает вот что. Если вспышка произошла, например, в первом цилиндре дизеля Д50, то следующая очередная вспышка может произойти в цилиндре, колено которого расположено под углом 120° по

отношению к колену первого цилиндра; третья вспышка произойдет в цилиндре с коленом, размещенным под углом 240° к первому. При втором обороте коленчатого вала произойдут вспышки в оставшихся трех цилиндрах.

В двухтактных многоцилиндровых V-образных дизелях вспышки следуют одна за другой в двух смежных цилиндрах (т. е. правого и левого рядов). Величина угла поворота вала между вспышками в этих цилиндрах зависит от «развала» цилиндров, т. е. от угла между осями смежных цилиндров. Поэтому в V-образном дизеле число колен коленчатого вала сокращается в два раза, а угол между коленами соответственно увеличивается вдвое по сравнению с рядным дизелем (при одинаковом числе цилиндров). Так, в 16-цилиндровом двухтактном дизеле при последовательном осуществлении вспышек во всех цилиндрах угол между коленами может быть равным 45° вместо 22.5° ($360:16$). Несмотря на это, у двухтактного 16-цилиндрового дизеля 11Д45 угол между кривошипами по соображениям уравнивания и

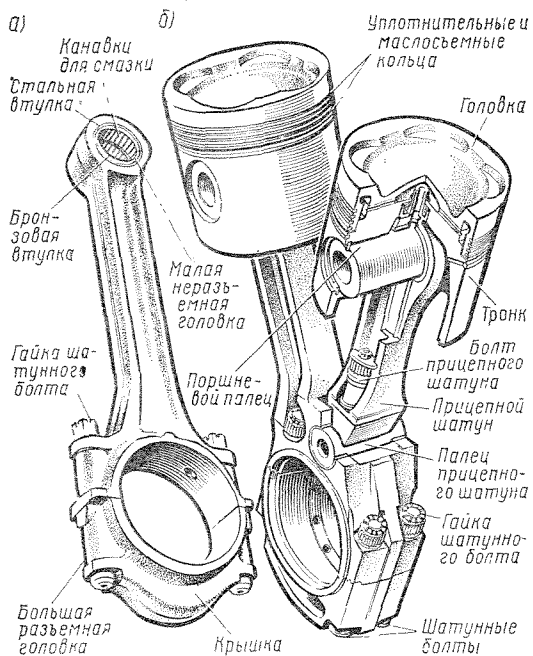


Рис. 48. Общий вид шатунов:

а — рядного дизеля 10Д100; б — V-образного дизеля типа Д49

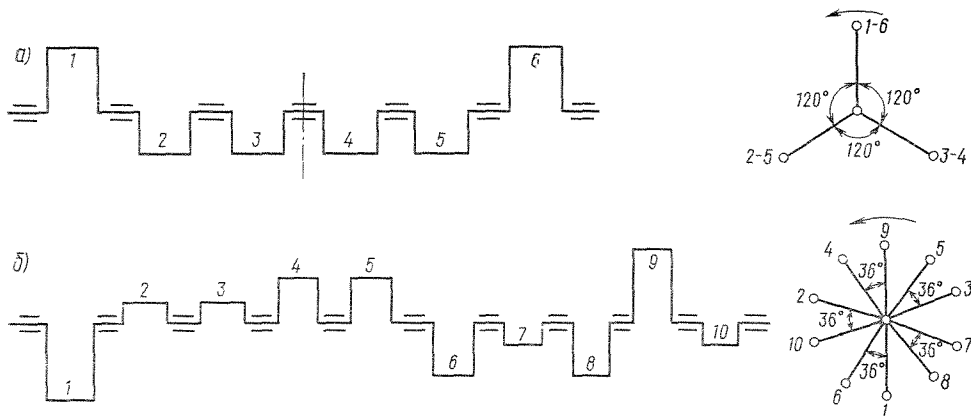


Рис. 50. Схемы расположения колен относительно друг друга:
 а — на коленчатом валу дизеля Д50; б — на коленчатом валу дизеля 10Д100

технологии изготовления принят равным 90° . Поэтому вспышки осуществляются сразу в двух цилиндрах одновременно.

Чередование вспышек в цилиндрах через равные промежутки времени способствует равномерности вращающего момента дизеля. Чем больше цилиндров, тем меньший угол поворота коленчатого вала нужно иметь между двумя соседними вспышками, тем более плавно будет вращаться коленчатый вал, а значит, и якорь тягового генератора (у тепловозов с электрической передачей).

Последовательность вспышек, называемая *порядком работы* цилиндров, записывается цифрами, разделенными черточками, например 1-3-5-6-4-2 (дизели 2Д50М, ПД1М, Д50) или 1-6-10-2-4-9-5-3-7-8 (дизели 10Д100, 2Д100). Здесь каждая цифра или число указывает, в каком цилиндре происходит очередная вспышка. В V-образном двухтактном дизеле 11Д45

вспышки происходят в такой последовательности через 45° угла поворота коленчатого вала: 1л/8л-1п/8п-4л/5л-4п/5п-2л/7л-2п/7п-3л/6л-3п/6п¹. Порядок работы выбирается с таким расчетом, чтобы по возможности вспышки, следующие одна за другой, не происходили в двух соседних цилиндрах, иначе будут перегружаться отдельные подшипники коленчатого вала. Однако на работу дизеля оказывает влияние и другое весьма важное обстоятельство.

Из механики известно, что всякое тело стремится сохранить состояние относительного покоя или состояние равномерного движения, в котором оно находилось. При нарушении этого состояния появляются силы, препятствующие его изменению. Так, если автобус на полном ходу резко останавливается, то мы ощущаем тол-

¹ Буква «л» обозначает левый цилиндр, а буква «п» — правый цилиндр.

чок вперед, и наоборот, если он внезапно трогается с места, нас отбрасывает назад. Это свойство тел препятствовать изменению своего состояния называется *инерцией*. Нечто подобное происходит и в дизелях. Средняя скорость поршней тепловозных дизелей 8—10 м/с, а максимальная еще больше. При таких высоких скоростях движения поршень буквально мечется от в. м. т. к н. м. т. Дойдя до в. м. т. или н. м. т., он изменяет направление движения на обратное. В результате изменения направления движения и величины скорости возникают силы инерции. На рис. 51 видно, что поршни I и VI (крайних цилиндров) подходят к в. м. т., при этом силы инерции направлены вверх, так как поршни замедляют движение. По этой же причине силы инерции поршней II и V направлены вниз. У поршней III и IV силы инерции направлены вниз, так как поршни как бы разгоняются. Силы инерции передаются на кривошипы коленчатого вала вместе с силами, возникающими от давления газов (рис. 52). Силы инерции шатунно-кривошипного механизма тепловозного дизеля могут достигать значительных величин.

Для уменьшения вредного действия сил инерции движущихся (при работе дизеля) деталей конструкторы добиваются такого взаимного расположения колен, при котором создавались бы одновременно инерционные силы, направленные в противоположные стороны. Это называется *уравновешиванием* дизеля. Посмотрим, как оно осуществляется на примере четырехтактного дизеля. Нетрудно видеть (см. рис. 50 а), что одна поло-

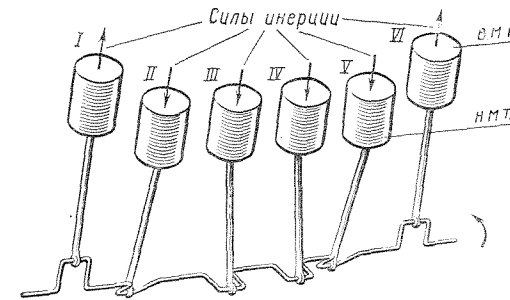


Рис. 51. Силы инерции, возникающие в шестичилиндровом дизеле Д50

вина этого вала (колена 1, 2 и 3) является зеркальным отражением другой (колена 4, 5 и 6). Иными словами, одной половине вала противопоставлена точно такая же по конфигурации другая половина. Расположение колен в ней повторяется в обратном порядке. При указанных условиях силы инерции от поршней одних цилиндров направлены так, что они почти полностью уравновешива-

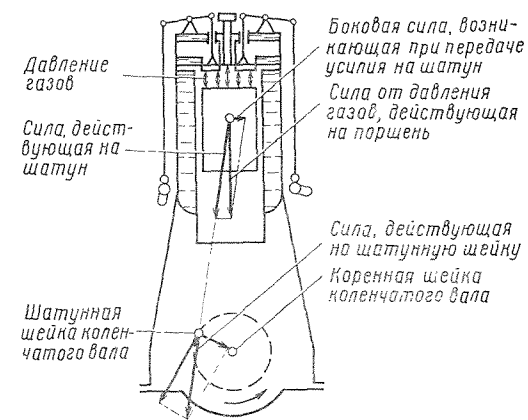


Рис. 52. Схема сил, действующих в шатунно-кривошипном механизме дизеля

ются силами инерции поршней других цилиндров. Чтобы силы инерции по цилиндрам дизеля были примерно одинаковы, предусмотрены жесткие допуски на разницу в весах (массах) отдельных деталей шатунно-кривошипного механизма; кроме того, сам коленчатый вал подвергается статической или динамической балансировке (уравновешиванию). Вал дизеля 10Д100 не имеет зеркального расположения кривошипов. Однако большое число колен позволяет выбрать такое их размещение, при котором влияние сил инерции в дизеле будет наименьшим.

Чтобы уменьшить моменты от сил инерции вращающихся масс, коленчатый вал дизеля типа Д49 снабжен (на двух крайних и двух средних щеках) противовесами, отлитыми за одно целое с валом.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

В обычном понимании вал — это цилиндрический стержень, опирающийся на два подшипника. Коленчатый же вал дизеля лежит на нескольких опорах. Объясняется это тем, что каждый из шатунов тепловозного дизеля при вспышке топлива в цилиндре передает на колена вала усилие 294—686 кН (30 000—70 000 кгс). Если допустить, что коленчатый вал длиной около 4 м лежит на двух опорах, а усилие 490 кН (50 000 кгс) приложено в середине вала, то под действием этого усилия и массы (веса) деталей шатунно-кривошипного механизма вал значительно прогнет-

ся и в нем возникнут напряжения, которые сломают вал. Только от собственной массы (около 2000 кг) вал может прогнуться на 1,5 мм. А чрезмерно большие прогибы вала вызовут его перекося в опорных подшипниках. Это нарушит условия их работы. Чтобы этого не произошло, вал двигателя должен быть прочным и достаточно жестким. Вообще говоря, этого можно добиться за счет увеличения диаметра вала. Однако такой коленчатый вал нельзя будет разместить в двигателе.

Конструкторы пошли другим путем: они увеличили число опор, на которые укладывается вал, т. е. вал по всей своей длине как бы разбили на относительно маленькие участки (пролеты). Участок вала, равный по длине одному кривошипу, опирается на два подшипника. Благодаря этому нагрузка на подшипники уменьшается, а прогиб вала составляет незначительную величину.

Участки вала, которыми он опирается на подшипники, называют *коренными шейками*, а места сочленения шатунов с кривошипами — *шатунными шейками*. Коленчатые валы дизелей 10Д100 и 2Д100 лежат на двенадцати коренных подшипниках, вал дизелей типа Д50 — на семи, вал шестнадцатилитровых дизелей Д49 — на девяти, а вал дизеля 11Д45 — на десяти подшипниках.

Коленчатый вал дизеля типа Д50 вращается с наибольшей скоростью 740 об/мин (12,3 об/с). При этой частоте вращения он воспринимает за каждую секунду 37 ударов — импульсов (12,3×3, где 3 — число вспышек за один оборот вала), воз-

никающих при сгорании топлива в цилиндрах, которые через шатуны передаются на кривошипы. Создание прочной и в то же время жесткой и легкой конструкции коленчатого вала, работающего в одной «упряжке» с деталями шатунно-поршневой группы, является трудной задачей.

Мы уже знаем: уменьшение прогиба вала в значительной степени обеспечивается установкой достаточного количества опор и внушительными размерами шатунных и коренных шеек. Однако прочность вала зависит и от материала, из которого он изготовлен. Известно, что сталь и чугун являются основными металлами машиностроения. Термически обработанная сталь дает такую прочность, которой обладают очень немногие металлы. Именно поэтому до недавнего времени коленчатые валы изготавливались из цельных стальных *поковок*, которым придавалась нужная форма под молотом или штампом. На рис. 53 вы видите поковку вала дизеля типа Д50. Ее масса выше 13 000 кг, а масса готового коленчатого вала только 1780 кг. Таким образом, при обработке в стружку уходит свыше 11 т ценнейшего металла — почти в 6 раз больше, чем весит готовый вал. Поэтому механическая обработка вала является дорогостоящей и трудоемкой операцией. Неудивительно, что из-за нерационального использования металла стоимость вала дизеля Д50 составляет 15—20% общей стоимости всего дизеля, а процесс изготовления его занимает очень много времени.

Чтобы сократить расходы металла в стружку, упростить механическую

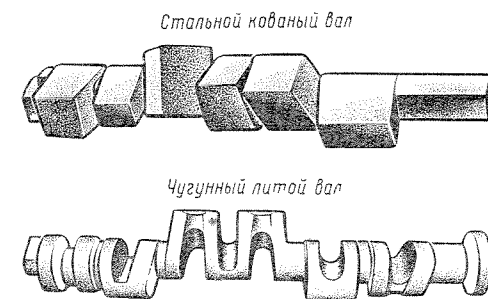


Рис. 53. Общие виды заготовок коленчатых валов

обработку и сэкономить время на изготовление, применяются *литые* валы. Харьковский завод им. Малышева в 1955—1956 гг. освоил изготовление литых чугунных коленчатых валов для дизеля 2Д100.

Чем же объяснить, что чугун, имеющий меньшую прочность, чем сталь, к тому же хрупкий и маловязкий, с успехом вытесняет сталь при изготовлении коленчатых валов (несущих высокие динамические нагрузки) для мощных относительно быстроходных дизелей? Объясняется это тем, что удалось решить проблемы повышения прочности чугуна и улучшения его вязкости. Прочность чугуна была значительно повышена за счет изменения формы графита. Такой чугун называется *высокопрочным*; по своей прочности он не уступает обычной стали.

Невольно возникает вопрос, почему не применяются валы, *отлитые* из стали? Причина здесь кроется в том, что из-за меньшей текучести стали очень трудно получить высококачественную отливку такой сложной детали, как коленчатый вал дизеля. Чу-

гунные валы отливаются с припуском на обработку только коренных и шатунных шеек. Щеки вала отливаются без припусков и подвергаются незначительной механической обработке, связанной с его балансировкой и устройством каналов для подвода смазки.

Чтобы продлить срок службы коленчатого вала дизелей Д49, 11Д45, коломенские тепловозостроители не только отливают его из высокопрочного чугуна, но и «азотируют», т. е. насыщают азотом поверхностный слой шеек на глубину 0,5 мм. Это повышает прочность и твердость вала, что снижает износ его шеек.

ПОДШИПНИКИ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

Коленчатый вал, как вращающаяся деталь, опирается на подшипники; в тепловозных дизелях преимущественно применяются подшипники скольжения. Имеются дизели, у которых коленчатый вал опирается на роликовые подшипники (рис. 54). Роликовый или шариковый подшипник

состоит из двух колец—внутреннего и наружного, между которыми помещены ролики или шарики. При этом внутреннее кольцо укрепляется на шейке вала. Если вал прямолинейен, не имеет колен, то насадить кольцо на шейку вала можно с торца. У коленчатого же вала в разные стороны выступают колена, которые мешают насадке колец.

Применить подшипники качения в коленчатых валах можно, если эти валы сделать разъемными или увеличить диаметр коренных шеек до размера, при котором внутренние кольца подшипников будут свободно проходить по валу.

В качестве коренных опор коленчатого вала на роликовых подшипниках (см. рис. 54) использованы щеки, которым придана форма цилиндрических шайб (дисков). За счет замены обычных коренных шеек более узкими шейками под роликовые подшипники вал удается сделать короче. Однако задача применения подшипников качения, особенно с ростом удельных нагрузок, оказывается очень сложной в конструктивном отноше-

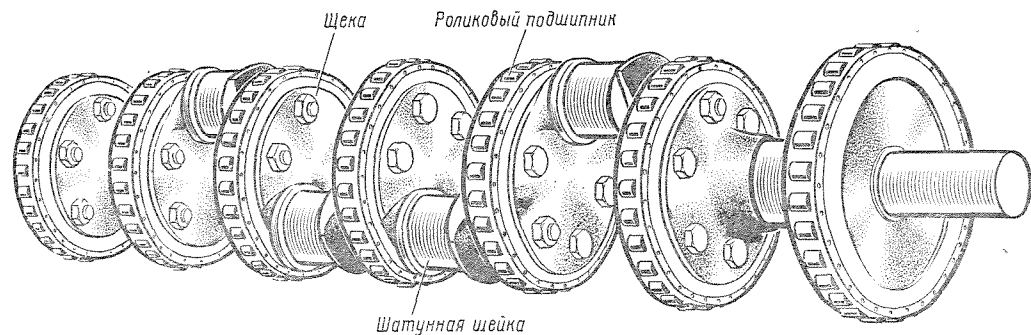


Рис. 54. Коленчатый вал с цилиндрическими щеками и роликовыми подшипниками

нии. Гораздо проще установить подшипники скольжения, которые можно выполнять разъемными. Такие подшипники применяются на дизелях 10Д100, 2Д100, 11Д45, М756, Д50 и др.

Где бы ни стояли эти подшипники — на коренных или шатунных шейках, устройство их остается в общем одинаковым. Каждый подшипник представляет собой втулку, разрезанную пополам (рис. 55). Коленчатый вал сначала укладывают коренными шейками на нижние вкладыши (полувтулки), а затем шейки накрывают верхними вкладышами. Соединяясь друг с другом по плоскости разреза, два вкладыша образуют один коренной или шатунный подшипник.

С 1967 г. на дизелях 10Д100 устанавливают шатунные вкладыши повышенной работоспособности: без сплошной кольцевой канавки на рабочей поверхности наиболее нагруженного (рабочего) вкладыша. Для подвода масла к таким вкладышам в коленчатых валах изменено расположение маслоподводящих каналов. Устанавливать коленчатые валы прежней конструкции с шатунами и вкладышами новой конструкции (без канавок) нельзя, так как при этом смазка не поступит на поршневой палец и на охлаждение поршня. Нижние коленчатые валы дизелей 10Д100 и 2Д100 при установке обычных шатунных вкладышей (с кольцевыми канавками на рабочей поверхности) полностью взаимозаменяемы, а верхние — невзаимозаменяемы: отличаются приводом воздуховодок.

Когда частота вращения вала мала, особенно при пуске дизеля, меж-

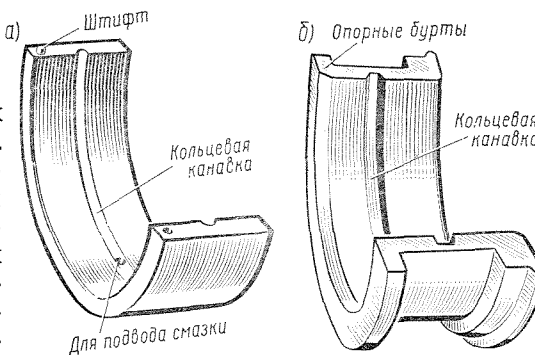


Рис. 55. Вкладыши коренных подшипников коленчатого вала дизелей типа Д100: а — опорного подшипника; б — опорно-упорного подшипника

ду поверхностями шеек и подшипников смазки оказывается недостаточной. Из-за этого возникает полусухое трение, сопровождающееся интенсивным износом трущихся поверхностей, а также выделением тепла, при котором подшипник может расплавиться. Для того чтобы этого не случилось, принимают меры, о которых читатель узнает из гл. 9, а пока подчеркнем следующий очевидный факт: рациональнее, чтобы сработал подшипник, а не шейка вала. С этой целью вкладыши делают из материалов, обладающих малым коэффициентом трения и хорошей теплопроводностью. Такими материалами являются антифрикционные сплавы (бabbит, бронза и др.).

Наименьшим коэффициентом трения обладает сплав баббит, к тому же он не только мягок, но и легкоплавок. Если на подшипник действуют большие удельные нагрузки, то в качестве антифрикционного сплава применяют свинцовистую бронзу, тру-

ющуюся поверхность которой покрывают тонким слоем олова, а поверхность (слой) шеек вала азотируют.

Чтобы разумно использовать специфические свойства баббита, поступают так: вкладыши изготавливают из бронзы, а поверхность их, прилегающую к шейке вала, заливают тонким слоем (0,5—0,75 мм) баббита. Самое главное, чтобы, во-первых, шейки вала во время работы всплывали на масляном «клине» (клинообразном слое масла), образуемом в зазоре между шейкой и подшипником, а во-вторых, чтобы в случае уменьшения масляного клина и возникновения полусухого трения не произошло задира, которому хорошо сопротивляется баббит.

Наряду с высокой точностью изготовления вкладышей и надлежащим классом шероховатости (чистотой) поверхности шеек вала высокие требования предъявляются и к опорным

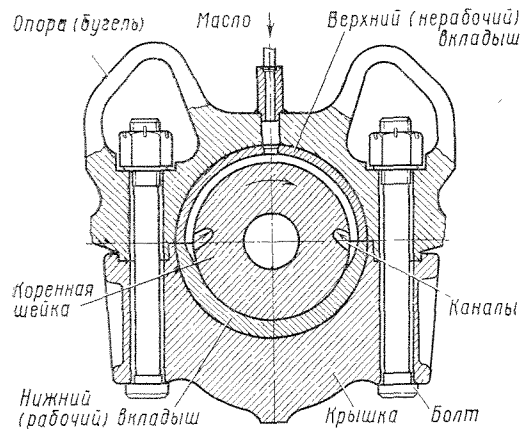


Рис. 56. Опора коренного подшипника нижнего коленчатого вала дизелей 10Д100, 2Д100

поверхностям подшипников. Как же образуются опорные гнезда под вкладыши?

Если заглянуть внутрь блока дизеля 10Д100, то можно увидеть массивные половины опор верхнего и нижнего коленчатых валов. Одна половина каждой опоры коренного подшипника (*бугель*) приварена к вертикальной поперечной перегородке. В ней помещается верхний или нижний вкладыш. После установки на бугеле второй половины опоры — крышки коренного подшипника (рис. 56) с вкладышем — и закрепления ее двумя шпильками или болтами подшипник коленчатого вала оказывается собранным полностью.

Внутренние поверхности опорных гнезд, к которым прилегают наружные поверхности вкладышей, называются *постелями*. Правильное прилегание бронзовой поверхности вкладыша к поверхности постели имеет важное значение. Если давление от вкладыша будет передаваться не на всю опорную поверхность постели, а только на отдельные участки ее, то вкладыши будут испытывать повышенные напряжения и подшипник разрушится.

Процесс установки вкладыша в постель требует особого внимания. Внутренний диаметр постели делают меньше наружного диаметра вкладышей. При постановке вкладыши сжимаются, и постель плотно обхватывает их.

Ответим на такой вопрос: какой натяг, т. е. какую разность между диаметрами вкладыша и постели следует выдержать, чтобы обеспечить плотность соединения хорошо обра-

ботанных сопрягаемых деталей? Это имеет существенное значение для длительной и надежной работы подшипника. Если натяг сделать очень большим, то вкладыш будет испытывать чрезмерные деформации, что недопустимо. Если натяг будет мал, вкладыш быстро ослабнет, что также недопустимо. Для дизеля 10Д100 величина натяга каждого вкладыша должна быть 0,08—0,11 мм.

Для фиксации положения вкладыша при сборке имеются штифты (дизель 10Д100) или выступы (дизель Д50), входящие в соответствующие углубления или вырезы опоры. В центральной части вкладышей образована кольцевая канавка, в которую подводится смазка через отверстия.

Как правило, кроме опорных подшипников, каждый коленчатый вал имеет один опорно-упорный подшипник (см. рис. 55, б), который ограничивает перемещение вала вдоль продольной оси дизеля. Опорно-упорными подшипниками в дизелях 2Д100 и 10Д100 являются одиннадцатый, а в дизеле Д50 — седьмой. Вкладыши опорно-упорных подшипников имеют бурты, в которые упираются фланцы вала.

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЕРЕДАЧА

Посмотрите на рис. 57. На каждом из двух коленчатых валов — верхнем и нижнем — навешено по 10 шатунов с поршнями — всего 20

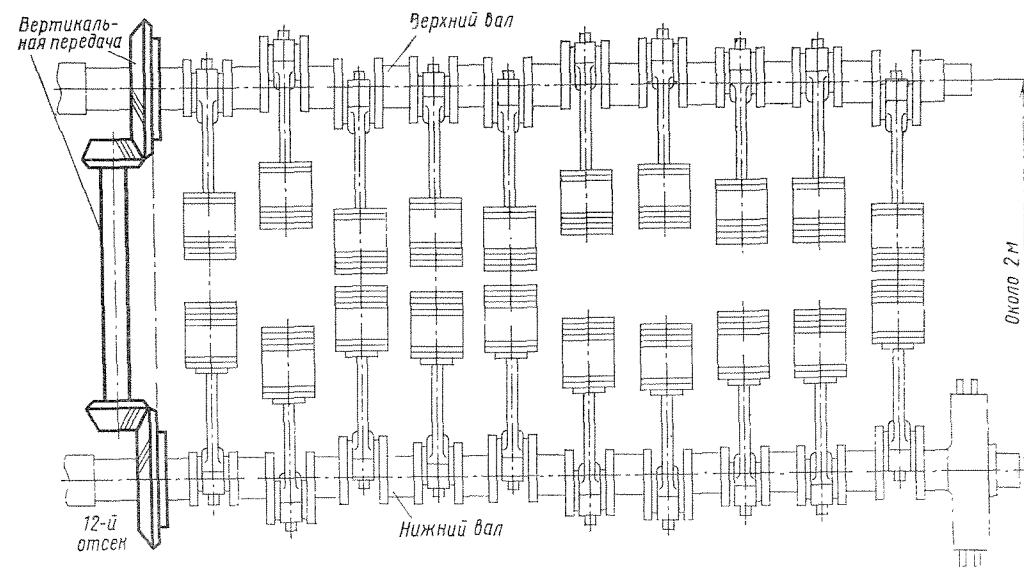


Рис. 57. Схема дизеля 10Д100 и вертикальной передачи

встречно-движущихся поршней. Одной из особенностей дизелей этого типа является то, что нижний поршень должен открывать и закрывать выпускные окна в полном соответствии с закрытием и открытием продувочных окон, которыми управляет верхний поршень. Если установленный порядок движения поршней нарушится, то не будет обеспечен нормальный рабочий процесс в дизеле. Отсюда следует, что оба коленчатых вала — верхний и нижний — должны быть связаны между собой, автоматически обеспечивая синхронное вращение, — это во-первых. Во-вторых, в двухваль-

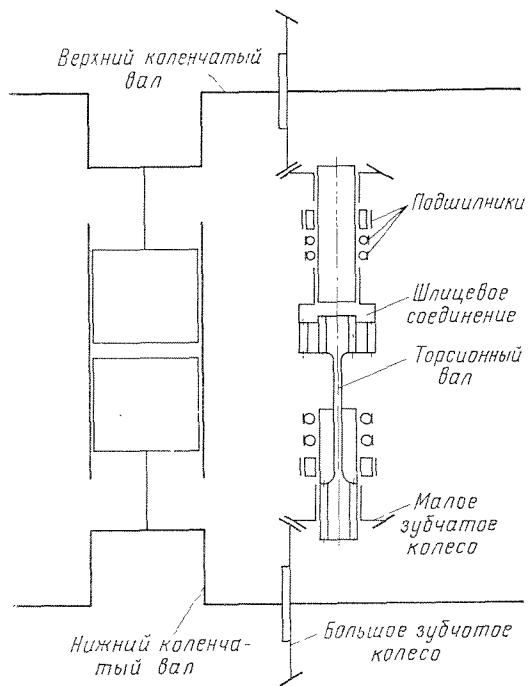


Рис. 58. Схема устройства вертикальной передачи

ных дизелях 2Д100 и 10Д100 валом отбора мощности, как уже знает читатель, является *нижний* коленчатый вал. Значит, вся мощность, воспринимаемая верхним коленчатым валом от своих поршней, за исключением мощности, которая расходуется на приведение в действие воздухоподогревателя и топливных насосов, должна передаваться нижнему валу.

Но нижний и верхний коленчатые валы удалены друг от друга на расстояние около 2 м. Это затрудняет осуществление передачи вращения от одного вала к другому. Если еще учесть, что внутри дизеля очень мало места для установки такой передачи, то станет ясно, что не всякое устройство, обеспечивающее согласованное вращение валов, может быть использовано по условиям размещения его, а также весовым соображениям. Для передачи мощности от верхнего коленчатого вала к нижнему и синхронизации их работы наиболее просто было бы соединить валы между собой с помощью цилиндрических зубчатых колес. Однако такая передача заняла бы слишком много места в дизеле.

Наиболее компактной и легкой передачей оказалась *вертикальная* передача с *коническими* зубчатыми колесами, размещенная, как уже отмечалось, в отдельном 12-м вертикальном отсеке блока дизеля — со стороны тягового генератора. Схема устройства вертикальной передачи показана на рис. 58. Большие конические зубчатые колеса крепятся призонными болтами к фланцам нижнего и верхнего коленчатых валов, а малые колеса устанавливаются на концевых шей-

ках двух валов вертикальной передачи, соединенных *упруго*. Как это достигается?

Соединение, в котором шпонки выполнены за одно целое с валом, называют *шлицевым*. Такое соединение применено в вертикальной передаче. Благодаря этому валы вертикальной передачи имеют возможность перемещаться в осевом направлении из-за тепловых деформаций даже при небольшом изменении их длины (и высоты блока): получается упругий (торсионный) вал. Упругий торсионный вал предохраняет также зубья колес от толчков при пуске дизеля и при изменении частоты вращения коленчатых валов. Тем самым их совместная, синхронная работа, о которой говорилось в начале параграфа, не нарушается. В то же время шлицевое соединение торсионного вала хорошо воспринимает высокие динамические нагрузки.

На дизелях старой постройки, например 2Д100, в вертикальной передаче вместо *торсионного* вала применена *эластичная* (пружинная) муфта, соединяющая верхний и нижний полувалы; пружины выполняют роль упругого элемента — торсиона.

ЧТО ТАКОЕ КРУТИЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И КАК С НИМИ БОРОТЬСЯ?

В двигателях внутреннего сгорания приходится сталкиваться с явлением *крутильных* колебаний валов. Крутильные колебания имеют место во всех тепловозных дизелях. Если эти колебания угрожают прочности коленчатого вала в рабочем диапазо-

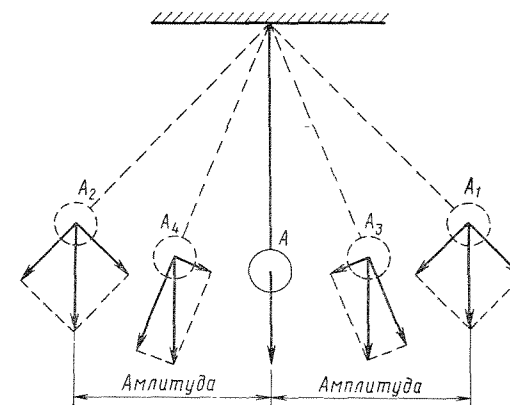


Рис. 59. Маятник. Изменение его положения при колебаниях

не частоты вращения вала, то применяют *антивибраторы* и *демпферы*. Их размещают на свободном конце коленчатого вала, т. е. там, где возникают наибольшие крутильные колебания. Прежде чем рассказать, как они работают, познакомимся с основными понятиями о колебаниях вообще.

На рис. 59 изображен груз, висящий на проволоке, — это маятник. Пока к маятнику не приложена сила, выводящая его из равновесия, он сохраняет вертикальное положение. Теперь ударим по грузу. От толчка маятник отклонится, скажем, в левую сторону от вертикального положения и будет двигаться, пока скорость его не станет равной нулю. После этого маятник начнет двигаться в правую сторону и будет стремиться занять первоначальное положение равновесия. Однако благодаря приобретенной энергии он «проскочит» первоначальное вертикальное положение и отклонится от него теперь уже

в правую сторону. Такие колебания груза, в данном случае маятника, называются *свободными* или *собственными*.

Почему им дали такие названия? Свободными их назвали потому, что маятник, выведенный из положения равновесия внешним толчком, качается свободно предоставленный самому себе. Собственными их называют потому, что частота колебаний маятника определяется самим маятником, его длиной и массой. Поясним это так. До начала колебаний отведем нижний конец маятника, например, на 10 мм, отпустим его и подсчитаем число колебаний маятника в секунду.

Вследствие сопротивления воздуха и трения в точке подвеса отклонения маятника будут постепенно уменьшаться, затухать, и маятник перестанет качаться. Однако в течение секунды он сделает, предположим, 10 полных колебаний. Полное колебание — это колебание маятника от одного крайнего положения до другого крайнего положения и обратно.

Отклонение от положения равновесия до одного из крайних положений называется *амплитудой колебания*. Число колебаний в единицу времени называется *частотой колебаний*.

Снова выведем маятник из положения равновесия, но теперь отведем свободный конец маятника не на 10, а на 30 мм. Изменится ли в этом случае число полных колебаний маятника? Оказывается нет! Он по-прежнему будет совершать 10 полных колебаний в секунду: изменились максимальные отклонения маятника от положения равновесия (т. е. амплитуда колебаний, см. рис. 59), а

число полных колебаний в секунду (частота колебаний) для данного маятника совершенно не изменилось, т. е. частота колебаний остается для него постоянной величиной.

Иными словами, изменение амплитуды не изменяет частоты колебаний, т. е. частота колебаний от амплитуды не зависит. Поэтому частоту колебаний называют *собственной частотой колебаний*, зависящей только от размеров и массы маятника; для нашего маятника она равна 10 колебаниям в секунду. Если же увеличить массу маятника, то частота его колебаний уменьшится; при уменьшении длины частота его увеличится.

Вполне определенную частоту собственных колебаний, как мы увидим дальше, имеет и коленчатый вал дизеля вместе с присоединенными к нему массами (поршнями, шатунами и т. п.). Но в отличие от простого маятника коленчатый вал будет иметь не одну, а несколько частот собственных колебаний. Однако прежде чем перейти к изучению его колебаний, познакомимся с понятием о *вынужденных* колебаниях.

Снова выведем маятник из положения равновесия, но в отличие от рассмотренных выше примеров к грузу во время колебания будем прикладывать силу так, чтобы амплитуда колебаний маятника поддерживалась на одном уровне. Под влиянием такой внешней силы колебания маятника не затухнут, вынуждены будут совершаться до тех пор, пока на маятник будет действовать внешняя сила. Такие колебания называются *вынужденными колебаниями*, а сила, приложенная к грузу, — *возмущаю-*

щей силой. Ясно, что частота этих вынужденных колебаний может быть разной, поскольку она зависит от частоты, с которой действует внешняя сила. А внешняя сила (например, электромагнит) может колебать свободный конец маятника с разной частотой: 5, 10, 20 колебаний в секунду в зависимости от частоты замыкания цепи питания. А что произойдет, если возмущающую силу прикладывать к маятнику с частотой колебаний, одинаковой частоте собственных колебаний маятника?

В технике часто приходится сталкиваться с очень интересным, а иногда и опасным явлением — *резонансом* колебаний, которое характеризуется сильным возрастанием амплитуды колебаний. Это явление наблюдается, когда возмущающая сила прикладывается к грузу с частотой, равной частоте собственных колебаний груза.

Возьмем относительно длинный упругий стержень, жестко укрепленный в стене, с маховиком, сидящим на его противоположном конце (рис. 60); пусть вал поддерживается подшипником. Приложим к маховику вращающий момент, закрутим упругий стержень (он имеет небольшой диаметр) поворотом маховика на некоторый угол (2—3°), а затем отпустим его. Маховик начнет совершать свободные или собственные колебательные движения под действием сил упругости материала стержня и сил инерции маховика подобно маятнику. В отличие от колебаний маятника эти колебания называются *крутильными*. Будем к маховику прикладывать вращающий момент с определенной частотой. Тогда при частоте,

равной частоте собственных колебаний маховика, наступит резонанс. При резонансе даже сравнительно незначительная сила может вызвать колебания с чрезвычайно большой амплитудой. А это уже опасно, так как детали будут испытывать огромные напряжения, что может привести к их поломке. На рис. 61 представлена так называемая *резонансная* кривая, показывающая, как с изменением частоты возмущающей силы изменяется амплитуда колебаний, а при совпадении частоты возмущающей силы с частотой собственных колебаний груза (маховика) амплитуда вынужденных колебаний достигает максимума; при дальнейшем увеличении частоты возмущающей силы амплитуда колебаний падает.

Мы рассмотрели колебательные движения тела на простейших примерах с маятником и упругим валом с маховиком. Однако характерные закономерности механических колебаний различных упругих деталей, в том числе и коленчатого вала дизеля, и даже сооружений (например, моста или кузова тепловоза на рессорах) одинаковы с закономерностями колебаний маятника.

Выше уже говорилось, что коленчатый вал дизеля вместе с деталями, расположенными на нем, можно рассматривать как упругий вал с пассажирами на него маховиками. Такой вал будет иметь несколько частот собственных колебаний. Если его начать вращать с какой-то постоянной скоростью и одновременно к маховикам прикладывать дополнительные вращающие моменты, то отдельные сечения вала будут совершать *крутильные* колебания.

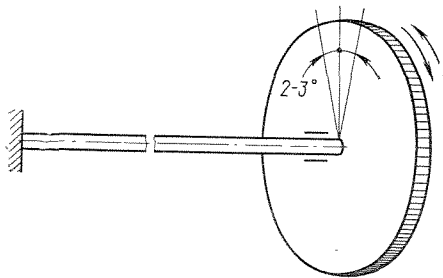


Рис. 60. Схема маховика на стержне

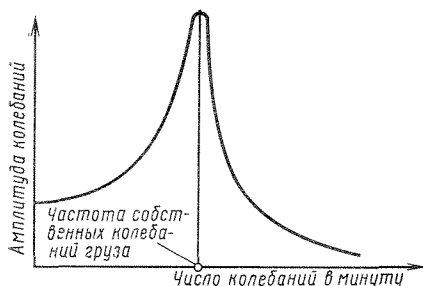


Рис. 61. Резонансная кривая

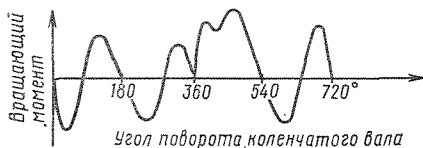


Рис. 62. Характер изменения вращающего момента, приложенного к коленчатому валу от одного цилиндра

Какие же внешние силы заставляют коленчатый вал дизеля совершать крутильные колебания? Эти силы — давление газов и силы инерции шатунно-кривошипного механизма, под переменным действием которых создается непрерывно меняющийся вращающий момент. Под влиянием неравномерного вращающего момента участки коленчатого вала деформируются: закручиваются и раскручиваются. Иными словами, в коленчатом валу возникают крутильные колебания. Сложная (рис. 62) зависимость вращающего момента от угла поворота коленчатого вала может быть представлена в виде суммы синусоидальных (гармонических) кривых с разными амплитудами и частотами. При некоторой частоте вращения коленчатого вала частота возмущающей силы, в данном случае какой-либо составляющей вращающего момента, может совпасть с частотой собственных колебаний вала, т. е. наступит явление резонанса, при котором амплитуды крутильных колебаний вала могут стать настолько велики, что вал может разрушиться. Пусть, например, частота собственных колебаний вала равна 550 колебаниям в минуту. Предположим далее, что возмущающий момент, т. е. одна из составляющих вращающего момента, начал действовать на коленчатый вал с точно такой же частотой (550 изменений в минуту). При таком совпадении частот отдельные участки вала начнут совершать резонансные крутильные колебания, очень большие по своей амплитуде.

Частота вращения коленчатого вала, при которой возникает резонанс,

называется *критической*. Работать на такой критической частоте вращения коленчатому валу ни в коем случае нельзя, иначе могут быть вызваны колебания вала с чрезвычайно большой амплитудой и как результат этого резко возрастут напряжения, достигнув величин, опасных для материала вала.

Итак, резонансные, критические колебания могут возникнуть только тогда, когда частота изменения одной из составляющих вращающего момента совпадает с частотой собственных колебаний вала.

Частоты составляющих вращающего момента могут быть кратны частоте вращения вала. Поэтому опасные колебания наблюдаются как при небольшой частоте вращения вала в минуту, так и при значительной. Например, для дизеля 10Д100 одна из опасных частот собственных колебаний равна 3300 колебаний в минуту. Если бы двигатель мог работать с частотой вращения 3300 об/мин, то крутильные колебания были бы чрезвычайно велики.

Расчетом найдено, что колебания будут опасными (если не принять соответствующих мер) и при частотах вращения в несколько раз меньших, особенно при $\frac{3300}{3} = 1100$ об/мин, $\frac{3300}{4} = 825$ об/мин, $\frac{3300}{6} = 550$ об/мин, $\frac{3300}{7} = 470$ об/мин, $\frac{3300}{10} = 330$ об/мин.

Итак, коленчатый вал дизелей типа Д100 в диапазоне частот вращения, близкой к рабочему интервалу (400—850), имеет пять критических частот вращения (чисел оборотов):

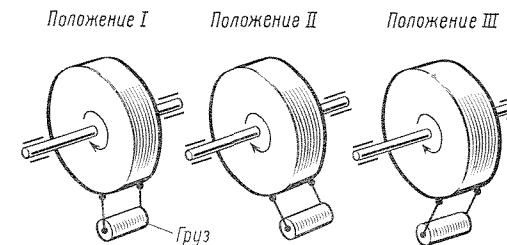


Рис. 63. Схема антивибратора маятникового типа

330, 470, 550, 825 и 1100 об/мин. Неудивительно, что конструкторы машин, в которых возможны подобные крайне опасные колебания, ищут способы избежать резонанса. Чтобы устранить явление резонанса в современных дизелях, применяются специальные устройства — *антивибраторы*. Широкое распространение получил один из видов такого устройства — маятниковый антивибратор. Чтобы понять работу этого антивибратора, обратимся к принципиальным схемам. Подвесим к маховику (валу) на роликах (рис. 63) груз (типа маятника) так, чтобы при вращении маховика (вала) ролики позволяли грузу отклоняться относительно вертикальной оси (радиуса) на некоторый угол в ту и другую сторону подобно маятнику.

Предположим, что вал вращается с постоянной частотой вращения, но меньшей или большей критической. В этом случае подвеска груза направлена по радиусу маховика (положение I). При этом груз антивибратора не оказывает воздействия на систему, вращаясь вместе с маховиком (валом) с равномерной скоростью.

Допустим теперь, что частота вращения коленчатого вала увеличилась до резонансной критической, например достигла 470 об/мин (дизель типа Д100). В этом случае маховик (вал), вращаясь, начнет также совершать и колебательные движения (крутильные колебания), направленные то в сторону вращения, то в противоположную вращению вала сторону. При этом амплитуды колебания будут расти. Как поведет себя в этом случае груз antivибратора? В тот момент, когда движение маховика во время каждого его колебания будет ускоряться, груз antivибратора по закону инерции будет стремиться сохранить свое движение с прежней скоростью, т. е. начнет отставать на некоторый угол от участка вала, к которому antivибратор прикреплен (положение II). Груз (вернее, его инерционная сила) будет как бы «притормаживать» вал. Когда угловая скорость маховика (вала) во время этого же колебания начнет уменьшаться, груз, подчиняясь закону инерции, будет стремиться как бы «тянуть» за собой вал (положение III),

Таким образом, инерционные силы подвешенного груза во время каждого колебания будут периодически воздействовать на вал в направлении, противоположном ускорению или замедлению вала, и тем самым изменять частоту его собственных колебаний.

Для того чтобы воздействие antivибратора (груза) было достаточно эффективным, массу груза и длину его подвески подбирают («настраивают») так, чтобы частота соб-

ственных колебаний груза соответствовала частоте колебаний вала, которые нужно погасить. Тогда чем больше станет амплитуда крутильных колебаний вала, тем больше вырастет гасящая эти колебания амплитуда колебаний груза, работающего в резонансном режиме. Так как во время колебаний груза он то приближается (см. рис. 63), то удаляется от вала (от оси вала), то благодаря этому непрерывно изменяется в определенной степени и частота собственных колебаний всей системы, что помогает устранению резонанса.

Таким образом, действие маятникового antivибратора дизелей типа Д100 состоит в том, что он создает на переднем конце нижнего коленчатого вала вращающий момент, примерно равный по величине, но противоположный по знаку моменту, возникающему в этом месте от крутильных колебаний. В результате передний конец коленчатого вала перестанет совершать крутильные колебания, что равнозначно постановке здесь маховика бесконечно больших размеров.

Нельзя ли использовать описанный в начале главы маятник для этих целей? Можно, но в другом конструктивном исполнении: вместо маятника, показанного на рис. 59 и 63, применить маятник с двухточечным подвешиванием по схеме рис. 64. Благодаря этому отпадает необходимость в очень большом грузе, который было бы трудно разместить в габаритах дизеля.

Рассмотрим конструкцию маятникового antivибратора, установленно-

го на валу дизелей типа Д100, в котором использовано двухточечное подвешивание. Этот antivибратор настроен на устранение резонанса при четырех критических частотах вращения вала, а именно: 470, 550, 825 и 1100 об/мин. В связи с этим он имеет четыре пары секторообразных грузов (см. рис. 64), подвешенных на пальцах, опирающихся на ступицу antivибратора. Ступица жестко соединена с передним концом нижнего вала, диаметр отверстий в ступице и грузах больше диаметра пальца. Благодаря этому грузы подобно маятникам будут колебаться на своих пальцах при возникновении крутильных колебаний нижнего коленчатого вала определенной частоты, на которую они настроены.

Общий вид и детали antivибратора дизеля показаны на рис. 65. Мы видим (справа) ступицу, состоящую из трех неподвижных дисков с восемью отверстиями. В эти отверстия (точнее, во втулки, запрессованные в них) вставляются (с зазорами) пальцы, на которые в свою очередь также с зазорами надеваются грузы (по четыре между каждыми двумя дисками antivибратора).

Пальцы имеют разные диаметры, а отверстия (втулки) под пальцы — одинаковые диаметры. Благодаря разным зазорам, образуемым пальцами в отверстиях, каждая пара грузов реализует только на соответствующую ей частоту резонансных колебаний (470, 550, 825, 1100 об/мин), которые полностью «обезвреживаются». Вот собственно и все устройство antivибратора 10Д100. Аналогично сделаны и antivибраторы других дизе-

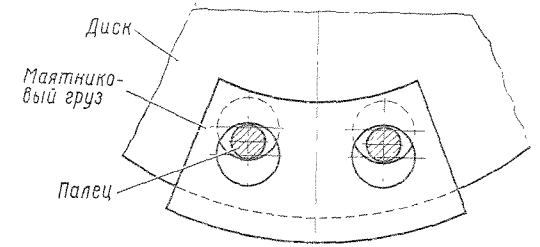


Рис. 64. Схема подвески маятниковых грузов

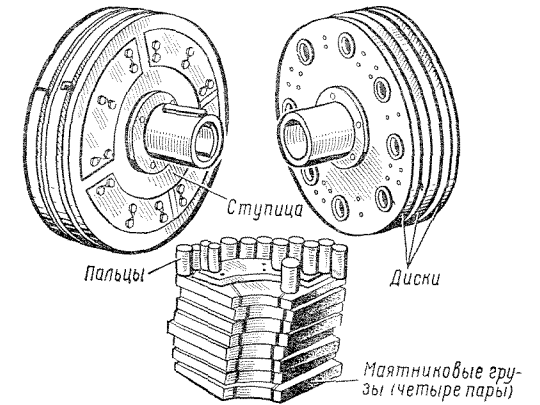


Рис. 65. Общий вид antivибратора и его деталей

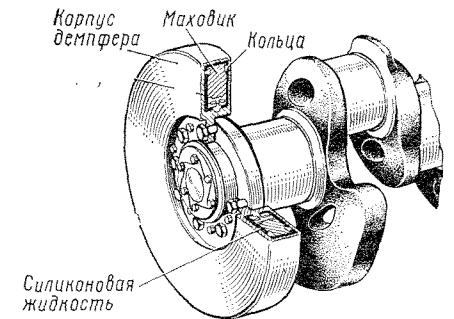


Рис. 66. Демпфер

лей, в частности дизелей 11Д45, 14Д40 и Д70.

Для гашения резонансных крутильных колебаний вала в дизелях применяются также *демпферы*, устройство которых основано на поглощении энергии колебаний путем трения между инерционной массой и вязкой жидкостью. Такие демпферы имеют двигатели внутреннего сгорания дизельных поездов постройки Венгерской Народной Республики, которые в большом количестве эксплуатируются на железных дорогах СССР.

На дизелях 5Д49 тепловозов 2ТЭ116 установлены *силиконовые* демпферы (рис. 66). Демпфер состоит из герметичного корпуса, внутри которого размещен маховик (масса). Маховик может свободно вращаться относительно корпуса, укреп-

ленного на конце коленчатого вала. Пространство между корпусом и маховиком заполнено силиконовой жидкостью, имеющей большую вязкость. Когда коленчатый вал вращается равномерно, маховик за счет сил трения в жидкости приобретает ту же одинаковую с валом частоту (скорость) вращения. А если возникнут крутильные колебания коленчатого вала? Тогда их энергия передается корпусу и будет поглощена силами вязкого трения, возникающими между корпусом и инерционной массой маховика.

На дизелях Д49 тепловозов ТЭП70 применен комбинированный антивибратор, состоящий из маятникового антивибратора и силиконового демпфера. Маятниковый антивибратор по устройству и принципу действия аналогичен антивибратору, установленному на дизелях 2Д100 и 10Д100.

ОКНА И КЛАПАНЫ

Нарушения во времени питания цилиндров дизеля воздухом или топливом, в очистке их от отработавших газов и т. п. немедленно вызовут неполное сгорание топлива и, как следствие, снижение экономичности, образование сажи (дымление), появление токсичных газов, отравляющих окружающую среду. Сажа оседает на деталях дизеля, сам дизель перегревается, мощность его уменьшится, расход топлива увеличится. Могут возникнуть и другие нежелательные явления.

В двухтактных дизелях с прямоточно-щелевой продувкой (например, в дизелях 10Д100 и 2Д100) газы из цилиндров удаляются через окна в цилиндрической втулке. Окна открываются самим поршнем (нижним). Газы, отработавшие в цилиндрах двухтактных дизелей, имеющих клапанно-щелевую продувку (например, в дизелях 14Д40, 11Д45), выпускаются с помощью клапанов. В соответствии со своим назначением они называются *выпускными*. В четырехтактных дизелях Д50, М750, Д49, Д70 и др. выпуск газов из цилиндров производится также с помощью выпускных клапанов.

А как заполняются цилиндры свежим воздухом? В четырехтактных дизелях (Д49, Д70, Д50, М750) это осуществляется через каналы в цилиндрической крышке, которые перекрываются *впускными* клапанами. В двухтактных дизелях 10Д100, 2Д100, 11Д45, 14Д40 и др. воздух в цилиндры поступает через окна в цилиндрической втулке; окна открываются и закрываются самим поршнем (на дизелях типа Д100 верхним поршнем). Механизм, который управляет движением впускных и выпускных органов и обеспечивает подачу воздуха и топлива в полном соответствии с установленным для данного дизеля *порядком* работы цилиндров (см. с. 80), называется *газораспределительным*. Таким образом, устройство механизма газораспределения дизелей определяется тактностью дизеля, а на двухтактных дизелях — типом продувки.

На рис. 67 показана наиболее простая схема клапанного механизма дизелей типа Д50; такую же схему имеет клапанный механизм дизелей тепловозов ЧМЭЗ и ЧМЭ2. Открытие клапанов в таких дизелях осуществляется распределительным валом, который приводится во вращение от коленчатого вала через зуб-

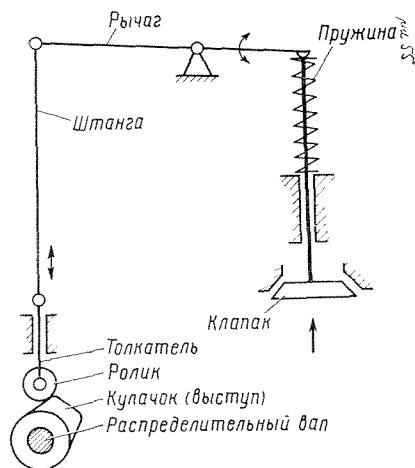


Рис. 67. Простейшая схема привода клапанного механизма

чатую передачу (рис. 68). Поскольку цикл работы каждого цилиндра четырехтактного дизеля совершается за два оборота коленчатого вала, то распределительный вал вращается в два раза медленнее коленчатого. Поэтому ведомое зубчатое колесо имеет в два раза больше зубьев, чем ведущее зубчатое колесо.

Как же преобразуется вращательное движение распределительного вала в поступательное движение клапанов? Деталью, с помощью которой создается движение в системе рычагов, являются *кулачки*. Кулачкам придают нужную форму, благодаря которой получают заданную продолжительность открытия впускного или выпускного клапана в каждом цилиндре в соответствии с диаграммой газораспределения. Поэтому профиль кулачка имеет важное значение.

Чем шире выступ кулачка, тем большее время управляемый им клапан остается открытым, давая проход свежему воздуху в цилиндр или отработавшим газам из цилиндра.

Чтобы улучшить очистку цилиндров от отработавших газов, на дизелях 2Д50, ПД1 и ПД2 постройки Пензенского дизельного завода выступ у выпускного кулачка сделан таким же широким, как и у впускного кулачка, и они имеют одинаковую форму.

Дизели ПД1, 2Д50 и Д50 имеют шесть цилиндров, поэтому на распределительном валу размещено шесть кулачков для впускных клапанов и шесть для выпускных. Каждый кулачок должен открывать и закрывать клапаны в соответствии с порядком работы цилиндров дизеля (1-3-5-6-4-2, см. с. 80). Это достигается за счет соответствующего расположения кулачков на валу по отношению друг к другу.

Во время работы дизеля ролики толкателей (см. рис. 67) катятся по криволинейной поверхности кулачков. От этого штанги периодически поднимаются и опускаются и с помощью рычагов открывают или закрывают впускные и выпускные клапаны. Рычаги привода клапанов размещены в специальной коробке, устанавливаемой на каждой крышке цилиндра (рис. 69). На дизелях типов Д70, М750 и др. с двухрядным V-образным расположением цилиндров имеются два распределительных вала, кулачки которых приводят в движение клапаны своего ряда цилиндров. На дизелях Д49 установлен один распределительный вал. Через слож-

ную систему рычагов он приводит в движение впускные и выпускные клапаны всех цилиндров дизеля.

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Начнем с того, что клапаны, открывшись, должны возвращаться в исходное положение. Для быстрого и плотного закрытия клапанов на их стержни надевают пружины. Что же мешает клапану постоянно следовать за кулачком? Ответ очень простой — силы инерции. Они стремятся на участке закрытия клапана оторвать ролик, а вместе с ним и другие детали механизма газораспределения от поверхности кулачка. В связи с этим на стержни клапанов ставят по две пружины: наружную большего диаметра и внутреннюю меньшего диаметра (рис. 70). Эти пружины должны преодолеть силы инерции и обеспечить неразрывность связи кулачка с клапаном, т. е. обеспечить безударную работу деталей привода и закрытие клапана в соответствии с профилем кулачка.

Для нормальной работы дизеля необходимо, чтобы каждый клапан в закрытом положении плотно прилегал к своему месту посадки (седлу) в крышке, не допуская пропуска воздуха при сжатии и пропуска газов в момент сгорания топлива в цилиндре. Для этого посадочные места на крышке цилиндра и клапана точно обрабатывают и притирают с помощью специальных паст.

В цилиндровой крышке дизелей Д49 и Д70 размещено по четыре клапана: два впускных и два выпускных.

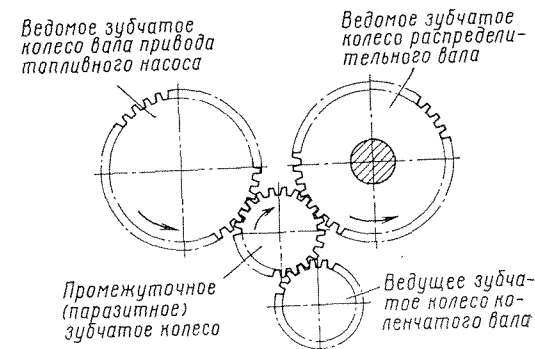


Рис. 68. Схема зубчатой передачи

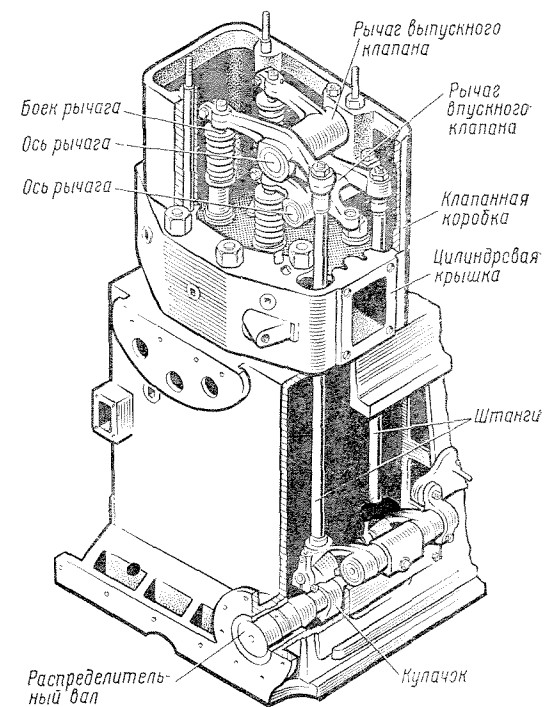


Рис. 69. Привод клапанов дизелей ПД1, 2Д50, Д50

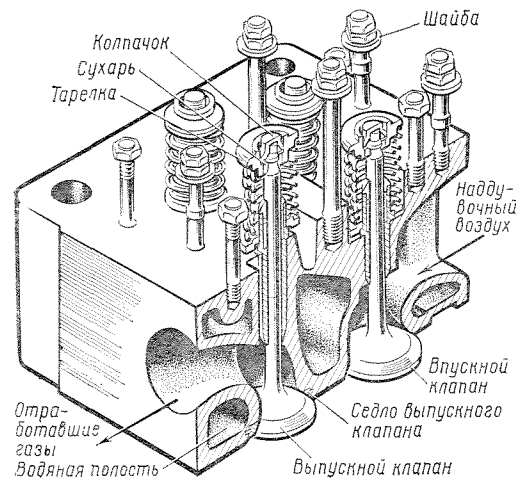


Рис. 70. Цилиндрическая крышка тепловозных дизелей типа Д49

Для чего установлено не по одному, а по два клапана? Главное требование, которое предъявляется к клапанам дизеля, — это создание наилучших условий для впуска воздуха и выпуска газов. Если при впуске воздух, проходя клапан, будет испытывать большое сопротивление, то заряд воздуха в цилиндре и давление в начале сжатия уменьшаются, что невыгодно. При выпуске, если проходное сечение выпускного клапана будет малым, цилиндр не успеет достаточно хорошо очиститься от отработавших газов. Вот почему проходные сечения клапанов должны быть максимальными. Эта цель и достигается при увеличении числа клапанов. А что, если увеличить диаметр выпускного клапана? Тогда, казалось бы, вместо двух можно ограничиться одним клапаном. Однако в этом случае температура тарелки клапана по-

высится, так как ухудшатся условия отвода тепла (возрастет термическое сопротивление тарелки клапана). Естественно, что в таких условиях работа клапана усложнится и его придется изготовлять из более жаростойких материалов. Не случайно поэтому на некоторых зарубежных тепловозных дизелях в одной цилиндрической крышке размещают даже шесть клапанов (три впускных и три выпускных). Известны, однако, и дизели, имеющие только один впускной и один выпускной клапан.

Клапаны работают в неблагоприятных условиях, так как подвержены сильному нагреву (до 600—700° С). Особенно сильно нагреваются выпускные клапаны, так как они омываются газами в момент выпуска из цилиндра, поэтому эти клапаны изготовлены из так называемой жаростойкой стали, хорошо противостоящей высоким температурам.

Когда клапан закрыт, между его колпачком и бойком рычага, перемещающего клапан, должен оставаться небольшой зазор. Его величина на холодном дизеле должна находиться в пределах 0,4 — 0,5 мм. Для чего нужен зазор? Известно, что при нагревании тела расширяются. Так, например, между рельсами железнодорожного пути оставляют зазоры. В жаркие летние дни зазоры едва заметны, зимой же в сильные морозы они увеличиваются. Если соединить рельсы вплотную, то, удлиняясь при нагревании, они изогнутся. То же может получиться с деталями привода клапанов, которые нагреваются при работе. Значит, зазор нужен для того, чтобы в моменты, когда ролик на-

ходит на затылочной части кулачка, клапаны имели возможность полностью закрыть выпускные и всасывающие отверстия в крышке цилиндра.

Если зазора не будет, то детали привода после нагрева удлинятся и не дадут пружинам клапана закрыть его, что приведет к нарушениям в рабочем процессе дизеля.

Правильная установка величины зазора при регулировке имеет очень большое значение.

Чрезмерное увеличение зазора также нежелательно потому, что боек бу-

дет сильно ударять по колпачку клапана, вызывая быстрый износ деталей привода.

В дизелях 11Д45, Д49 и др. необходима величину зазора в зависимости от температуры деталей привода автоматически поддерживает особое устройство — гидротолкатель, который к тому же уменьшает шум при работе газораспределительного механизма.

Рабочим телом гидротолкателя служит масло, которое поступает из масляной системы дизеля через невозвратный клапан.

НАЗНАЧЕНИЕ И СХЕМЫ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ ДИЗЕЛЯ

На топливную систему возлагаются задачи: очищать топливо от механических примесей, подавать (впрыскивать) его в цилиндры в нужный момент в мелкораспыленном виде и обеспечивать распределение впрыснутого горючего по всему объему камеры сгорания для лучшего перемешивания с воздухом, а также отмеривать (регулировать) количество топлива, вводимого в цилиндры. Толь-

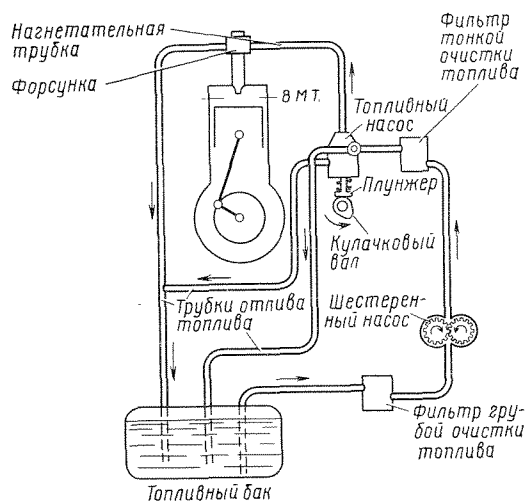


Рис. 71. Схема топливной системы дизеля

ко при исправной топливной аппаратуре дизель работает экономично, устойчиво, без перебоев и развивает необходимую мощность.

Основные элементы топливной аппаратуры — насосы высокого давления, форсунки, фильтры, нагнетательные трубопроводы — вместе с топливным баком и подкачивающим насосом образуют топливную систему. Знакомство с топливной аппаратурой начнем с рассмотрения схемы топливной системы (рис. 71).

Посмотрим, как осуществляется подача топлива в цилиндры. Топливо из бака подается к топливному насосу высокого давления вспомогательным шестеренным насосом. По пути из бака оно очищается в двух фильтрах: предварительной (грубой) очистки и более тщательной (тонкой) очистки. Удаление мельчайших твердых частиц, разными путями попавших в топливо, уменьшает износ и, следовательно, увеличивает срок службы высокоточных (прецизионных) деталей насоса и форсунки.

Топливный насос высокого давления приводится в действие кулачком кулачкового вала, соединенного зубчатой передачей с коленчатым валом дизеля. В четырехтактном дизеле кулачковый вал топливных насосов так

же, как и распределительный вал газораспределения, вращается вдвое медленнее коленчатого вала, в двухтактном — с той же скоростью. При набегании выступа кулачка на плунжер насоса он (плунжер), перемещаясь, выталкивает топливо по нагнетательной трубке к форсунке, из которой оно под давлением в несколько сотен атмосфер впрыскивается в камеру сгорания дизеля. От топливного насоса и форсунки, как видно из схемы, отходят трубки, по которым сливается в бак топливо, просочившееся через зазоры между деталями. Шестеренным насосом топлива подается больше, чем впрыскивается в цилиндр. Избыток топлива также по трубопроводу сливается в топливный бак.

Запас топлива в баке по мере его расходования обычно через 1000 км пробега тепловоза периодически пополняется, когда тепловоз находится в пунктах экипировки. Вместимость топливного бака мощных магистральных тепловозов доходит до 5000—6000 л.

Прежде чем перейти к описанию топливного насоса и форсунки, выясним, для чего нужно распыливать топливо при впрыске в цилиндры.

РАСПЫЛИВАНИЕ ТОПЛИВА

Распыливание представляет процесс раздробления на мельчайшие частицы порции топлива, впрыскиваемого в цилиндр форсункой. При распыливании топлива общая поверхность его, соприкасающаяся с воздухом, резко возрастает. Для примера возьмем каплю дизельного топлива диаметром 0,35 мм и раздробим ее так, чтобы из

нее образовались мельчайшие капельки диаметром 0,01 мм. Число капелек составит примерно 43 000. Допустим, что все капельки имеют форму шара. Определим поверхность одной капли диаметром 0,35 мм.

Геометрия учит, что для определения полной поверхности шара нужно величину его диаметра возвести в квадрат и умножить на число 3,14 (число π). Следовательно, поверхность капли, имеющей диаметр 0,35 мм, будет равна $0,35^2 \times 3,14 = 0,122 \times 3,14 = 0,382 \text{ мм}^2$, а поверхность маленькой капельки с диаметром 0,01 мм составит $0,01^2 \times 3,14 = 0,0001 \times 3,14 = 0,000314 \text{ мм}^2$. Поверхность же всех 43 000 капелек диаметром 0,01 мм будет равна $43\,000 \times 0,000314 = 43 \times 0,314 = 13,50 \text{ мм}^2$, в то время как поверхность одной капли диаметром 0,35 мм равна только 0,382 мм². Это значит, что при дроблении капель диаметром 0,35 мм общая поверхность их резко возрастает. В нашем случае образование капелек диаметром 0,01 мм из капли диаметром 0,35 мм сопровождается возрастанием общей поверхности более чем в 35 раз.

Чем меньше диаметр капель топлива, тем быстрее они нагреваются, лучше смешиваются с кислородом горячего воздуха, а это улучшает их сгорание. Но очень маленькая капля будет иметь небольшую кинетическую энергию. Это затруднит забрасывание частиц топлива в удаленные от форсунки участки пространства цилиндра. Поэтому наиболее выгодная степень распыленности топлива определяется для каждого типа дизеля. В цилиндре тепловозного дизеля в зави-

симости от развиваемой мощности, числа цилиндров и частоты вращения коленчатого вала за один цикл впрыскивается от 0,07 до 1,0 г топлива. Струя топлива, впрыскиваемого в цилиндр дизеля, распадается на миллиарды капель, превращаясь в пылеобразное облачко (рис. 72).

В обычных условиях (при малых давлениях и в неограниченный промежуток времени) осуществить распыливание жидкости не так уж сложно, примером чего может служить обыкновенный пульверизатор. Но в условиях дизеля задача осложняется тем, что распыливание нужно осуществить в плотную среду *сжатого* воздуха за тысячные доли секунды (0,002—0,008 с), которые отведены для этого. Начало и конец распыливания должны быть резкими, четкими, иначе топливо будет выходить из отверстий форсунки с малой скоростью (подтекать). В этом случае топливо плохо сгорает и превращается в нагар, который будет оседать вокруг распыливающих отверстий форсунки. Образовавшийся нагар, постепенно нарастая, затруднит впрыскивание топлива и его перемешивание с воздухом, что неизбежно приведет к ухудшению работы дизеля и увеличению расхода горючего.

Что же нужно сделать, чтобы хорошо распылить топливо за весьма короткий промежуток времени?

Надо топливо подавать через фор-



Рис. 72. Струя (факел) топлива, впрыскиваемого в камеру сгорания

сунки под высоким давлением 19,6—117 МПа (200—1200 кгс/см²). Благодаря такому давлению скорость истечения топлива через распыливающие отверстия возрастает и процесс впрыска происходит в очень короткий промежуток времени. Скорость струи топлива, выходящей из форсунки, достигает 250—350 м/с. Для сравнения напомним, что скорость звука 330 м/с. Большая скорость способствует дроблению струи в камере сгорания и увеличивает дальность полета отдельных частиц топлива («дальнобойность» струи), которые движутся в плотной среде сжатого воздуха и должны распределиться по всему объему камеры. Давление впрыска рассчитывается таким образом, чтобы обеспечить необходимую «дальнобойность» струи, но при этом топливо не должно попадать на стенки цилиндра, чтобы не охлаждать их.

Таким образом, насосы, подающие топливо в цилиндры дизеля, должны создавать высокое давление.

ТОПЛИВНЫЕ НАСОСЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Чтобы лучше понять устройство и принцип действия топливных насосов высокого давления, рассмотрим сначала принципиальную схему насоса (рис. 73). Внутри неподвижной гильзы помещен подвижной плунжер. Плунжер — это поршень, длина которого значительно превышает диаметр. Вместе эти детали — гильза и плунжер — образуют *плунжерную пару*. Плунжер подобран к гильзе или притерт к ее стенкам так плотно, что утечки топлива между ними почти не про-

исходит. Зазор между плунжером и гильзой не превышает обычно 1,5—4 мкм, что в 50—100 раз меньше диаметра волоса человека. Трубопровод, подходящий к окну А гильзы, всегда заполнен топливом.

Проследим, как плунжер такого насоса подает топливо. Когда плунжер находится в нижнем положении, топливо через окно А заполняет пространство над плунжером (рис. 73, а). При вращении кулачкового вала привода топливного насоса кулачок набегает на ролик толкателя (рис. 73, б), плунжер начинает двигаться вверх и верхней кромкой а постепенно закрывает окно А. При этом нагнетательный клапан, прижатый к своему седлу пружиной, испытывает снизу давление топлива, вытесняемого плунжером, а сверху — усилие пружины и давление топлива, оставшегося в трубопроводе. Пока усилие на клапан, создаваемое давлением топлива, меньше усилия, создаваемого пружиной, клапан закрыт и часть топлива, не имея другого выхода, устремится из надплунжерного пространства обратно в окно А (см. рис. 73, б). Когда плунжер кромкой а полностью закроет окно А (рис. 73, в), вытекание топлива через него прекратится. Примерно с этого момента при продолжающемся ходе плунжера вверх начнется нагнетание: давление топлива преодолет усилие пружины нагнетательного клапана, он откроется, и топливо будет через трубопровод поступать в форсунку до тех пор, пока плунжер не достигнет своего крайнего положения (рис. 73, г). Когда плунжер начинает двигаться вниз, прекращается подача топлива. Нагнетательный клапан под

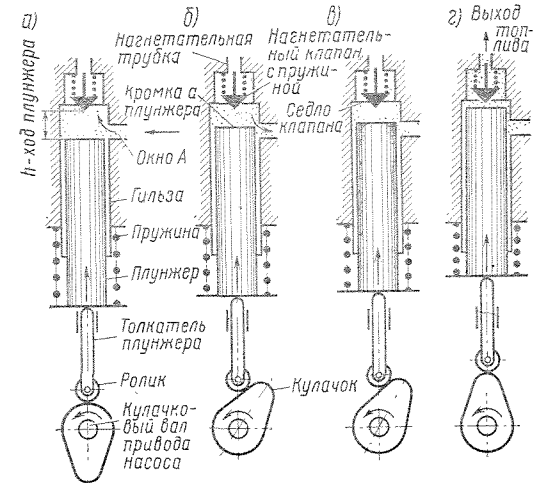


Рис. 73. Схема действия топливного насоса высокого давления

действием пружины снова садится на свое седло. Сбегая с выступа кулачка, ролик вместе с толкателем и плунжером возвращается в первоначальное положение (см. рис. 73, а).

Если бы дизель всегда работал только на одной постоянной мощности, то рассмотренный нами топливный насос вполне удовлетворял бы требованиям работы на дизеле, так как за один ход плунжера он подает одно и то же количество топлива, необходимое для получения нужной мощности. Количество топлива, подаваемого таким насосом, постоянно потому, что высота кулачка, а следовательно, и ход плунжера являются величинами постоянными, а начало и конец нагнетания топлива, определяемые ходом плунжера в процессе работы, как мы видим, при такой конструкции не могут быть изменены.

Однако условия работы тепловоза, как уже указывалось в гл. I, требуют, чтобы мощность дизеля могла изменяться. Дизель, как и всякий транспортный двигатель внутреннего сгорания, должен быть приспособлен к переменному режиму работы локомотива. Мощность дизеля зависит от количества впрыскиваемого в цилиндры топлива. Чем больше топлива поступает в цилиндр во время рабочего хода, тем большую мощность будет развивать дизель. Поэтому нужно чтобы топливный насос при необходимости позволял изменять количество топлива, подаваемого в течение одного хода плунжера в каждый из цилиндров дизеля, соответственно его нагрузке.

В самом деле, при наибольшей мощности 2200 кВт (3000 л. с.) и максимальной частоте вращения коленчатого вала (850 об/мин) дизель 10Д100 расходует в среднем 8,25 кг топлива в минуту (495 кг в час). Очевидно, за один оборот вала (дизель двухтактный) расход топлива всеми десяти цилиндрами дизеля составит $8,25:850=0,0097$ кг.

Подача топлива в цилиндр одним насосом за один оборот вала будет в 20 раз меньше (на каждый цилиндр

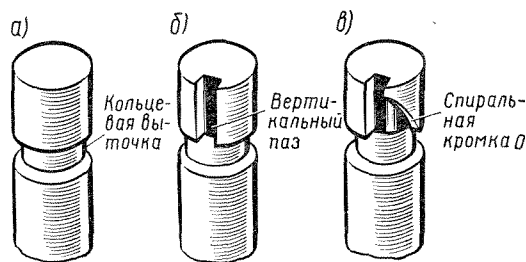


Рис. 74. Форма головки плунжера

установлены два топливных насоса), т. е. 0,00048 кг, или 0,48 г. При минимальной подаче топлива, когда коленчатый вал делает 400 об/мин и вращается вхолостую, подача топлива одним насосом может сократиться до 0,07 г, т. е. за цикл почти в семь раз меньше, чем в первом случае (при 850 об/мин).

Каким же образом можно изменить (регулировать) количество подаваемого топлива, не усложняя слишком конструкцию топливного насоса? Наиболее просто изменение подачи топлива в таком диапазоне решается путем изменения активного хода плунжера. Для этого конструкцию верхней части плунжера, называемую *головкой*, надо изменить (рис. 74). На некотором расстоянии от верхней кромки плунжера сделаем поперечную кольцевую выточку (рис. 74, а). Теперь как показано на рис. 74, б, в головке плунжера прорежем и вертикальный сквозной паз. После этого часть металла головки уберем таким образом, чтобы на ней образовался специальный косой срез—со спиральной (винтовой) кромкой *O*. В результате головка плунжера примет вид, изображенный на рис. 74, в.

Если окрасить головку плунжера и катить ее по плоскости, то на ней останется след от поверхности (и кромок) плунжера. Этот след является поверхностью цилиндра, развернутого на плоскости, или просто разверткой (рис. 75). Развертка рабочей поверхности головки плунжера представляет собой прямоугольник, один угол которого срезан. Срез соответствует спиральной кромке *O* и является прямой линией *cd*.

Спиральная кромка *O* плунжера имеет большое значение, так как она является регулирующей. С ее помощью можно изменять количество топлива, подаваемого плунжером. Посмотрим, как это происходит. Количество подаваемого топлива зависит от положения, которое занимает регулирующая кромка *O* относительно окна *A* (рис. 76) гильзы плунжера. В самом деле, топливо начнет подаваться после того, как верхний торец плунжера перекроет окно *A*, а прекращение подачи соответствует моменту, когда плунжер, продолжая двигаться вверх, своей спиральной кромкой открывает это окно. Нетрудно, однако, сообразить, что если наш плунжер будет лишен возможности поворачиваться вокруг своей вертикальной оси, то кромка *O* никогда не сможет регулировать величину подачи топлива, так как она будет открывать окно *A* одним и тем же участком. Следовательно, при одном поступательном движении плунжера спиральная кромка *O* не решает задачи.

Для того чтобы изменить подачу топлива насосом, нужно заставить плунжер повернуться на некоторый угол так, чтобы против окна оказался другой участок головки. Задача осложняется тем, что повернуть плунжер нужно «на ходу», т. е. во время возвратно-поступательного перемещения заставить плунжер участвовать одновременно в двух разных движениях: поступательном (вверх, вниз вдоль оси *B—B*, рис. 76) и вращательном (вокруг оси *B—B*).

Как мы уже видели, поступательное движение плунжеру насоса сообщает кулачок (см. рис. 73). Поворот

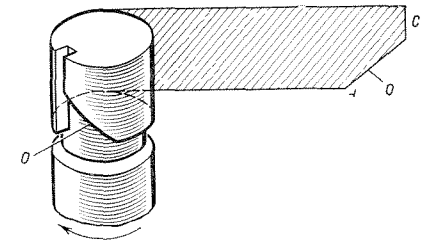


Рис. 75. Развертка головки плунжера

же его осуществляется с помощью специального механизма через выступ (поводок) плунжера. На рис. 76 показаны различные положения плунжера, соответствующие нулевой, частичной и полной подаче топлива плунжером.

Чтобы лучше понять, как происходит изменение количества подаваемого топлива с помощью спиральной кромки, зададим себе такой вопрос: при каком положении плунжера насос вовсе не будет подавать топливо? Мы уже знаем, что вертикальный паз соединяет надплунжерное пространство с кольцевой выточкой. Следовательно, топливо всегда заполняет не только надплунжерное пространство, но и вертикальный паз и кольцевую выточку. Если повернуть плунжер так, что вертикальный паз расположится прямо против окна *A* в гильзе, то, как это видно из рис. 76, а, при движении плунжера вверх топливо просто будет вытекать (перепускаться) через окно *A* и ни одна капля его не попадет в нагнетательный трубопровод.

Теперь повернем плунжер вокруг оси *B—B* по часовой стрелке так, чтобы окно *A* было изолировано от вертикального паза (рис. 76, б). В этом случае хотя в пазу и есть топливо, но

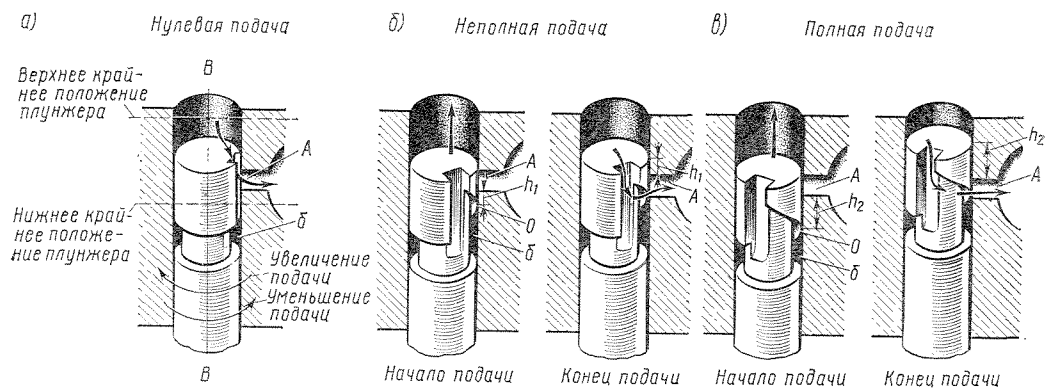


Рис. 76. Схемы различных положений плунжера в гильзе

попасть в окно *A* оно может только, пройдя через полость *б*, когда кромка *O* приоткроет окно *A*. Плунжер при этом поднимется на величину h_1 , объем вытесненного в цилиндр топлива будет равен площади поперечного сечения плунжера, умноженной на расстояние h_1 . Дальнейшее движение плунжера вверх происходит вхолостую, так как вытесняемое топливо перепускается через окно *A*.

Если плунжер повернуть еще больше (рис. 76, *в*), то полезный ход его увеличится и станет равным h_2 . Соответственно увеличится и объем топлива, вытесненного плунжером и поданного через форсунку в цилиндр. Таким образом, каждому значению мощности дизеля соответствует определенное положение спиральной кромки *O* плунжера относительно окна гильзы. При увеличении мощности дизеля плунжер будет поворачиваться по часовой стрелке, и подача топлива увеличится до нужной величины. Уменьшение нагрузки будет сопровождаться поворотом плунжера в обратном

направлении. Чем больше угол, на который повернется плунжер по часовой стрелке, тем позднее спиральная кромка откроет окно *A*, тем больше топлива будет подано плунжером за один ход и тем меньше топлива уйдет обратно через окно *A*.

Итак, изменение величины подачи топлива производится поворотом плунжера. Практически для изменения подачи топлива от нуля до максимума плунжер достаточно повернуть на $1/4$ оборота.

Возникает вопрос: каким же образом производится поворот плунжера вокруг вертикальной оси *B—B* во время его хода? Ведь число ходов плунжера в современных насосах доходит до 1000 в минуту и более.

Рассмотрим вкратце конструкцию секции насоса (рис. 77), установленного на дизелях Д50, 2Д50, ПД1. Этот насос имеет шесть секций (по числу цилиндров дизеля), которые устроены одинаково. Главными деталями каждой секции, обслуживающей отдельную форсунку, являются зна-

комая нам плунжерная пара — плунжер и его гильза, а также нагнетательный клапан с пружиной и седлом.

Пружина прижимает клапан к седлу. Гильза плунжера укреплена в корпусе секции неподвижно, причем седло нагнетательного клапана опирается на верхний торец гильзы. Соприкасающиеся поверхности седла клапана и гильзы плунжера притираются, поэтому в этом месте создается надежное уплотнение и пропуск топлива при работе исключается.

Из предыдущего известно, что изменение подачи топлива насосом достигается поворотом плунжера. Конструктивно это выполнено так. На гильзу плунжера снизу надевается еще одна гильза, называемая поворотной. Чтобы эту гильзу можно было поворачивать, она имеет сверху зубчатый венец (сектор). Сектор находится в зацеплении с зубчатой рейкой, соединенной механизмом (состоящим из рычагов и тяг) с регулятором частоты вращения коленчатого вала. При перемещении рейки ее зубья заставляют поворачиваться поворотную гильзу. А как передается вращение плунжеру насоса?

На рис. 77 видно, что плунжер насоса снабжен в нижней части выступом-поводком, похожим на прямоугольную пластинку. В свою очередь поворотная гильза имеет здесь прямоугольные прорезы (пазы), в которые входит выступ-поводок плунжера. Поворачиваясь, гильза упирается в поводок плунжера, заставляя и его поворачиваться. Но мы знаем, что плунжер должен поворачиваться «на ходу», т. е. он должен одновременно

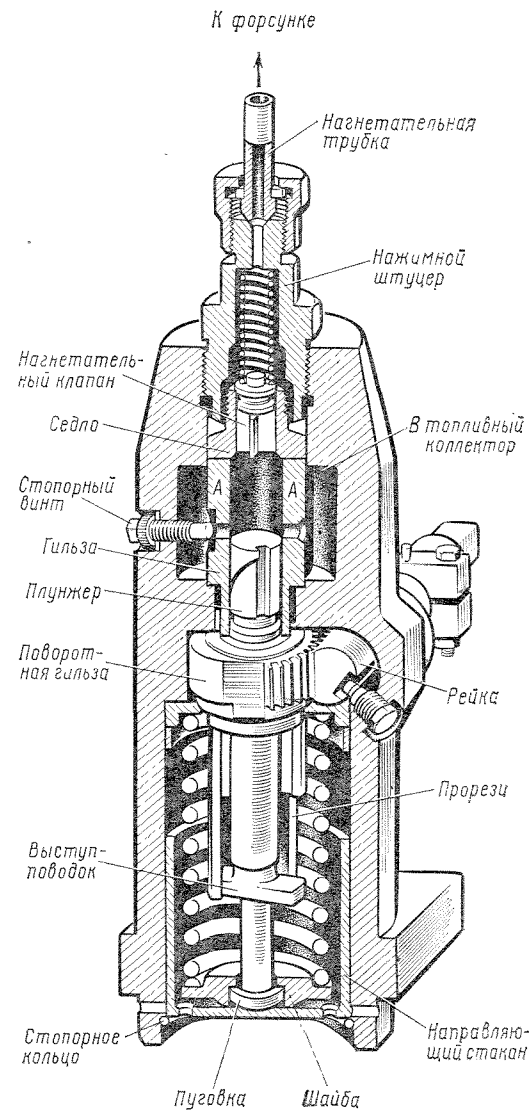


Рис. 77. Разрез секции топливного насоса тепловозного дизеля Д50

свободно перемещаться вверх и вниз. Не препятствуют ли этому перемещению вырезы в поворотной гильзе? Нет, этого не происходит, так как пазы сделаны достаточно глубокими и позволяют плунжеру вместе с его выступом свободно перемещаться, не выходя из них.

В зависимости от направления хода зубчатой рейки поворотная гильза поворачивается в одну или другую сторону. Нижний конец плунжера, как это видно из рис. 77, оканчивается пуговкой, на которую сверху опирается шайба. Пуговка упирается в дно стакана — детали, напоминающей обычный стакан. Пружина прижимает плунжер ко дну стакана. Перемеще-

ние стакана ограничивается стопорным кольцом. Подвод топлива в надплунжерное пространство осуществляется через оба окна А в гильзе плунжерной пары, а отсечка (перепуск) — через одно. Как видно из рис. 78, все шесть секций рассмотренного насоса установлены на одном картере, в котором смонтирован и кулачковый вал. Картер служит остовом всего насоса. Привод кулачкового вала от коленчатого вала дизеля осуществляется с помощью цилиндрических зубчатых колес. В отличие от рассмотренной конструкции секции топливных насосов других дизелей, например типа 10Д100, не имеют отдельного общего остова и укрепляются непосред-

венно в блоке дизеля. На этих дизелях всего имеется 20 индивидуальных топливных насосов (по два насоса на один цилиндр). Кроме того, их плунжеры в отличие от плунжеров насосов дизелей типа Д50 при нагнетании топлива движутся *сверху вниз*, так как кулачковый вал расположен также в блоке дизеля, но выше плоскости установки насосов на расстоянии примерно 32 см. Чтобы передать движение от кулачкового вала плунжеру индивидуального топливного насоса, приходится между ними (валом и насосом) размещать особое устройство, именуемое *толкателем* (рис. 79). Главными деталями его являются шток, ролик и возвратная пружина. Кулачки кулачкового вала нажимают на головку штока через ролик; при этом нижний конец штока (наконечник) давит на торец хвостовика плунжера топливного насоса. Обратное движение штока (подъем) осуществляется возвратной пружиной. Корпус топливного насоса и корпус толкателя соединены между собой и с блоком дизеля двумя болтами.

ФОРСУНКИ

Сами по себе топливные насосы только нагнетают топливо под большим давлением, а распыливание осуществляется форсунками. Форсунка является неотъемлемым спутником топливного насоса, и работают они совместно. Насос соединяется с форсункой нагнетательной трубкой. Чем короче трубка, тем лучше, так как впрыск (подача) микроскопических порций топлива становится более точным.

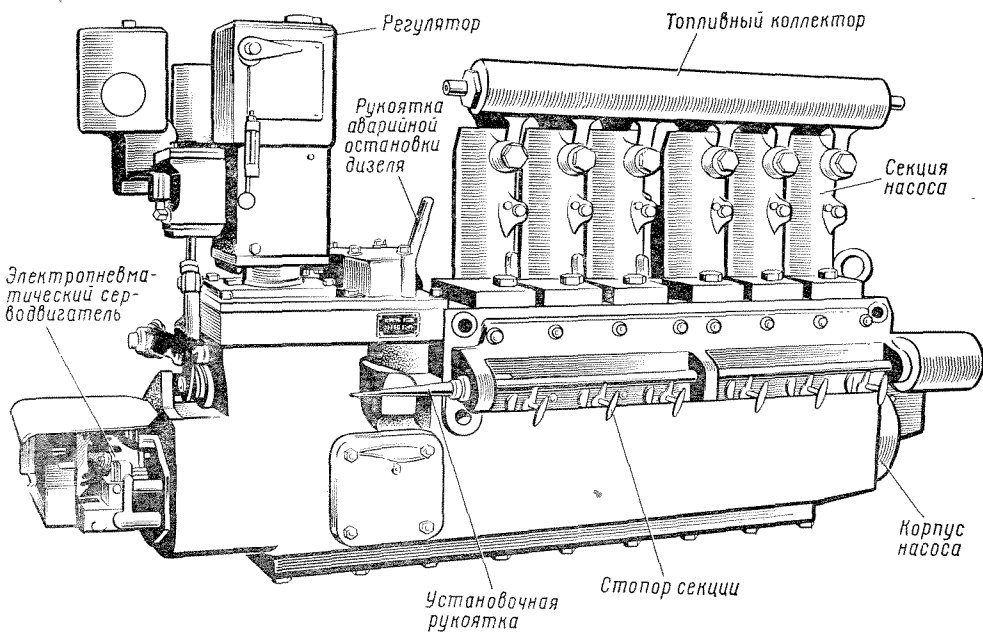


Рис. 78. Общий вид топливного насоса дизелей Д50

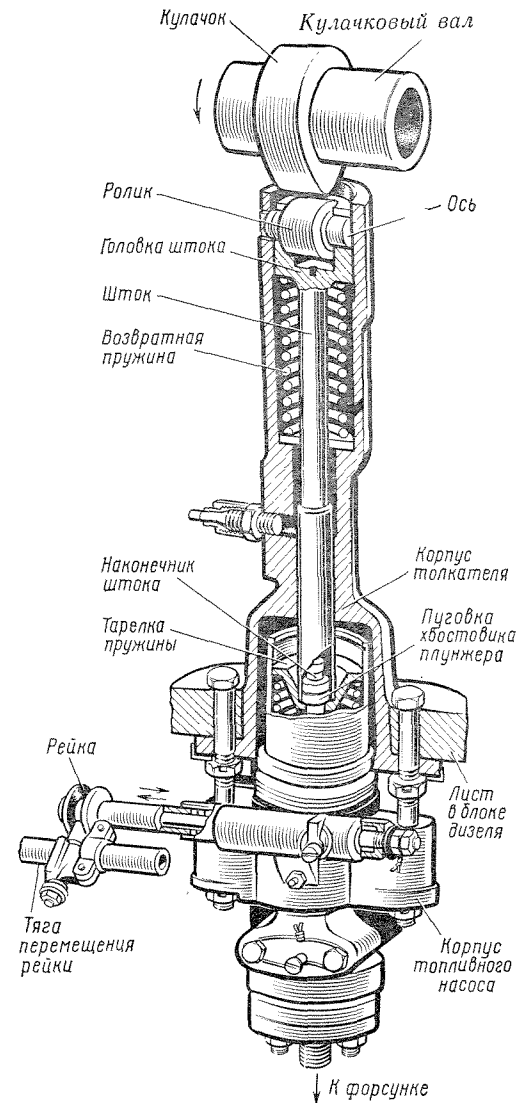


Рис. 79. Толкатель и топливный насос тепловозных дизелей 10Д100, 2Д100

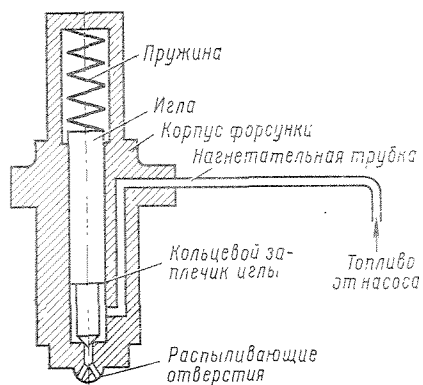


Рис. 80. Схема устройства форсунки закрытого типа

Преимущественное распространение на тепловозных дизелях получили форсунки закрытого типа, имеющие распылитель с запорной иглой. Они называются *закрытыми* потому, что запорная игла после впрыска топлива разобщает цилиндр от объема топливного трубопровода высокого давления (рис. 80), выдерживающей большие давления, топливный насос подает топливо к форсунке. Однако сразу к распыливающим отверстиям топливо пройти не может, так как путь ему преграждает игла, конус которой плотно притерт к седлу корпуса распылителя форсунки.

Для впрыска топлива необходимо приподнять иглу, прижатую пружиной. Это осуществляется за счет высокого давления топлива. Впрыскивание происходит, когда давление топлива, действующее на кольцевой заплечик иглы, создает усилие, достаточное для сжатия пружины при подъеме иглы. Тогда топливо со значитель-

ной скоростью устремляется в цилиндр дизеля через распыливающие отверстия, расположенные за иглой в нижней части корпуса распылителя (соплового наконечника). Начальное давление впрыска, необходимое для поднятия иглы и определяемое затяжкой пружины, обычно равно 19,6—31,3 МПа (200—320 кгс/см²).

Едва игла оторвется от своего седла, как действующее на нее усилие со стороны топлива возрастает. Дело в том, что при закрытом положении иглы давление топлива действует не на всю поверхность конусной части. Когда игла начинает пропускать топливо к распыливающим отверстиям, общее усилие на нее возрастает за счет увеличения площади, на которую действует давление топлива (рис. 81).

После прекращения подачи топлива насосом давление падает, и игла под воздействием пружины тотчас опускается. При быстром закрытии (отсечке) возможность подтекания, просачивания топлива из распылителя форсунки исключается. Этому способствует также следующая особенность работы топливного насоса.

В момент отсечки (прекращении подачи топлива плунжером) на какое-то время нагнетательная полость топливного насоса, нагнетательная трубка и полость форсунки соединяются через окно А (см. рис. 73) с полостью низкого давления. За счет этого давление топлива перед иглой форсунки резко падает. Это положительно сказывается на четкой, без подтекания работе форсунки.

Подъем иглы форсунки в момент впрыска обычно ограничивается упором (ограничителем) и в тепловоз-

ных дизелях не превышает 0,7 мм. Форсунки дизелей типов Д100 и Д50 имеют, например, максимальный подъем иглы, равный 0,45 мм (рис. 82). Несмотря на такую малую величину подъема, площадь проходного сечения под конусом иглы в несколько раз больше суммарной площади распыливающих отверстий.

Для равномерного распределения топлива по камере сгорания имеется несколько распыливающих отверстий. Форсунка дизеля 10Д100 имеет три отверстия диаметром 0,56 мм каждое, форсунки дизелей 11Д45 и Д50 — восемь и девять отверстий соответственно диаметром 0,4 и 0,35 мм.

На дизелях 10Д100 в каждом цилиндре имеются две форсунки, расположенные одна против другой. Для большей плотности, чтобы в местах их соединения с цилиндром не просачивались ни газы, ни охлаждающая цилиндры вода, форсунки крепятся с помощью промежуточной (переходной) детали, называемой *адаптером*.

Главной деталью форсунки (см. рис. 82) является распылитель, состоящий из корпуса распылителя и иглы, которая притирается к корпусу распылителя по цилиндрической и конической (запирающей) поверхностям. Этим достигается плотность этой пары и легкость перемещения иглы в распылителе. Игла прижимается к конусу корпуса распылителя усилием пружины, которое передается через тарелку, толкатель и ограничитель.

Топливо, поступающее от насоса, проходит щелевой фильтр, задерживающий случайно попавшие в топливо крупные частицы грязи, и направляется по пазам и каналам в полость,

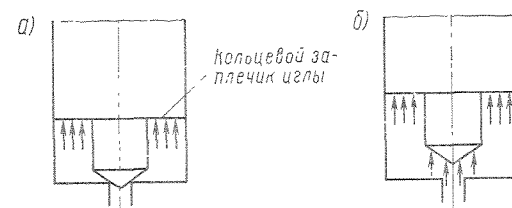


Рис. 81. Усилия, действующие на иглу форсунки дизелей типа Д100:

а — при закрытом; б — при открытом положении иглы

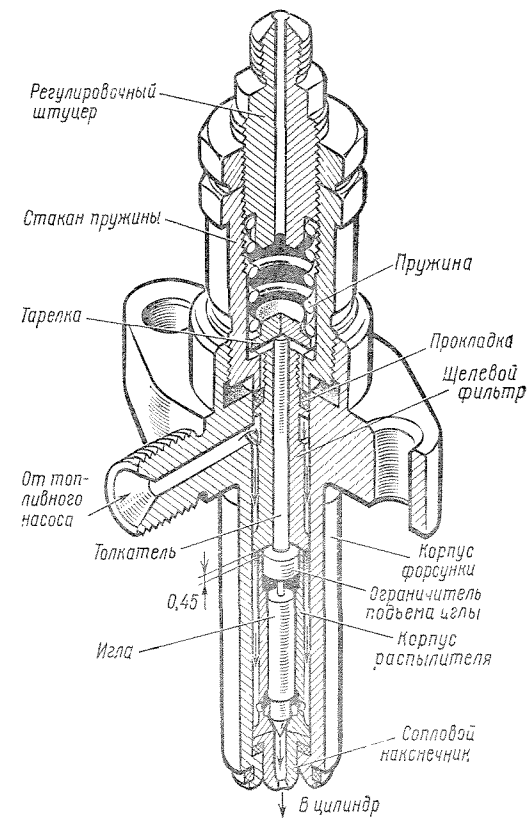


Рис. 82. Разрез форсунки дизелей 10Д100, 2Д100

окружающую нижний конец иглы. Далее форсунки работают так, как описано выше.

Давление топлива, которое испытывают распылители, как подчеркивалось выше, может превышать 98 МПа (1000 кгс/см²), а промежутики времени, в течение которого происходит впрыск горючего под таким давлением, чрезвычайно малы: на впрыск отводятся тысячные доли секунды. В остальное время между конусом иглы и конусом корпуса распылителя не должно просочиться в цилиндр дизеля ни капли топлива! Лишь несколько капель в минуту может проникнуть в отлив через зазор между их цилиндрическими поверхностями. Чтобы игла не «заедала» и при этом узкий пояснок конуса иглы плотно прилегал к такому же пояску на конусе корпуса распылителя, между этими деталями все же должен быть зазор, но в пределах 0,002—0,004 мм (2—4 мкм). Как же решается эта в высшей степени трудная задача?

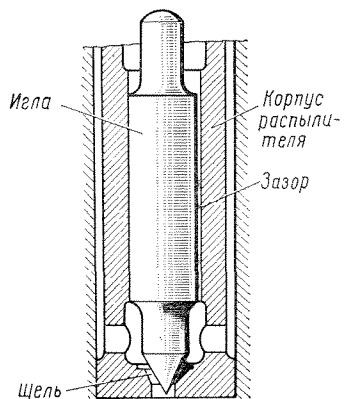


Рис. 83. Несоосность расположения поверхности иглы и поверхности корпуса

Пока еще распылители изготавлиются с недостаточной точностью. Несоосность цилиндрических и конических поверхностей иглы и корпуса (рис. 83) и их некруглость могут быть и не более 2—4 мкм, но для каждой детали в отдельности. В сумме же из-за неточности изготовления обеих деталей может возникнуть положение, показанное на рисунке. Мы видим, что цилиндр и конус иглы сдвинулись и упираются в разные стороны цилиндра и корпуса распылителя. В результате возникает щель (на рисунке изображена в увеличенном виде), через которую топливо все время будет протекать в цилиндр дизеля. Для того чтобы обойти эту трудность, в тепловозных дизелях в настоящее время поступают так. На конус иглы накладывают абразивный материал (пасту) и на доводочном станке притирают иглу с корпусом до тех пор, пока часть металла конусов сточится настолько, что будет обеспечен контакт по всей окружности сопрягаемых поверхностей (поясков). Беда, однако, в том, что в процессе работы этот контакт довольно быстро нарушается. Тогда приходится снимать форсунки с дизеля, проверять, как они распыливают топливо, и снова притирать поверхности иглы к корпусу. Это отнимает много времени.

А что если иглу и корпус распылителя изготовить (на точных станках) так, чтобы максимальные допуски на несоосность и некруглость обеих деталей в сумме были меньше, чем зазор (см. рис. 83) в цилиндрической части распылителя? Тогда станет возможным иглу сразу вставить в кор-

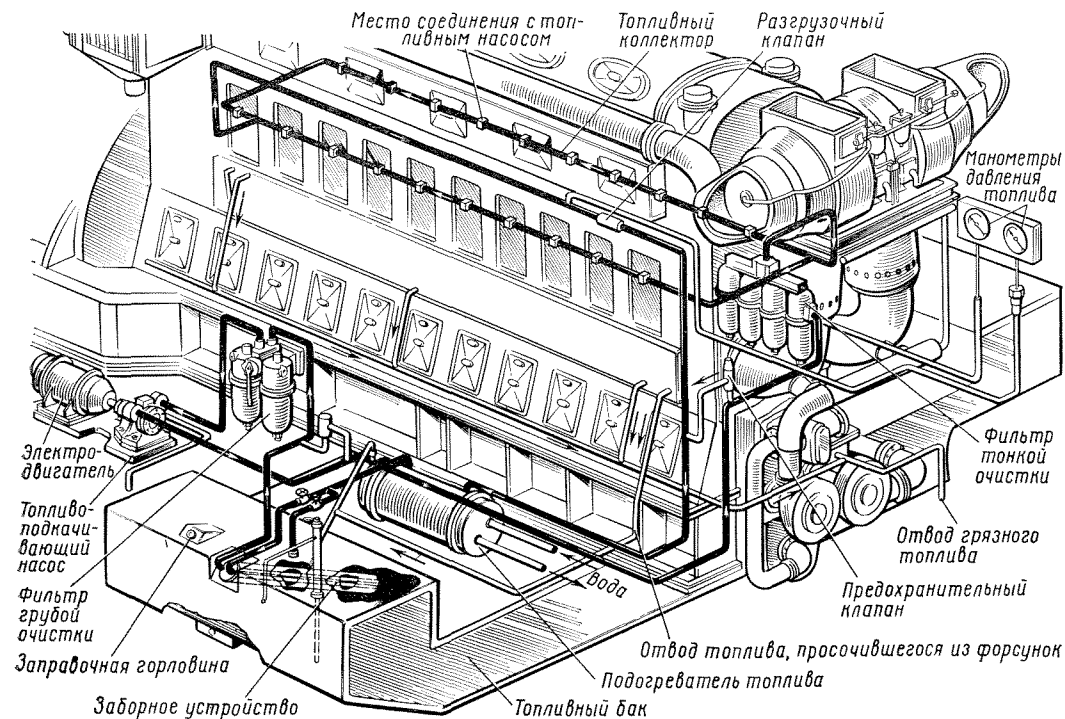


Рис. 84. Схема подачи топлива в цилиндры дизеля 10Д100

пус, и она без совместной притирки так гечно ляжет пояском своей конической поверхности на поверхность корпуса распылителя, что топливо при закрытой (прижатой) игле не просочится в цилиндр дизеля. Такой «замок» служит надежно и долго (несколько тысяч часов без осмотра и ремонта). Подобная сборка получила название *селективной (групповой)*. В этом случае все корпуса распылителей и иглы заранее распределяют по соответствующим группам в зависимости от диаметров цилиндров, подбирая их так, чтобы между цилинд-

ром иглы и цилиндром корпуса распылителя был зазор δ порядка 0,002—0,004 мм (2—4 мкм). Иными словами, суммарные их отклонения (неточности, допуски) на геометрию конуса и корпуса, получаемые при изготовлении, всегда окажутся меньше этого зазора и не будут препятствовать плотному прилеганию конических поверхностей, обеспечивая тем самым плотность распылителя.

Посмотрим теперь, как осуществляется подача топлива в многоцилиндровом дизеле 10Д100 (рис. 84). Топливо всасывается из бака шесте-

ренным топливопрокачивающим насосом, но при этом проходит через фильтр, где осуществляется предварительная (*грубая*) очистка. На трубопроводе, по которому топливо от насоса движется к другому фильтру—фильтру *тонкой* очистки, установлен *предохранительный* (перепускной) клапан. Его назначение в том, чтобы не допустить повышения давления перед этим фильтром более 0,44—0,49 МПа (4,5—5 кгс/см²) при нормальном (рабочем) давлении 0,29—0,34 МПа (3—3,5 кгс/см²). Если давление станет больше, клапан сработает, и топливо, как видно на схеме, сбрасывается через клапан в бак. После фильтра тонкой очистки топливо подается под давлением 0,14—0,24 МПа (1,5—2,5 кгс/см²) в топливный коллектор (трубопровод), от которого оно сразу поступает во всасывающую полость топливных насосов. Давление топлива за фильтром будет мало, если его слив обратно в бак не ограничить. Поэтому в системе предусмотрен еще один клапан — *разгрузочный*, который осуществляет слив части топлива в бак, в то же время создавая в топливном коллек-

торе подпор, необходимый для улучшения наполнения надплунжерных полостей насосов при их работе. Подкачивающий насос подает в несколько раз больше топлива, чем нужно для работы дизеля. Сделано это для того, чтобы поддерживать достаточное избыточное давление в топливном коллекторе. Излишки топлива, как указывалось, сбрасываются через разгрузочный клапан обратно в бак.

Топливные насосы приводятся в действие от двух кулачковых валов, расположенных с обеих сторон блока дизеля. Топливо, просочившееся через зазоры прецизионных пар насосов и форсунок, по отдельным трубкам самотеком сливается в бак тепловоза.

Зимой топливо в баке может загустеть от холода настолько, что подкачивающий насос не засосет его и не подаст к насосам высокого давления. Чтобы этого не случилось, в сливной трубопровод включен *подогреватель топлива*, в котором оно нагревается горячей водой, идущей от дизеля. Предусмотрено также в зимнее время применять зимние марки топлива, а в летнее — летние сорта топлива.

ДЛЯ ЧЕГО НУЖНЫ РЕГУЛЯТОРЫ?

Не исключена возможность, что в процессе работы по каким-либо причинам нагрузка на дизель упадет *сразу* до нуля. В этом случае, если не иметь специальных устройств, произойдет авария: частота вращения коленчатого вала дизеля, в цилиндры которого продолжает поступать топливо в прежнем количестве, может превысить допустимое значение. В результате значительно увеличатся центробежные силы вращающихся деталей, силы инерции возвратно-поступательных масс и двигатель может разрушиться.

Ясно, что машинист физически не успеет проследить за таким быстрым изменением нагрузки. В этом исключительном случае надо человека заменить автоматом, что и предусмотрено. Регулятор *безопасности* (*предельный регулятор*) дизелей 10Д100 и 2Д100 при увеличении частоты вращения коленчатого вала выше установленной, т. е. при 940—980 об/мин, воздействует на рычаг выключения подачи топлива, который переводит рейки топливных насосов в положение нулевой подачи. На дизелях 11Д45А выключается подача топлива при 840—870 об/мин, на 2Д70 — при

1080—1120 об/мин, а на 5Д49 — при 1150—1200 об/мин. Предельный регулятор дизелей Д50, 2Д50М и ПД1М при 840—870 об/мин приводит в действие механизм, который стопорит толкатели топливных насосов, удерживая их в верхнем крайнем положении.

Предельный регулятор, как показывает само название, решает только одну задачу — совершенно прекращает доступ топлива в цилиндры дизеля, когда частота вращения коленчатого вала превысит допустимую величину. Чтобы решить другую не менее важную задачу — поддерживать постоянную частоту вращения независимо от изменения нагрузки, кроме регулятора безопасности, на дизелях устанавливают регулятор *частоты вращения*.

Зададим себе такой вопрос: что является нагрузкой для тепловозного дизеля? Нагрузка дизеля — это мощность, которую от него отбирают передача (электрическая, гидравлическая и т. п.) к движущим колесам тепловоза и вспомогательные агрегаты (поездной компрессор, вентилятор холодильника дизеля и др.).

Время проследования поезда по участку задается графиком движения. Для того чтобы выполнить график, тепловоз должен развивать достаточ-

ную мощность, которая зависит от частоты вращения вала дизеля и количества топлива, подаваемого в цилиндры.

Частота вращения вала дизеля устанавливается машинистом тепловоза с помощью специального устройства — контроллера (см. с. 251). В зависимости от массы поезда, трудности профиля и заданной скорости движения по участку машинист устанавливает в то или иное положение рукоятку контроллера. В дальнейшем отбор мощности, соответствующей заданной контроллером частоте вращения вала дизеля, должен автоматически обеспечиваться передачей тепловоза.

Однако существующие на тепловозах передачи не могут полностью обеспечивать постоянство нагрузки на дизель. В связи с этим при изменении скорости движения нагрузка меняется. Кроме того, даже при постоянной подаче топлива дизель будет развивать различную мощность, потому что к. п. д. его изменяется в зависимости от условий окружающей среды, температуры масла, воды, качества работы отдельных его узлов (например, топливной аппаратуры) и т. д. В процессе работы отдельные цилиндры могут выключиться из-за, например, заклинивания плунжерной пары топливного насоса и т. п.

Итак, представим себе, что в цилиндры дизеля впрыскивается топливными насосами постоянное количество топлива на каждый рабочий цикл. Тогда с увеличением нагрузки на дизель или снижением развиваемой мощности частота вращения коленчатого вала упадет, а при умень-

шении нагрузки или увеличении мощности дизеля возрастет и даже может превзойти установленные пределы, что, как мы знаем, недопустимо.

Таким образом, частота вращения вала дизеля, имеющего постоянную подачу топлива, будет изменяться то в меньшую, то в большую сторону, что в конечном счете нарушает нормальную работу дизеля, снижает его экономичность и повышает износ деталей.

Отсюда вытекает необходимость в устройстве, которое изменяло бы подачу топлива в цилиндры согласованно с изменением нагрузки: при увеличении нагрузки увеличивало бы подачу топлива в цилиндры, а при уменьшении — соответственно уменьшало. Иными словами, нужно устройство, изменяющее мощность дизеля в соответствии с требуемой нагрузкой. Тогда частота вращения вала дизеля будет поддерживаться постоянной в установленных пределах. Эту задачу могут выполнить только автоматические устройства, так как для человека ручное регулирование подачи топлива насосами было бы утомительно и не всегда возможно.

Вот почему на тепловозных дизелях, кроме предельного регулятора, ставится регулятор частоты вращения коленчатого вала, который, реагируя на изменение частоты вращения из-за несоответствия между нагрузкой и мощностью, развиваемой дизелем, перемещает на нужную величину рейку топливных насосов без вмешательства машиниста в строгом соответствии с нагрузкой и, таким образом, поддерживает постоянной заданную частоту вращения коленчатого вала дизеля независимо от нагрузки.

На дизелях 10Д100, 11Д45, Д49, 2Д70 применяются более совершенные регуляторы: они регулируют не только частоту вращения, но и мощность дизеля. Как это достигается, мы узнаем дальше (см. с. 128), а пока рассмотрим принцип действия простейшего центробежного регулятора частоты вращения.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО РЕГУЛЯТОРА ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

Регулятор называется *центробежным* потому, что его действие основано на изменении центробежных сил, возникающих при разных значениях частоты вращения его грузов. Как известно, центробежная сила возникает при вращении любого тела (груза). В регуляторе таким вращающимся телом является траверса (диск). Диск (рис. 85) приводится во вращение через зубчатую передачу от коленчатого вала дизеля.

К краям диска шарнирно прикреплены два рычага с одинаковыми грузами, по одному на каждом рычаге. Грузы вращаются вместе с диском регулятора вокруг вертикальной оси и шарнирно связаны со скользящей муфтой, которая может свободно перемещаться вверх или вниз. Весь этот узел называется *измерителем частоты вращения* коленчатого вала дизеля. Это *исходный основной орган регулятора*.

Возникает вопрос: каково назначение пружины? Пружина регулятора имеет определенную затяжку (силу предварительного сжатия). Эта сила пружины соответствует заданной ча-

стоте вращения, т. е. уравнивается вертикальной составляющей от центробежной силы грузов. Сила затяжки (настройки) пружины задается машинистом в зависимости от профиля пути, необходимой скорости движения поезда и других причин. Если машинисту необходимо увеличить (или уменьшить) частоту вращения вала дизеля, специальный механизм сильнее (или слабее) затянет пружину. О том, как на тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, ТЭП60, ТЭП70, 2ТЭ116 и др. по сигналу машиниста изменяется затяжка пружины, мы узнаем на с. 130.

Когда подача топлива в цилиндры соответствует нагрузке дизеля, его коленчатый вал вращается с некоторой постоянной частотой и вся система регулятора находится в равновесии. Рассмотрим, что произойдет, если нагрузка на дизель изменится, например уменьшится. В этом случае частота вращения вала дизеля при той же подаче топлива увеличится, соответственно увеличится и частота вра-

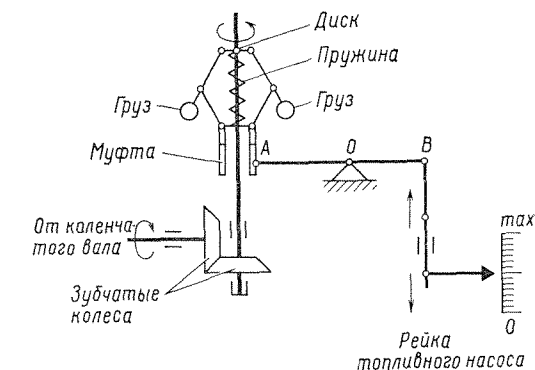


Рис. 85. Схема простейшего центробежного регулятора

нения диска регулятора, а следовательно, и связанных с ним двух грузов. Грузы регулятора под влиянием центробежных сил расходятся и, преодолевая усилие пружины, поднимаются вверх, увлекая за собой муфту. Положение муфты изменяется всякий раз, когда изменяется частота вращения коленчатого вала дизеля. Иными словами, разной частоте вращения соответствует разное положение муфты регулятора. Именно при переходе муфты в новое положение регулятор выполняет свое назначение, т. е. создает силу, необходимую для перемещения реек топливных насосов. В самом деле, при уменьшении нагрузки на дизель и перемещении муфты рычаг АОВ будет воздействовать на рейку топливных насосов, вызывая поворот плунжера в сторону уменьшения подачи топлива в цилиндры дизеля: частота вращения коленчатого вала начнет уменьшаться. Это будет происходить до тех пор, пока центробежная сила грузов не уравновесится силой пружины регулятора. Благодаря такому устройству регулятора частота вращения вала дизеля при уменьшении нагрузки устанавливается всегда примерно постоянной. Наоборот, при увеличении нагрузки частота вращения коленчатого вала дизеля уменьшится, грузы регулятора сблизятся, муфта несколько опустится и рычаг АОВ, переставляя рейки топливных насосов, заставит их увеличивать подачу топлива в цилиндры до тех пор, пока снова не восстановится нарушенное равновесие.

Такой простой по устройству регулятор называется центробежным регулятором прямого действия, так как

он прямо (непосредственно) воздействует на рейки топливных насосов, т. е. его рычаг жестко связан с рейкой. Основной недостаток такого регулятора состоит в том, что для мощных дизелей (в 736 кВт и более) требуется большое усилие для перемещения реек топливных насосов. Большая сила необходима из-за того, что масса деталей, которые нужно перемещать в процессе регулирования, достигает нескольких килограммов. Кроме того, в местах сочленения рычагов, соединяющих регулятор с топливными насосами, возникают силы сопротивления от трения деталей. Поэтому приходится создавать большую центробежную силу, а для этого необходимо значительно увеличивать размеры грузов. Это делает регулятор громоздким, уменьшает его чувствительность и, как следствие, ухудшает процесс регулирования. Такие регуляторы на тепловозах не применяются.

Чтобы избежать увеличения размеров регулятора, приходится усложнять его конструкцию.

ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ РЕГУЛЯТОР НЕПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

Как увеличить перестановочную силу нашего регулятора, сохранив прежние размеры его грузов? Чтобы сделать регулятор «сильным», пользуются услугами особого вспомогательного устройства — сервомотора¹

¹ Слово «сервомотор» происходит от латинского слова *servus*, что значит раб, слуга, и *motor* — приводящий в движение.

(серводвигателя), играющего роль усилителя. Серводвигатель представляет собой цилиндр с силовым поршнем (рис. 86), шток которого соединен с рейками топливных насосов. Рейка передвигается непосредственно серводвигателем, а не муфтой регулятора, как это было у регулятора прямого действия (см. рис. 85). Какая сила заставляет поршень серводвигателя передвигаться в цилиндре? Это давление масла на поршень. Сила, действующая на поршень, пропорциональна давлению масла. Например, в регуляторе дизеля 10Д100 давление масла составляет 0,58—0,68 МПа (6—7 кгс/см²). Для нагнетания масла используется шестеренный насос регулятора. Итак, несколько усложнив регулятор, можно добиться увеличения перестановочной силы при тех же размерах грузов. Но ведь это еще не все. Нужно сделать так, чтобы движение силового поршня было управляемо. Как видно из рис. 86, задача эта решается с помощью легкого золотника, на перемещение которого нужна очень небольшая сила. Золотник полностью уравновешен, и, чтобы вывести его из среднего положения, необходима сила не больше той, которую могут создать относительно маленькие центробежные грузы регулятора. Поэтому золотник соединяют с муфтой регулятора. Таким образом, если раньше муфта регулятора приводила в движение рейки топливных насосов, то теперь она непосредственно приводит в движение только небольшой золотник, который управляет силовым поршнем серводвигателя.

Золотник может свободно перемещаться в камере, к которой подводит-

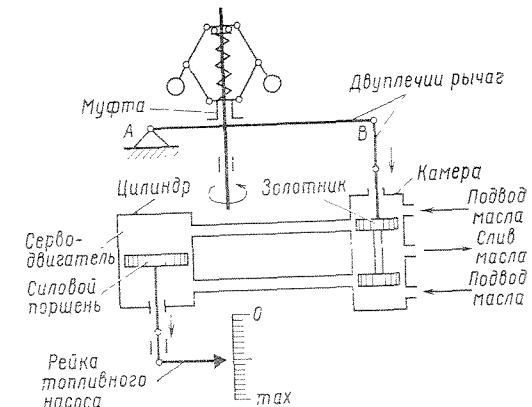


Рис. 86. Схема регулятора с серводвигателем

ся масло под давлением. Камера золотника сообщена через окна с цилиндром серводвигателя. На рис. 86 схематично показано положение, при котором окна в камере закрыты золотником и масло пройти в цилиндр серводвигателя не может. Это значит, что количество топлива, поступающее в цилиндры дизеля, соответствует его нагрузке. Золотник находится при этом в среднем положении (положение перекрыши). Но стоит нарушиться соответствию между требуемой нагрузкой и мощностью, развиваемой дизелем, как положение муфты регулятора изменится. Тогда, как понятно из рис. 86, муфта переместится, легкий золотник, связанный с муфтой, двуплечим рычагом, тоже переместится, отклоняясь от среднего положения. Перемещаясь, золотник откроет доступ маслу в одну из полостей цилиндра серводвигателя. Передвигаясь, например, вниз муфта потянет за собой золотник, который будет

открывать верхнее окно, открывая, таким образом, доступ масла в полость над поршнем серводвигателя, и в то же время он будет открывать нижнее окно, выпуская масло из нижней полости на слив. Передвигаясь вверх, золотник, наоборот, будет открывать доступ масла в нижнюю полость и выпускать его из верхней полости.

В результате силовой поршень, управляемый золотником, будет перемещаться вниз или вверх.

Регулятор, снабженный серводвигателем, называется регулятором *непрямого действия*, так как силу для перемещения реек топливного насоса создают не сами центробежные грузы регулятора, а серводвигатель. Казалось бы, теперь уже регулятор отвечает требованиям регулирования дизеля. Однако возникает новая трудность. Переставив рейку топливного насоса в положение, соответствующее новой нагрузке, силовой поршень серводвигателя должен остановиться, а для этого золотник должен вернуться в первоначальное, среднее положение и перекрыть окна золотниковой втулки (камеры). Но для того, чтобы золотник занял среднее положение, точка *B* рычага регулятора после окончания процесса регулирования должна находиться всегда в одном положении.

Однако при схеме, приведенной на рис. 86, указанные требования выполнить невозможно. В самом деле, при увеличении нагрузки частота вращения диска уменьшится, грузы регулятора сойдутся и золотник переместится вниз. Масло будет поступать в верхнюю полость серводвигателя, а

его шток пойдет вниз, увеличивая подачу топлива.

Частота вращения вала дизеля будет возрастать. Так как золотник по-прежнему открывает верхнее окно, поршень серводвигателя продолжает перемещаться вниз до нижнего крайнего положения.

При этом подача топлива превысит необходимую, частота вращения вала дизеля возрастет и грузы регулятора разойдутся.

Золотник открывает доступ масла в нижнюю полость серводвигателя, и поршень его переместится в верхнее крайнее положение.

Частота вращения вала резко упадет, что вызовет новое перемещение золотника вниз.

Мы видим, что золотник, так же как и поршень серводвигателя, совершает непрерывное движение вверх и вниз. Частота вращения вала также меняется от верхнего до нижнего предела. В этом случае говорят, что процесс регулирования неустойчив, т. е. имеет место колебание частоты вращения (числа оборотов).

Остановить колебания, а следовательно, и колебательные перемещения поршня серводвигателя и золотника нечем. Между тем это крайне необходимо. Как же затормозить колебания золотника, когда силовой поршень сервомотора займет новое нужное положение и подача дизельного топлива будет соответствовать изменившейся нагрузке?

Для этого нужно точку *B* (см. рис. 86) каким-либо способом вернуть во вполне определенное положение, при котором золотник снова займет среднее положение.

ПОНЯТИЕ О ЖЕСТКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

В рассмотренной нами схеме регулятора непрямого действия (см. рис. 86) точка качания *A* рычага *AB* неподвижна и поэтому движение золотника не связано с движением силового поршня серводвигателя. А что, если левый конец рычага *AOB* (рис. 87) соединить со штоком поршня серводвигателя тягой *AC*, т. е. сделать так, чтобы точка *A* стала подвижной? В этом случае при перемещении муфты регулятора, например, вверх точка *A* в начальный момент будет оставаться неподвижной потому, что поршень серводвигателя имеет сравнительно большое сопротивление движению; золотник переместится вверх и при этом откроет вход масла в пространство под силовой поршень серводвигателя и выход масла из пространства над поршнем. Как только поршень начнет подниматься, то вместе с ним начнет подниматься и левый конец рычага *AOB* (точка *A*), поэтому правый конец рычага (точка *B*), поворачивающийся около точки *O* муфты регулятора, станет опускаться и заставит опуститься золотник. При этом золотник будет постепенно возвращаться в среднее положение, закрывая доступ масла в пространство под поршнем. Движение поршня прекратится как раз в тот момент, когда насосы увеличат подачу топлива на величину, соответствующую увеличению нагрузки. Таким образом, соединение левого конца рычага *AOB* с поршнем серводвигателя позволяет возвращать точку *B* в определенное положение, при

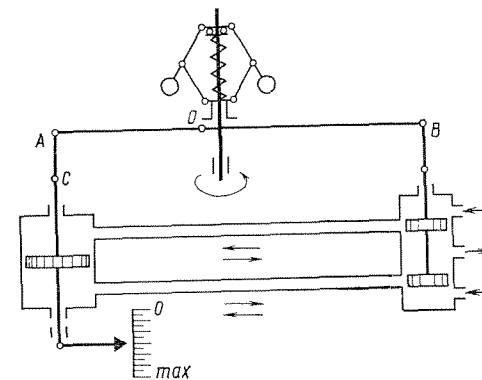


Рис. 87. Схема регулятора с жесткой обратной связью

котором золотник приходит в среднее положение. Иными словами, движение силового поршня, начатое по «приказу» золотника, передается теперь (с помощью рычага *AOB*) обратно золотнику: серводвигатель переставляет золотник в среднее положение, после того как выполнит «приказ» золотника. Следовательно, наряду с прямой связью золотника с поршнем имеется *обратная* связь поршня с золотником с помощью рычага *AOB*. Такое соединение жесткого рычага поршня серводвигателя с золотником через муфты регулятора принято называть *жесткой обратной связью*, а весь регулятор — *регулятором непрямого действия с жесткой обратной связью*.

Название жесткой связи принято потому, что рычаг *AOB* является жестким, а *обратной* она называется потому, что силовой поршень с помощью рычага *AOB* передает обратное воздействие на золотник. Однако и регулятор с жесткой обратной связью

зью имеет недостаток. Он заключается в том, что при изменении нагрузки частота вращения коленчатого вала дизеля не остается равной прежней, а все-таки несколько изменяется, в то время как она должна быть постоянной. Почему это происходит?

Взгляните на рис. 87. Пусть нагрузка увеличилась. Тогда грузы регулятора опустятся, точка *B* опустится, золотник передвинется и откроет окна, подача топлива увеличится: мощность дизеля придет в соответствие с новой нагрузкой. Это так. Но коленчатый вал дизеля не сохранит ту частоту вращения, которую он имел до начала нового режима (до начала увеличения нагрузки). Почему? Потому что система регулирования придет в равновесие (успокоится) только тогда, когда точка *B* вернется в начальное положение, т. е. когда золотник вернется в среднее положение и перекроет окна. Следовательно, в описанной схеме регулирования точка *B* всегда приходит в начальное положение; положение же точек *O* и *A* меняется.

При увеличении подачи топлива поршень займет положение ближе к нижнему крайнему и переместит за собой вниз муфту *O*. А это положение муфты, а значит, и грузов соответствует меньшей частоте вращения вала. Поэтому в регуляторах с жесткой обратной связью всегда наблюдается небольшая «просадка» (уменьшение) частоты вращения по мере увеличения нагрузки на дизель. Если превратить жесткую обратную связь в упругую (гибкую), то от этого недостатка можно избавиться. Как это сделать?

УПРУГАЯ (ГИБКАЯ) ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ В РЕГУЛЯТОРЕ НЕПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ. ИЗОДРОМНЫЙ РЕГУЛЯТОР

Между точкой *A* и серводвигателем разместим небольшой цилиндр с поршеньком (рис. 88). Как видно, в поршеньке сделаны маленькие калиброванные отверстия, сообщающие противоположные полости цилиндрика. В обеих полостях находится масло. Цилиндрик присоединен к поршню серводвигателя, а поршеньок цилиндрика — к рычагу *AOB* жесткой обратной связи. Но не только этим отличается схема рис. 88 от схемы рис. 87. Мы видим еще пружину, прикрепленную к рычагу *AOB*. Это пружина-компенсатор¹.

Что же нового вносит это устройство в работу регулятора? А то, что жесткая обратная связь превращается в *упругую (гибкую)*. До начала перемещения силового поршня в серводвигателе и в первый момент этого перемещения работа регулятора подобна работе регулятора с жесткой обратной связью, так как поршеньок и его цилиндрик движутся совместно. Это объясняется тем, что перетекание масла из одной полости в другую происходит с большим трудом и очень медленно из-за значительных сопротивлений в маленьких отверстиях поршенька. Поэтому золотник после впуска масла в одну из полостей серводвигателя возвращается в среднее положение, останавливая дви-

¹ Компенсатор — от латинского слова *compensare*, что значит уравниваю, возмещаю.

жение поршня серводвигателя, как описано выше. Немного ранее того момента, как золотник возвратится в среднее положение, масло в цилиндрике под влиянием пружины-компенсатора, действующей на поршеньок, преодолевая сопротивление в цилиндрике, начинает переходить из одной полости в другую, и поршеньок перемещается. Перемещение поршенька вызывает перемещение муфты регулятора (точка *O*), которая возвращается в свое первоначальное положение. Благодаря этому при новой нагрузке грузы регулятора также займут снова первоначальное положение, при котором равновесие наступит в тот момент, когда частота вращения вала станет прежней.

Таким образом, при наличии гибкой обратной связи удается сохранить постоянной частоту вращения вала дизеля при разных нагрузках. В технической литературе поршеньок с цилиндриком и компенсирующей пружиной, превращающей жесткую обратную связь в гибкую, называется *изодромом*¹, а сам регулятор — *изодромным*.

На тепловозных дизелях устанавливаются в основном изодромные регуляторы непрямого действия с обратной связью. Изодромный регулятор частоты вращения дизеля 2Д100 представлен в разрезе на рис. 89. Чувствительный элемент этого регулятора, как и обычно, состоит из двух грузов. Грузы выполнены в виде гаек, накрунутых на L-образные

¹ Слово «изодром» происходит от сочетания двух греческих слов: *isos* — равный и *dromos* — скорость (бер).

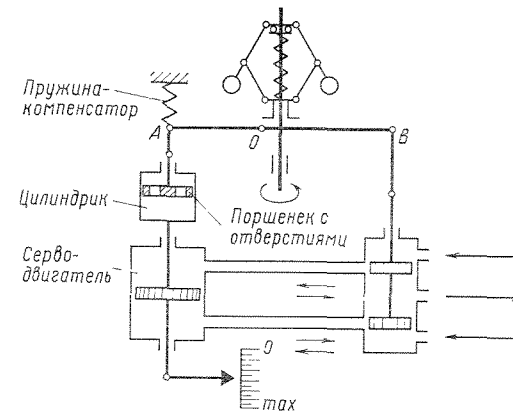


Рис. 88. Схема регулятора с гибкой обратной связью

рычаги. Грузы на шариковых подшипниках установлены в специальном корпусе, напрессованном на буксу. Букса представляет собой втулку с кольцевыми каналами и радиальными отверстиями для прохода масла. Букса, а следовательно, и грузы получают вращение через зубчатую передачу от коленчатого вала дизеля. Грузы воздействуют на золотник, имеющий три пояска, средний из которых является рабочим. Центробежные силы, возникающие при вращении грузов, уравниваются конической пружиной, которая называется *всережимной*. Средний поясок золотника управляет доступом масла под силовой поршень серводвигателя, который связан с рейками топливных насосов. Масло поступает сюда по внутренним каналам в корпусе от масляного насоса самого регулятора. При увеличении нагрузки на дизель частота вращения коленчатого вала и грузов регулятора в первый

момент снижается, грузы несколько сходятся и золотник опускается вниз. Открывается доступ масла от насоса под силовой поршень регулятора. Поршень поднимается вверх, воздействует на топливный насос, который увеличивает подачу топлива до величины, обеспечивающей заданную частоту вращения коленчатого вала. При уменьшении нагрузки на дизель в первый момент частота вращения коленчатого вала и грузов несколько увеличивается, грузы расходятся, поднимают своими рычагами золотник. Средний поясок золотника, поднявшись, открывает выход масла из-под

силового поршня в масляную ванну регулятора. Масло начинает уходить из-под силового поршня, а поршень опускается вниз, при этом топливные насосы уменьшают подачу топлива в цилиндры дизеля и частота вращения коленчатого вала приводится в норму.

Роль изодрома в этом регуляторе выполняют: компенсирующий поршень (который насажен на шток силового поршня серводвигателя), поршень золотниковой втулки, пружина-компенсатор, игольчатый клапан, частично закрывающий проход масла из канала, соединяющего указанные

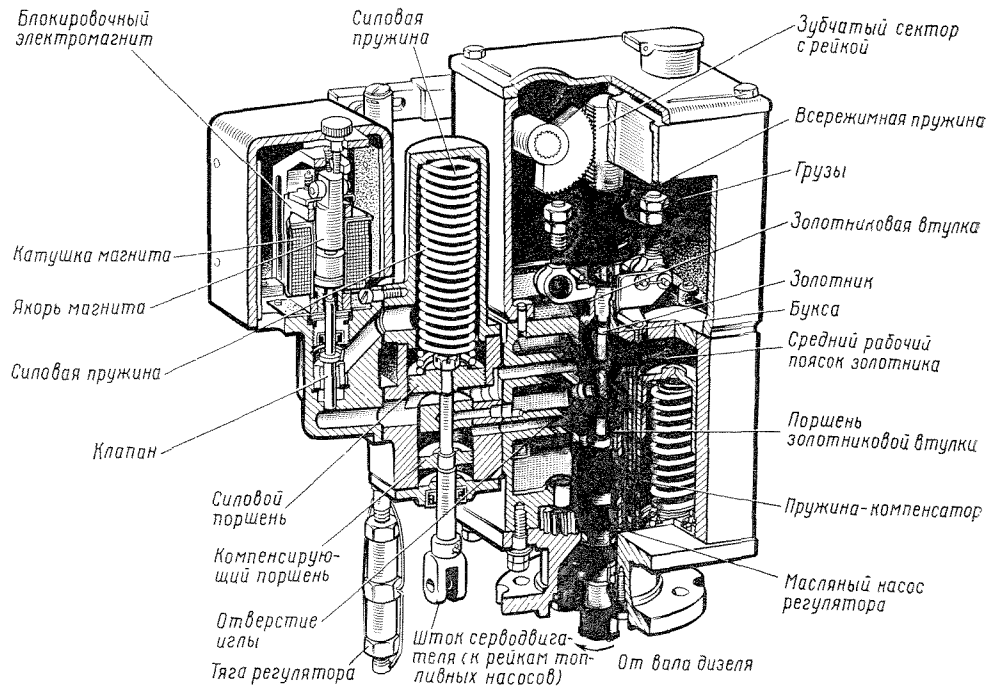


Рис. 89. Всережимный регулятор частоты вращения дизеля 2Д100

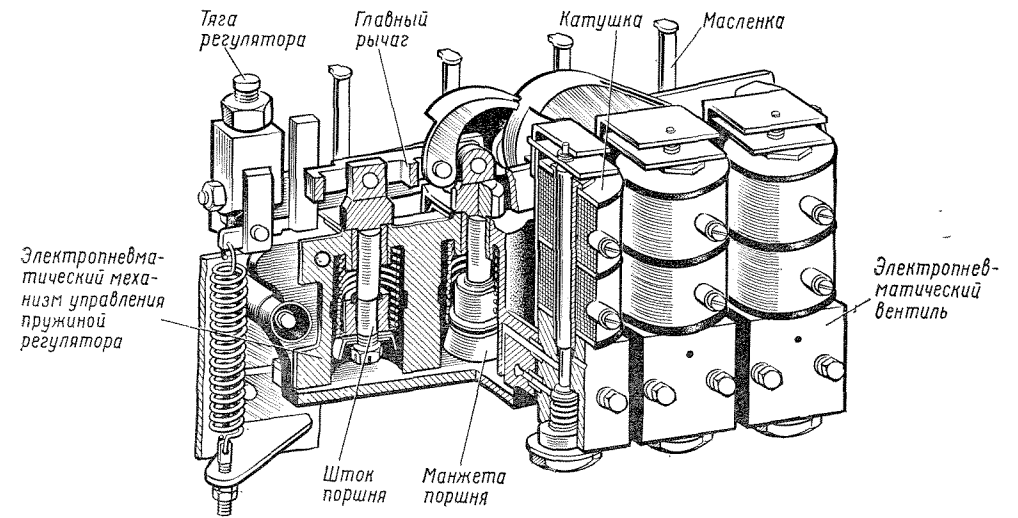


Рис. 90. Механизм управления регулятора дизеля 2Д100

поршни с масляной ванной регулятора. Масло из-под силового поршня серводвигателя может выходить еще через один канал, который при нормальной работе дизеля плотно закрыт клапаном. Клапан удерживается блокировочным электромагнитом. Для остановки дизеля достаточно разомкнуть цепь питания катушки электромагнита. Тогда клапан, больше ничем не удерживаемый, открывается давлением масла. Масло уходит, силовой поршень быстро опускается вниз, передвигая рейку насосов в положение нулевой подачи.

Этот регулятор дизеля тепловоза является всережимным (а вернее, многорежимным). Это значит, что он может поддерживать постоянными разные скоростные режимы дизеля по воле машиниста. Для этой цели служит управляемый машинистом

(посредством рукоятки контроллера) электропневматический механизм управления всережимной пружиной регулятора, состоящий из четырех электропневматических вентилях, которые открываются с помощью электромагнитов. Электропневматические вентили расположены против четырех колодцев с поршнями.

При открытии каждого вентиля сжатый воздух поступает под поршень, который поднимает соответствующий рычаг, связанный с тягой регулятора. Тяга поворачивает зубчатый сектор и увеличивает натяжку всережимной пружины. Электропневматические вентили включаются в определенной последовательности, благодаря чему обеспечивается 16 различных ступеней натяжки всережимной пружины регулятора и, сле-

довательно, 16 разных скоростных режимов дизеля.

Всем хорош описанный регулятор, но он решает только одну проблему: поддерживает постоянным скоростной режим дизеля, автоматически уменьшая или увеличивая подачу топлива в его цилиндры в соответствии с меняющейся нагрузкой.

Но существует еще и вторая не менее важная проблема: создание такого регулятора, который бы наряду с регулированием подачи топлива в дизель поддерживал нагрузку дизеля на заданном уровне. Дело в том, что колебания температуры обмоток электрических машин и мощности, расходуемой на вспомогательные нужды тепловоза, могут сильно изменить нагрузку дизеля, привести к нарушению нормального режима работы силовой установки, ухудшению рабочего процесса дизеля и понижению скорости движения. Чтобы не допустить этого, на тепловозе ТЭЗ имеется специальное устройство АРМ (автоматическое регулирование мощности) (см. с. 325).

На дизелях 10Д100, 11Д45, 14Д40, 5Д49, Д70 (тепловозов 2ТЭ10В, ТЭП60, М62, 2ТЭ116 и др.) для этой цели применен *объединенный* регулятор (регулятор частоты вращения и регулятор нагрузки), смонтированный в один узел.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ РЕГУЛЯТОР

Понять сущность работы и необходимость объединенного регулятора помогут нам следующие рассуждения. Предположим, что рейки топ-

ливных насосов находятся в положении максимальной подачи топлива в цилиндры дизеля, а нагрузка на дизель по каким-либо причинам увеличилась сверх того, что он может обеспечить при данном положении реек. В этом случае один регулятор частоты вращения бессилён поддерживать скоростной режим дизеля постоянным, так как все резервы увеличения подачи топлива в цилиндры исчерпаны (рейки доведены до упора).

В результате из-за чрезмерной нагрузки дизель начинает снижать частоту вращения, коптит, работает неэкономично с недопустимо высокими температурой и давлением в цилиндрах. Возникает вопрос: можно ли в этих условиях не допустить падения частоты вращения вала дизеля и снять перегрузку с дизеля?

Вспомним, что такое реостат. Реостат — это электрический аппарат, предназначенный для регулирования величины тока, проходящего по проводнику (проволаке). Действие реостата основано на изменении длины проволоки. Чем короче проволока, по которой проходит ток I , тем меньше ее сопротивление, а чем он длиннее, тем оно выше. Следовательно, сопротивление увеличится во столько раз, во сколько раз при неизменной величине напряжения уменьшится сила тока (закон Ома). А что, если включить реостат в цепь обмотки возбуждения генератора? Тогда, чтобы увеличить нагрузку на тяговый генератор, а значит, и на дизель, надо передвинуть ползунок реостата в сторону уменьшения сопротивления (см. рис. 91). И наоборот, чтобы уменьшить нагрузку на генератор, надо пе-

редвинуть ползунок реостата в сторону увеличения его сопротивления. Искусственно уменьшая с помощью реостата нагрузку на дизель, можно добиться того, что частота вращения вала дизеля будет поддерживаться постоянной. В этом случае, как мы знаем, дизель будет отдавать мощность, соответствующую заданной для каждого скоростного режима дизеля.

Известно, что вентилятор холодильника тепловоза и тормозной компрессор то включается, то выключается, поэтому мощность дизеля, необходимая на привод этих машин, то высвобождается, то полностью используется. На тепловозе 2ТЭ10В это составляет около 95 — 110 кВт (130 — 150 л. с.) на каждый дизель на 15-й позиции контроллера машиниста.

Допустим, компрессор или вентилятор выключился. Чтобы полнее использовать мощность дизеля, надо переложить эти 95—110 кВт на плечи другого потребителя — тягового генератора. Тогда мощность дизеля, отдаваемая потребителям, сохранится неизменной и, таким образом, будет использована полностью. «Переключку» мощности осуществляет мощностная часть объединенного регулятора.

Чтобы понять принцип действия объединенного регулятора, обратимся к рис. 91. В нижней части рисунка представлена схема знакомого нам регулятора частоты вращения, в верхней части — схема регулятора нагрузки. Мы видим, что механизм управления нагрузкой соединяется с помощью жесткого рычага $СД$ с ме-

ханизмом управления частотой вращения. В регуляторе нагрузки так же, как и в регуляторе частоты, есть серводвигатель регулятора нагрузки (будем его дальше называть верхним). Он используется для изменения сопротивления реостата. Есть и золотник (условимся называть его верхним), который управляет подачей масла через каналы в силовой серводвигатель (золотник регулятора нагрузки).

Если рукоятка контроллера машиниста находится в неизменном положении, а установившийся режим работы дизель-генератора нарушился, например выключился компрессор или вентилятор и началось боксование колесных пар, то произойдет следующее: частота вращения увеличится, грузики (рис. 91) разойдутся, точка B рычага $АОВ$ поднимется, нижний золотник переместится вверх и откроет доступ масла под поршень силового серводвигателя — подача топлива уменьшится. Но при этом переместится и верхний золотник, открывая доступ масла в подпоршневое пространство верхнего серводвигателя. Поршень верхнего серводвигателя поднимется и своим штоком передвинет подвижной контакт реостата (увеличит возбуждение тягового генератора). Нагрузка увеличится, а частота вращения вала дизеля уменьшится. Тотчас чувствительный регулятор частоты вращения увеличит подачу топлива и возвратит верхний золотник, управляющий нагрузкой, в первоначальное положение перекрыши, соответствующее установившемуся режиму работы дизель-генератора.

Пользуясь схемой (см. рис. 91) и рассуждая аналогично, нетрудно уяснить, как будет протекать работа объединенного регулятора при возрастании нагрузки (включение вентилятора холодильника и др.). Таким образом, при данной нагрузке и частоте вращения вала подача топлива насосами в цилиндр дизеля не будет изменяться, так как перераспределения нагрузок между тяговым генератором, с одной стороны, и, скажем, компрессором и вентилятором, с другой стороны, дизель не почувствует и благодаря объединенному регулято-

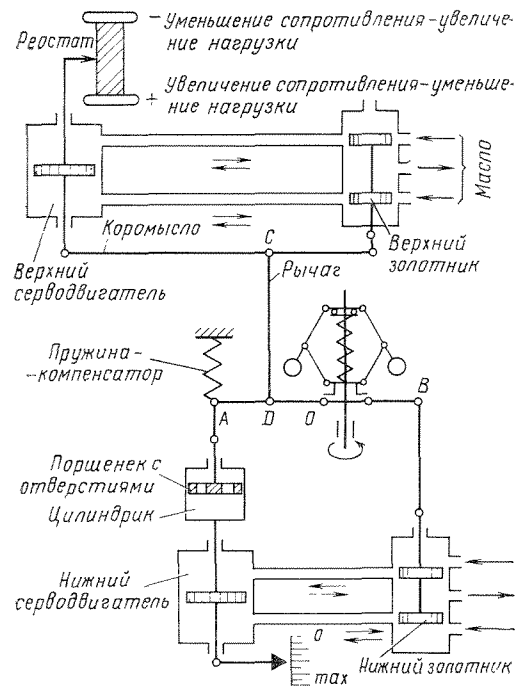


Рис. 91. Упрощенная схема объединенного регулятора частоты вращения (внизу) и нагрузки (вверху)

ру вся мощность дизеля будет использоваться для работы тепловоза при разных условиях движения. Однако и этот регулятор можно улучшить.

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ЗАТЯЖКИ ПРУЖИНЫ

Совершенствуя свой регулятор, конструкторы Харьковского завода транспортного машиностроения заменили электропневматический механизм более чувствительным и меньшим по размерам электрогидравлическим механизмом, регулирующим затяжку всережимной пружины. Посмотрите на рис. 92. Вы видите: электрическая часть этого механизма состоит из четырех тяговых электромагнитов 1, 2, 3, 4, три из которых находятся против трех углов треугольной пластины; гидравлическая часть механизма имеет золотник управления серводвигателем, который в свою очередь управляет затяжкой пружины.

Машинист в своей кабине переводит рукоятку контроллера с позиции на позицию. В соответствии с этим электромагниты включаются или выключаются в установленной последовательности и различных комбинациях. Якоря включенных электромагнитов нажимают на пластину, и она под их действием изменяет свое положение в пространстве (пластину поэтому называют *пространственной*). Стоит пластине переместиться вниз на какую-то величину, как золотник управления серводвигателем через тяговый рычажный механизм открывает отверстие в золотниковой втулке, благодаря чему масло поступает по

каналу *a* в надпоршневое пространство серводвигателя: поршень серводвигателя, перемещаясь вниз, сжимает всережимную пружину. Так достигается одно из семи различных положений поршня серводвигателя управления, т. е. одна из семи степеней затяжки всережимной пружины. А как увеличить количество степеней затяжки? С этой целью на помощь первым трем электромагнитам приходит четвертый электромагнит, воздействующий не на треугольную пластину, а на... золотниковую втулку. Именно на золотниковую втулку, потому что ей самой предоставлена возможность перемещаться относительно золотника управления. Двигаясь вниз (когда четвертый электромагнит включен), втулка открывает имеющееся в ней отверстие, и масло из надпоршневого пространства серводвигателя получает выход в ванну регулятора (на рисунке не показана), при этом затяжка всережимной пружины ослабляется. Таким образом, включение четвертого электромагнита вызывает действие, противоположное действию трех остальных электромагнитов. Этим достигается еще семь ступеней ослабления затяжки всережимной пружины. Так, включение четвертого электромагнита в комбинации с электромагнитами треугольной пластины позволяет удвоить число степеней затяжки всережимной пружины, т. е. получить 14 ступеней частоты вращения коленчатого вала дизеля. Вместе с положением холостого хода регулятор обеспечивает 15 ступеней частоты вращения коленчатого вала.

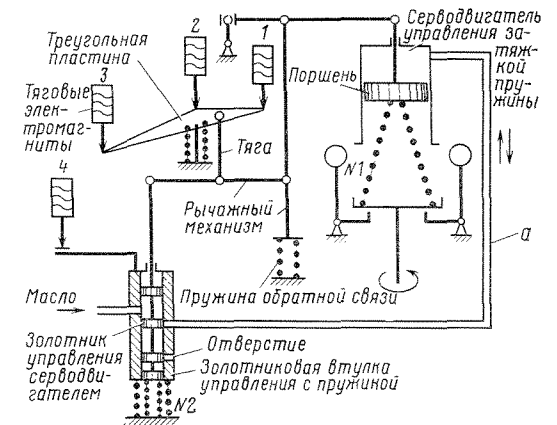


Рис. 92. Схема электрогидравлического механизма затяжки всережимной пружины объединенного регулятора

Описанный регулятор с электрогидравлической системой управления (условное обозначение 9Д100) нашел применение на всех тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, ТЭП10, ТЭП60, М62 и др., которые выпускались до 1972 г.

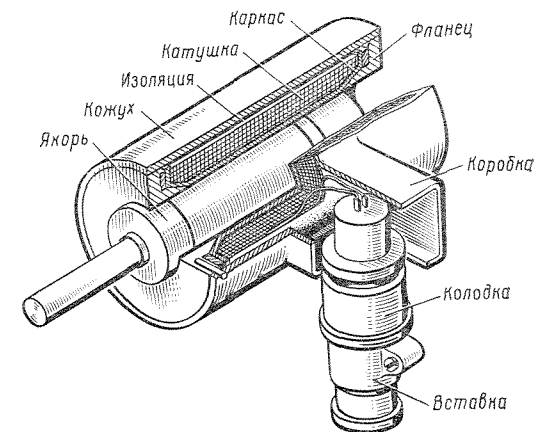


Рис. 93. Схема индуктивного датчика

В 1972 г., однако, эти регуляторы были снабжены новыми устройствами. Уже давно было замечено, что упомянутый выше проволочный реостат с непосредственным электрическим контактом, во-первых, произвольно изменяет величину электрического сопротивления в месте контакта ползунка с проволочной намоткой, а значит, искажает регулирование нагрузки и, во-вторых, не позволяет плавно регулировать нагрузку. Для того чтобы обойти эти неприятности, конструкторы решили заменить его «бесконтактным реостатом» — *индуктивным датчиком*.

Индуктивный датчик представляет собой катушку со стальным якорем (рис. 93). Если через обмотку такой катушки пропустить переменный ток, то ее сопротивление будет изменяться в зависимости от положения якоря. Чем дальше задвинут якорь в катушку, тем больше ее сопротивление, и наоборот. Это свойство катушки используется для дополнительного регулирования мощности тепловозных дизель-генераторов. Обмотка катушки

индуктивного датчика, питаемая переменным током, подключена посредством выпрямительного устройства (моста) в схему возбуждения генератора. Выпрямительный мост преобразовывает (выпрямляет) переменный ток в постоянный, необходимый для работы системы возбуждения тягового генератора.

Якорь индуктивного датчика соединен с серводвигателем регулятора нагрузки и изменяет свое положение при его перемещениях.

Применение бесконтактного индуктивного датчика позволило значительно повысить надежность регулятора и точность регулирования. Новый объединенный регулятор получил обозначение типа 10Д100 (в отличие от типа 9Д100). Регулятор типа 10Д100 имеет еще одно преимущество. Он снабжен дополнительным пятым электромагнитом, который устанавливает индуктивный датчик в положение минимального возбуждения. Это необходимо, например, при боксовании тепловоза.

ДЛЯ ЧЕГО И ЧЕМ ОХЛАЖДАЮТ ДЕТАЛИ ДИЗЕЛЯ?

Если бы вся тепловая энергия, образованная в цилиндрах дизеля, превращалась в механическую, а отработавшие газы и детали, соприкасающиеся с ними, были холодными и отсутствовали потери на трение, то коэффициент полезного действия дизеля был бы равен 100%. Однако в действительности этого нет и быть не может. В наиболее совершенных дизелях примерно 40% тепла, введенного с топливом, превращается в полезную работу, а остальное тепло теряется с отработавшими газами, на нагрев деталей и преодоление сил трения. Достаточно указать, например, что температура нижних поршней дизеля 10Д100 в некоторых точках достигает 450°C. Лишь на 50—100°C ниже температура отдельных точек цилиндрических крышек дизелей 5Д49.

Если не принять специальных мер, то соприкасающиеся с горячими газами детали быстро перегреются, механическая прочность их уменьшится, пленка смазки между ними выгорит. Сухое трение сильно затруднит движение трущихся деталей и приведет к повреждению их рабочих поверхностей. Чтобы этого не случилось, нор-

мальное тепловое состояние деталей дизеля поддерживается с помощью специальной системы охлаждения.

Самый простой способ охлаждения — это рассеивание тепла в окружающую среду поверхностями самих деталей. Так и делают у дизелей небольшой мощности, используя воздушное охлаждение. Но для мощного дизеля такое решение задачи неприемлемо, так как размеры поверхностей нагреваемых деталей ничтожно малы по сравнению с тем количеством тепла, которое нужно отвести от них для нормальной работы. А увеличить эти размеры непосредственно в дизеле нельзя из-за ограниченных габаритов тепловоза. Где же выход?

Тепловоз в отличие от теплохода окружен только воздухом. Очевидно, окружающий воздух и есть та единственная среда, которая может окончательно поглотить тепло от нагреваемых деталей дизеля. Вот почему дизельный локомотив должен иметь устройство, отдающее в конечном счете тепло воздуху. Такое устройство, в котором тепло передается от среды, имеющей более высокую температуру, к среде с более низкой температурой, называется *теплообменником*.

На тепловозах проблема охлаждения деталей дизеля разрешена бла-

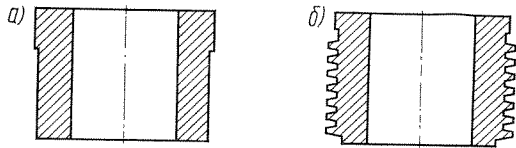


Рис. 94. Трубки:
а — с гладкой; б — с оребренной поверхностью

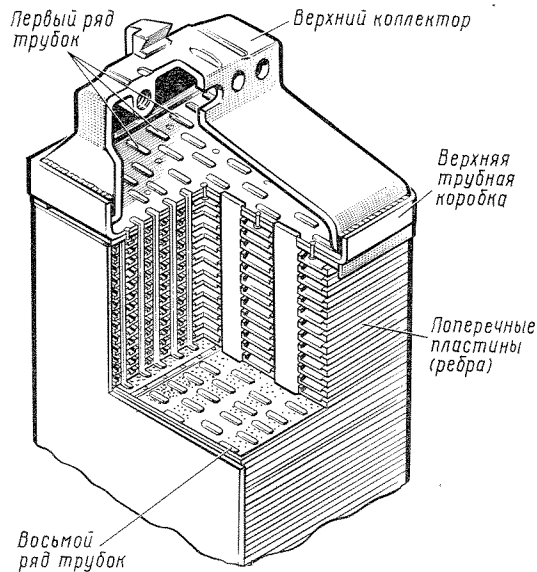


Рис. 95. Устройство водяной секции

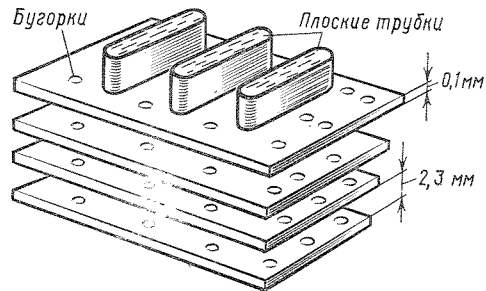


Рис. 96. Плоскоовальная форма трубок, округленных тонкими пластинами

годаря применению специальных теплообменников-холодильников, находящихся вне дизеля. Но воздух плохой теплоноситель. Поэтому приходится увеличивать (развивать) наружную поверхность холодильника. Чтобы понять, как это достигается, обратимся к рис. 94, где показаны две одинаковые трубки, которые отличаются между собой только тем, что одна из них (справа) снабжена тонкими пластинами (ребрами), расположенными поперечно к цилиндру. Благодаря этим ребрам наружная поверхность цилиндра, с которой тепло переходит в окружающий воздух, увеличивается в несколько раз. В этом и заключается смысл и значение оребрения.

Холодильник тепловоза состоит из так называемых секций (рис. 95), каждая из которых представляет собой комплект плоскоовальных трубок малого сечения (рис. 96). Чтобы получить более развитую поверхность охлаждения, на трубки по всей высоте нанизаны поперечные тонкие пластины (ребра). Трубки установлены в шахматном или коридорном порядке на определенном расстоянии друг от друга. Они изготовлены из латуни (сплава меди с цинком). Концы трубок вставлены и припаяны соответственно к верхней и нижней трубным решеткам. К бортам трубных решеток приварены крышки, которые образуют вместе с решетками трубные коробки, называемые коллекторами. Чтобы обеспечить высокую теплопроводность, пластины изготовлены из меди, но медь — дефицитный материал. Стремление уменьшить его расход и снизить массу холодильника привело к уменьшению толщины пластин до

0,08—0,1 мм. Именно такие пластины, разделенные между собой узкими промежутками (2,3 мм), позволяют увеличить общую наружную поверхность охлаждения одной секции до значительных размеров (29—30 м²) и в то же время придать трубкам нужную жесткость. Всего на трубки одной водяной секции холодильника тепловоза 2ТЭ10В надето 1040 пластин. Водяная секция имеет 68 рабочих трубок, по которым проходит вода.

Для снижения аэродинамического сопротивления секций холодильника трубки делают обтекаемой плоскоовальной формы (см. рис. 95 и 96). Чем больше поверхность плоскоовальных оребренных трубок в секции и чем больше секций в холодильнике, тем больше и поверхность охлаждения. Например, общая омываемая воздухом поверхность секций для охлаждения воды дизеля тепловоза 2ТЭ10В доходит до 547 м². Если же к этому добавить еще поверхность водяных секций, охлаждающих воду, которая используется для отвода тепла от масла (в теплообменнике) и наддувочного воздуха дизеля (в охладителе), то общая поверхность, омываемая воздухом, достигнет 1602 м².

Итак, необходимая по размерам очень развитая наружная поверхность охлаждения находится вне дизеля. Как же передать ей тепло от поверхности наиболее нагретых деталей, как перенести это тепло в другое место? Теплоносителями, т. е. переносчиками тепла, служат вода и масло, осуществляющие постоянную связь между дизелем и холодильником.

Вода и масло омывают поверхности нагревающихся деталей дизеля и,

отбирая тепло, нагреваются сами. Именно эти жидкости-теплоносители нуждаются в охлаждении. На всех тепловозах горячая вода охлаждается атмосферным воздухом в водяных секциях холодильника. Отвод тепла от секций будет интенсивнее, если их принудительно обдувать воздухом от вентилятора, подобно тому, как мы это делаем в жаркий летний день с помощью веера или настольного вентилятора. Для этой цели воздух, засасываемый одним или несколькими вентиляторами, прогоняется через секции холодильника и выбрасывается наружу. Скорость воздуха, проходящего через секции, достигает 8—10 м/с. Чем больше скорость воздуха, тем эффективнее передается тепло. Количество тепла, отдаваемого секциями, зависит и от температуры воды. Чтобы уменьшить размеры тепловозного холодильника, температуру воды, охлаждающей дизель, повышают до 80—95°С, а при закрытых системах охлаждения даже до 105—110°С. Закрытыми называют такие системы охлаждения, в которых вода находится под избыточным давлением, предупреждающим ее кипение при температурах более 100°С. Подача воды к секциям и обратно в дизель осуществляется насосами. Почему?

Движение жидкости по замкнутому трубопроводу называется *циркуляцией*. Различают циркуляцию естественную и принудительную. Если налить в сосуд любой формы (рис. 97) жидкость и начать ее подогревать, то жидкость в сосуде будет непрерывно перемещаться. Так как горячая жидкость легче холодной, то подогретые

снизу частицы ее будут подниматься, а на их место сверху поступит более холодная жидкость. Такое движение жидкости называется *естественной циркуляцией*. Но при естественной циркуляции жидкость движется медленно. Это не обеспечивает интенсивного отвода тепла от дизеля.

Чтобы ускорить циркуляцию и тем самым увеличить отвод тепла, на каждый дизель устанавливают насосы, которые принудительно перемещают охлаждающую жидкость с определенной скоростью. Описанная *замкнутая* система охлаждения дает возможность иметь сравнительно небольшое количество воды в системах охлаждения. А для тепловозов это очень важно, так как позволяет уменьшить массу и габариты устройств системы охлаждения. Поэтому на всех тепловозах применяются только *замкнутые* системы, в которых вода добавляется лишь для восполнения утечек и испарения.

Система охлаждения одного дизеля 10Д100 на тепловозе 2ТЭ10В вмещает 1450 кг воды.

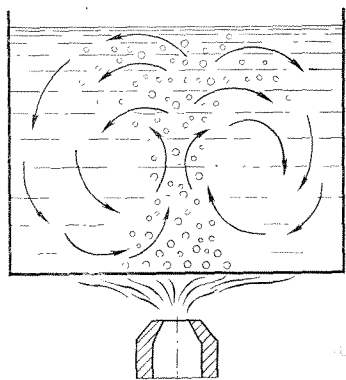


Рис. 97. Схема циркуляции воды в открытом сосуде

КАК ВОДА ОХЛАЖДАЕТ ДЕТАЛИ ДИЗЕЛЯ?

Безаварийная и экономичная работа тепловоза окажется невозможной, если в системе охлаждения будет циркулировать вода, по своему качеству не отвечающая определенным требованиям.

Природные воды, как правило, не годятся для охлаждения дизеля, так как они содержат механические примеси (частицы глины, песка) и растворенные соли. В среднем 1 т природной воды имеет 300—500 г примесей. Такая вода вызывает коррозию металла, отложения накипи и шлама на охлаждаемых поверхностях цилиндрических втулок, крышек и других деталей.

Коррозия разрушает детали дизеля, а накипь и шлам затрудняют передачу тепла от металла к воде. Это вызывает перегрев деталей, повреждение и более интенсивный износ их, снижает экономичность дизеля. Необходимо, чтобы вода для системы охлаждения дизеля имела незначительное количество солей, была свободна от взвешенных веществ и содержала противокоррозионные присадки, в качестве которых применяются растворы некоторых химических соединений (нитрит натрия, жидкое стекло, каустическая сода и тринатрийфосфат).

В связи с этим для охлаждения дизелей тепловозов применяется конденсат определенной жесткости, получаемый при охлаждении отработавшего пара любой котельной установки с добавлением присадок.

Расход тепловозами воды в эксплуатации на испарение и утечки составляет 5—7 л на 100 км пробега.

Проследим путь воды в водяной системе тепловоза (рис. 98). Когда начинает работать дизель, сразу же приходит в действие и водяной насос, так как он связан с коленчатым валом шестеренной передачей. При вращении рабочего колеса насоса охлажденная в холодильнике вода центробежной силой (поэтому насос называется *центробежным*) отбрасывается к стенкам корпуса насоса, откуда по трубе нагнетается к дизелю. Охлаждая детали дизеля, вода нагревается и поступает в водяные секции холодильника. Здесь температура воды снижается на 2—10°C в зависимости от нагрузки дизеля и режима работы вентилятора. Охлажденная вода снова возвращается к насосу и дизелю.

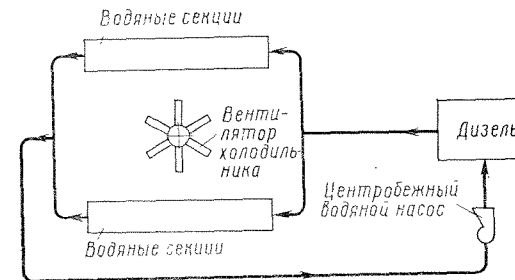


Рис. 98. Упрощенная схема водяной системы

Проследим теперь более подробно путь воды в водяной системе тепловоза 2ТЭ10Л (рис. 99). Начнем с того, что вода, нагнетаемая центробежным насосом, при давлении 0,314 МПа (3,2 кгс/см²) на номинальном

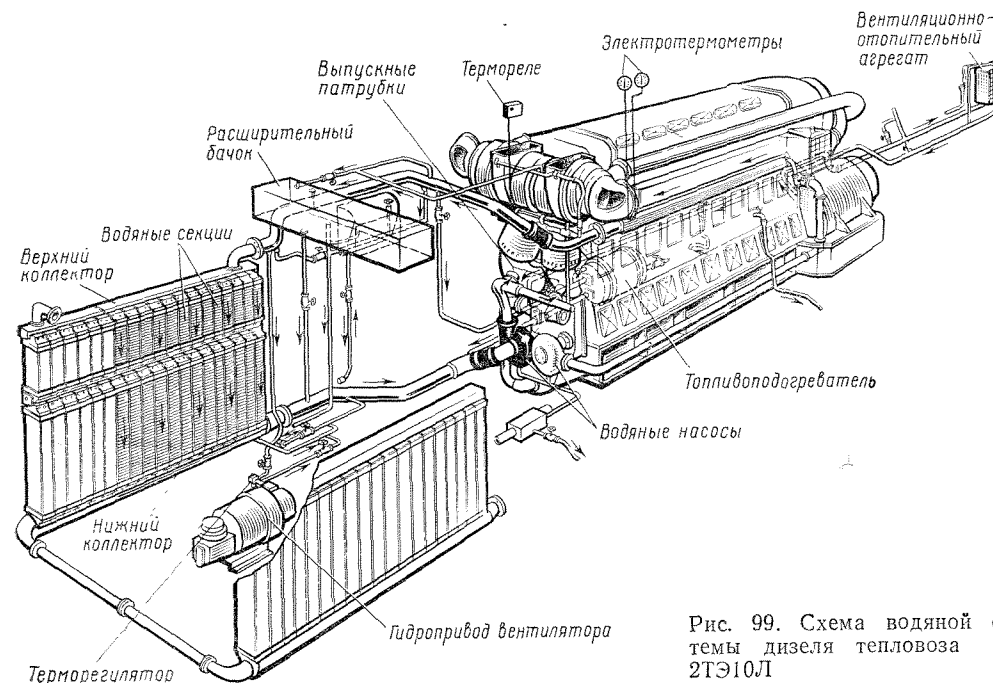


Рис. 99. Схема водяной системы дизеля тепловоза 2ТЭ10Л

режиме работы дизеля 10Д100, т. е. при 850 об/мин коленчатого вала, попадает в водяные полости двух выпускных патрубков. Отсюда она проходит в водяные полости правого и левого выпускных (газовых) коллекторов, расположенных с двух сторон дизеля 10Д100, и далее в охлаждающие полости выпускных коробок (рис. 100). Через переходные патрубки вода направляется в водяные рубашки всех десяти цилиндрических втулок дизеля.

Каждая втулка охлаждается водой в средней части. Верхняя часть втулки, находящаяся в отсеке воздушного ресивера, нагревается меньше, поэтому водяного охлаждения не име-

ет, а охлаждается наддувочным воздухом.

Охладив стенки указанных деталей, вода нагревается и поступает в отводящий водяной коллектор, расположенный вдоль дизеля. Из этого коллектора горячая вода направляется по трубопроводу к верхнему коллектору (см. рис. 99) холодильника и поступает во множество плоских трубок водяных секций (см. рис. 95), разделяясь, таким образом, на тонкие струйки. Проходя секции сверху вниз, вода через стенки трубок и пластины отдает тепло потоку воздуха, который их обдувает. Охлажденная вода из трубок секций попадает в нижний коллектор холодильника и по трубе снова засасывается водяным насосом для охлаждения деталей дизеля.

Самой верхней частью системы охлаждения является расширительный бачок, который наполнен водой. Обычно его устанавливают под крышей кузова тепловоза, т. е. выше дизеля и водяных секций. Благодаря такому расположению водяная система всегда заполнена водой; кроме того, пополняются возможные утечки и испарения из системы и компенсируются изменение объема воды при ее нагревании.

Итак, в описанной схеме вода, охлаждая детали дизеля, отдает свое тепло атмосферному воздуху, прогоняемому вентилятором через водяные секции тепловозного холодильника: она совершает замкнутый путь по одному кругу, или, как принято говорить, по одному контуру (см. рис. 98). Кроме того, в водяной системе есть трубопроводы небольшого диаметра для циркуляции воды через вентиляционно-отопительный агрегат (см. рис. 99),

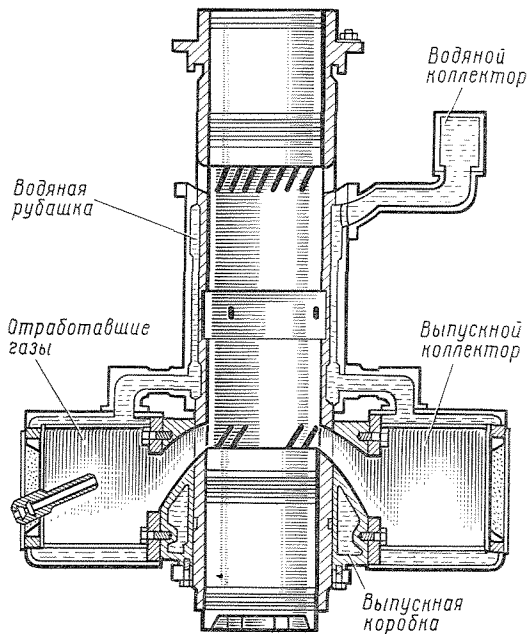


Рис. 100. Схема охлаждения втулки цилиндра дизеля и коллектора

топливоподогреватель, терморегулятор гидропривода вентилятора, а также для отвода воздуха и пара в расширительный бачок.

ЧЕМ ОХЛАЖДАТЬ МАСЛО?

На первый взгляд целесообразно использовать для этого атмосферный воздух, подобно тому как охлаждается вода. Так оно и осуществлено на тепловозах старой постройки (ТЭЗ, ТЭ2, ТЭ1), у которых масляные секции устроены аналогично водяным секциям. Отличие в том, что в водяных секциях трубки размещены в шахматном порядке, в то время как масляные секции имеют коридорное расположение трубок. Масляные секции отличаются от водяных также количеством трубок (их больше) и поперечными размерами трубок (они увеличены). Сделано это для того, чтобы облегчить проход по трубкам более вязкого (по сравнению с водой) дизельного масла. При движении по трубкам секций горячее масло, обдуваемое атмосферным воздухом, охлаждается на 4—12°C. Пройдя масляные секции холодильника (рис. 101), оно возвращается охлажденным к трущимся деталям дизеля. Однако на новых тепловозах от охлаждения масла воздухом отказались. Почему?

В трубках обычных масляных секций частицы масла движутся параллельно друг другу, не перемешиваясь между собой. Это объясняется тем, что масло имеет высокую вязкость и низкую скорость течения в трубках (около 0,25 м/с). Именно поэтому тепло от масла к стенке трубки передается

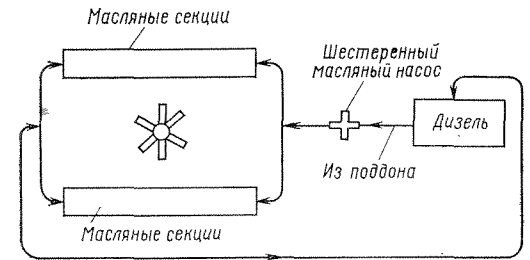


Рис. 101. Схема масляной системы тепловоза

плохо, примерно в 50—100 раз хуже, чем тепло от воды.

Соответственно и размеры масляного холодильника получаются в несколько раз больше, чем водяного, при одинаковой их теплоотдаче. Вторым крупным недостатком масляных секций — низкая эксплуатационная надежность. Давление масла в секциях достаточно высокое — до 0,588 МПа (6 кгс/см²) при работе дизеля и достигает даже 0,98 МПа (10 кгс/см²) при пуске холодного дизеля [в водяных секциях внутреннее давление не превышает 0,147 МПа (1,5 кгс/см²)]. Само же масло из-за большой вязкости и малой скорости течения в трубках часто зимой застывает, вызывая температурные деформации трубок.

Высокие внутренние давления, температурные деформации трубок приводят к появлению трещин в их стенках и к течу масла. Как увеличить теплоотдачу? Надо повысить скорость перемещения масла в трубках. Тогда частицы масла придут в беспорядочное движение, будут перемешиваться между собой, завихрятся. А в результате сильно увеличится теплоотдача и можно будет уменьшить число масляных секций, а значит, получить

экономии меди. К сожалению, достигнуть высоких скоростей масла из-за большой вязкости его практически невозможно: очень возрастают сопротивления. Где же выход? Инженеры дали такой ответ на этот вопрос. Нужно вызвать искусственное завихрение (турбулизацию) потока. Для этого внутри трубок (рис. 102) укрепляют специальные вставки, напоминающие решетки (турбулизаторы). При наличии таких вставок-решеток частицы масла даже при небольшой скорости (0,2—0,3 м/с) будут интенсивно перемешиваться, что приведет к большему (в 2,5—3 раза) теплообмену по сравнению с теплообменом без перемешивания частиц масла между собой (без турбулизаторов).

Такие холодильники устанавливались на тепловозах ТЭ10, на первых тепловозах ТЭП60, 2ТЭ10Л и опытных тепловозах ТЭЗ и позволили снизить расход меди на 1,5 т на тепловоз. Однако сложность изготовления, а главное, низкая эксплуатационная надежность и трудность очистки при ремонте побудили прекратить производство секций с турбулизацией потока масла. Конструкторы в поисках решения про-

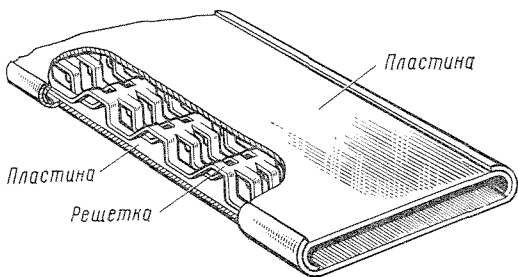


Рис. 102. Трубка со вставками-турбулизаторами

блемы повышения надежности сокращали в зимних условиях количество включенных масляных секций, пробовали подогревать воздух перед фронтом холодильника и проводили другие мероприятия. Однако наиболее перспективным оказался водомасляный теплообменник.

ВОДОМАСЛЯНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК

Такой теплообменник получает все большее распространение на тепловозах. Дело в том, что интенсивность передачи тепла от масла к воде *намного выше*, чем от масла к воздуху. Благодаря этому водяной теплообменник компактнее и легче, чем воздушный. Замена 2880 медных оребренных трубок (тепловоз ТЭЗ) компактным теплообменником позволяет, кроме того, сэкономить значительное количество цветного металла. А раз так, то можно увеличить толщину трубок до 1 мм (толщина трубок в водяной секции 0,55 мм), т. е. повысить прочность и надежность водомасляного теплообменника. Если к этому добавить, что температура атмосферного воздуха в нашей стране колеблется в очень широком диапазоне (от +45 до —55°C), а сам воздух, охлаждающий секции, нагревается, то станет ясно, что маслотовоздушные секции работают в неблагоприятных температурных условиях, что приводит к деформациям трубок и повреждению секций.

Где размещают водомасляный теплообменник, видно на рис. 103. Охлаждающая вода проходит внутри вертикальных трубок (рис. 104), укрепленных в отверстиях верхней и ниж-

ней досок (решеток), а масляный поток направляется *поперек* этих трубок и при этом делает несколько поворотов (от одной стороны корпуса теплообменника к другой), так как вынужден огибать лабиринт из поперечных перегородок. Встречая на своем пути трубки с водой, масло отдает им часть тепла.

Итак, водомасляный теплообменник обладает хорошими качествами. Но масло и вода — враги. Если вода проникнет в масло, оно потеряет смазочные качества; если масло просочится в воду, произойдет замасливание охлаждаемых поверхностей цилиндрических втулок, крышек цилиндров дизеля, внутренних поверхностей трубок холодильника. Детали дизеля, окутанные масляной пленкой, плохо проводящей тепло, будут охлаждаться недостаточно и могут выйти из строя из-за чрезмерного перегрева. Этому будет способствовать и перегрев воды, плохо охлаждающейся в замасленном холодильнике. Чтобы этого не случилось, трубки должны быть соединены с решетками не только прочно, но, что особенно важно, герметично: технологам приходится решать сложную задачу.

Вот почему концы трубок не только развальцовывают в отверстиях трубных решеток, но и припаяют к ним посредством погружения в расплавленный припой. В теплообменнике неподвижно устанавливают только одну трубную решетку. Вторая трубная решетка, к которой присоединены противоположные концы трубок, может свободно перемещаться относительно корпуса теплообменника. Изменение температуры не мешает трубкам сво-

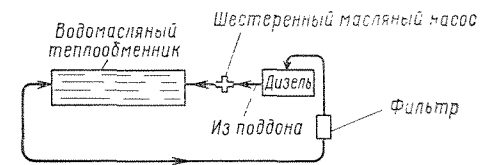


Рис. 103. Схема размещения водомасляного теплообменника

бодно расширяться или сжиматься. Поэтому они не испытывают температурных напряжений, которые так пагубно сказываются на маслотовоздушных секциях.

Для охлаждения воды, используемой в свою очередь для отвода тепла от масла, применяют специальный водовоздушный холодильник. Естественно, это несколько усложняет оборудование тепловоза. Однако эта проблема решается наиболее просто, если применять на тепловозах дизели, которые могут надежно работать при повышенных температурах масла (до 95—100°C).

В этом случае масло охлаждается водой из системы охлаждения дизеля, поэтому отпадает необходимость в применении отдельного водовоздушного холодильника тепловоза. Например, на тепловозах ТГ102 водовоздушные холодильники служат лишь для охлаждения воды дизелей. Эта же вода пропускается через водомасляные холодильники дизеля и гидротрансформатора и охлаждает в них масло. Система водяного охлаждения имеет всего один контур и соответственно один насос.

Опыт эксплуатации тепловозов с водомасляными теплообменниками показал их высокую надежность.

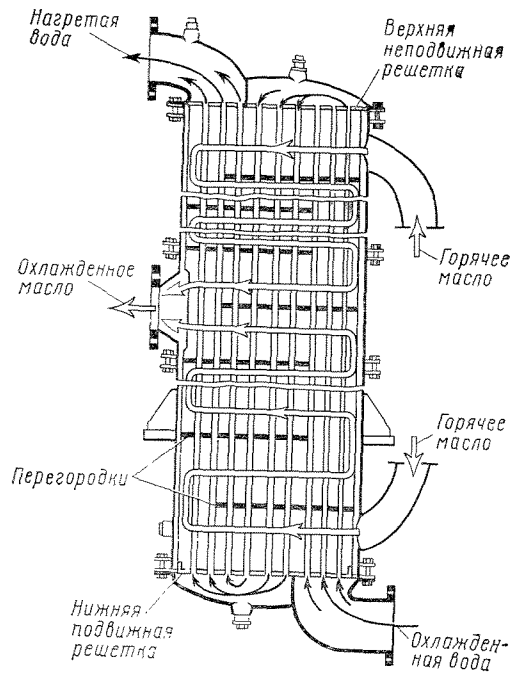


Рис. 104. Схема устройства и работы водомасляного теплообменника

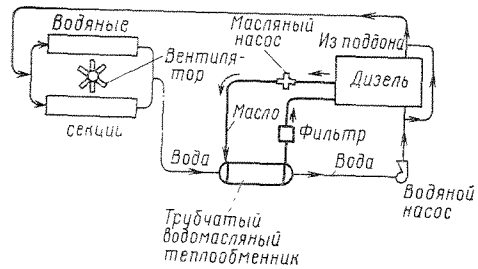


Рис. 105. Схема охлаждения масла с трубчатым водомасляным теплообменником

Принципиальная схема охлаждения масла с трубчатым теплообменником показана на рис. 105.

ЧЕМ ОХЛАЖДАТЬ НАДДУВОЧНЫЙ ВОЗДУХ?

Почему надо охлаждать наддувочный воздух, говорилось в гл. 2. Значит, без теплообменника-воздухоохладителя не обойтись. На мощных дизелях, таких, как 10Д100, 11Д45, Д49, Д70 и др., наддувочный воздух охлаждается водой. Водовоздушные теплообменники различаются по конструкции и эффективности теплопередачи. Но принцип действия их схож. Рассмотрим принципиальную схему охлаждения наддувочного воздуха на примере дизеля 11Д45А (рис. 106). Водяной насос заставляет воду циркулировать внутри трубок воздухоохладителя, расположенных в шахматном порядке. Снаружи оребренные пучки трубок омываются потоком горячего наддувочного воздуха давлением 0,147—0,196 МПа (1,5—2 кгс/см²), поступающего от турбонагнетателя (I ступень наддува). Наддувочный воздух отдает часть своего тепла воде. Затем охлажденный наддувочный воздух поступает в центробежный приводной нагнетатель (II ступень наддува), в котором давление воздуха дополнительно повышается еще на 0,029—0,049 МПа (0,3—0,5 кгс/см²). Далее сжатый воздух направляется в цилиндры дизеля. А что с водой? Вода, охлаждающая наддувочный воздух, в свою очередь охлаждается атмосферным воздухом в водяных секциях, которые установлены в общем

холодильнике тепловоза. Нетрудно догадаться, что при таком способе охлаждения наддувочного воздуха несколько увеличивается общая масса тепловоза. Поэтому конструкторы заинтересованы в компактном, относительно легком и в то же время эффективном охладителе наддувочного воздуха. Это тем более важно, что тепловоzостроители увеличивают мощность тепловозов в одной секции.

Как же упростить задачу и избавиться от водовоздушного холодильника больших размеров?

Создатели самого мощного в мире пассажирского тепловоза ТЭП75 [один дизель обладает мощностью 4400 кВт (6000 л. с.)], построенного Коломенским тепловоzостроительным заводом, решили эту важную задачу так. Они расположили в кузове тепловоза легкие алюминиевые секции особой конструкции. В этих секциях наддувочный воздух охлаждается не водой, а непосредственно атмосферным воздухом (прогоняемым вентилятором), температура которого значительно ниже температуры наддувочного воздуха. В результате удалось не только снизить массу и уменьшить габариты теплообменника, но и сократить расход энергии на охлаждение наддувочного воздуха дизеля. Опытный тепловоз ТЭП75 сейчас проходит испытания. Вернемся, однако, к обычным тепловозам.

Общее представление о «маршруте» воды, охлаждающей наддувочный воздух и масло, дает рис. 107. Приводимый от дизеля (условно это показано штриховой линией) водяной насос нагнетает воду, охлажденную в водяных секциях, к теплообменнику наддувоч-

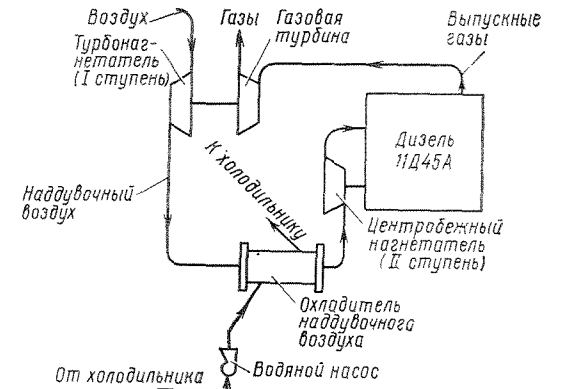


Рис. 106. Схема охлаждения наддувочного воздуха дизеля 11Д45А

ного воздуха; охладив этот нагретый при сжатии воздух, вода направляется для охлаждения масла. Из водомасляного теплообменника она по трубопроводу проходит в водяные секции холодильника тепловоза. Охлажденная вода снова возвращается к насосу.

Таким образом, на тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, ТЭП60, ТЭП70, 2ТЭ116 имеется также наряду с первым контуром (см. с. 138) второй отдельный контур. В первом контуре вода отводит тепло от деталей дизеля, а во втором контуре — от наддувочного воздуха и горячего масла (если тепловоз оборудован водомасляным теплообменником). Сама же вода как из первого, так и второго контура охлаждается в водовоздушных секциях холодильника тепловоза. Такая водяная система получила название *двухконтурной*.

Может возникнуть вопрос: зачем понадобился второй контур? Для того

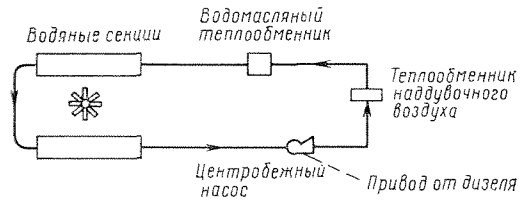


Рис. 107. Схема второго контура водяной системы тепловоза

чтобы поддерживать в нем более низкую, чем в первом контуре, температуру воды (40 — 65°C). Благодаря этому удастся понизить температуру наддувочного воздуха и масла, а значит, повысить надежность работы деталей и узлов тепловозных дизелей. Более глубокое охлаждение наддувочного воздуха позволяет, кроме того, улучшить сгорание топлива в цилиндрах и несколько повысить экономичность тепловозных дизелей.

СХЕМА ВНУТРЕННЕЙ МАСЛЯНОЙ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЯ

В дизеле тепловоза очень много трущихся деталей, совершающих как вращательное, так и поступательное движение. Любопытно, что на преодо-

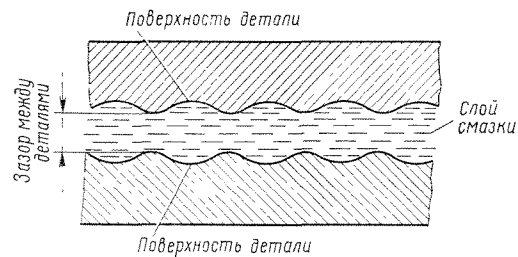


Рис. 108. Схема жидкостного трения

ление сил трения в современном форсированном дизеле затрачивается примерно пятая часть развиваемой в цилиндрах мощности. Трение называется *жидкостным* (рис. 108), если между трущимися поверхностями имеется слой смазки, которая не позволяет микроскопическим неровностям деталей задевать друг за друга. Если слой смазки недостаточен, то он не в состоянии полностью отделить соприкасающиеся поверхности. В этом случае в местах наибольшего сближения их масляная пленка разрывается, и трение становится *полусухим*. Полусухое трение появляется, например, между шейками коленчатого вала и подшипниками при пуске дизеля, так как при неподвижном состоянии вала масло выдавливается из подшипников. Все трущиеся детали дизеля смазываются во время работы непрерывно. Подача смазки к каждому узлу производится по трубкам, ответвляющимся от основного маслопровода, называемого *масляным коллектором*. Масло подается к местам трения под давлением в несколько атмосфер. Масляный насос приводится от коленчатого вала через систему зубчатых колес.

Масло используется не только для снижения трения в дизеле, но и для охлаждения таких деталей, от которых отводить тепло водой трудно: это поршни, подшипники коленчатого вала и др. После того как масло пройдет через места смазки деталей дизеля и охладит поршни, оно стекает в поддон, являющийся сборником масла.

Проследим путь масла внутри дизеля тепловоза 2ТЭ10В (рис. 109). Охлажденное масло подается одновременно в нижний масляный коллек-

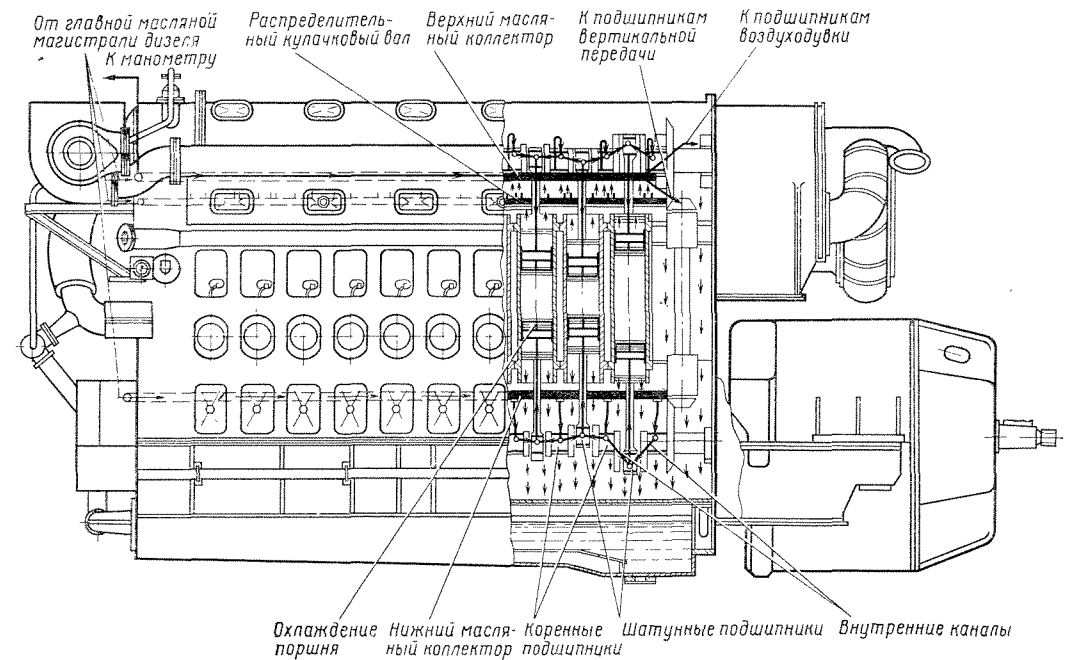


Рис. 109. Схема циркуляции масла внутри дизеля

тор, расположенный в отсеке нижнего коленчатого вала, и в верхний масляный коллектор, размещенный в отсеке верхнего коленчатого вала. Это сделано для того, чтобы равномернее распределить масло между подшипниками верхнего и нижнего коленчатых валов, а также для того, чтобы улучшить охлаждение верхних поршней. От нижнего коллектора дизеля оно подается по трубкам к коренным подшипникам нижнего вала. Отсюда по внутренним каналам вала масло проходит к шатунным подшипникам коленчатого вала. Часть масла поступает к подшипникам верхних головок шатунов и на охлаждение

поршней. Для этого внутри стержня каждого шатуна сделаны сквозные каналы (сверления) от одной головки шатуна до другой. Поступающее из шатуна масло омывает внутреннюю полость поршня, проходя со скоростью до 1 м/с по каналам, сделанным в головке поршня. Смазав детали нижнего шатунно-кривошипного механизма и охладив головки поршней, масло, как уже знает читатель, стекает в поддон, откуда снова засасывается насосом.

От верхнего масляного коллектора дизеля масло поступает к деталям верхнего шатунно-кривошипного механизма точно так же, как в отсеке ниж-

него коленчатого вала. Кроме того, от верхнего коллектора отводится смазка и к подшипникам кулачковых валов топливных насосов; через просверленные внутри вала внутренние каналы она подводится к остальным подшипникам и приводным шестерням этих валов. Сделаны также отводы к другим трущимся деталям, нуждающимся в смазке: к зубьям конических шестерен вертикальной передачи, подшипникам нижнего и верхнего валов этой передачи. Специальные подводы смазки имеются к приводу насосов и другим узлам.

Мы ознакомились с непрерывной подачей смазки под давлением к основным местам трения в дизеле во время его работы. Наряду с этим в тепловозных дизелях отдельные детали смазываются разбрызгиванием. Разбрызгивают масло шатунно-кривошипный механизм, шестерни, приводящие во вращение кулачковые валы топливных насосов, и другие движущиеся детали. При этом образуется масляный туман. Брызги масла попадают на механизм системы управления и шестерни привода регулятора частоты вращения вала дизеля и смазывают их.

В виде капель масло, вытекающее из шатунных подшипников коленчатого вала, попадает на стенки втулок цилиндров и смазывает их, образуя масляную пленку.

СХЕМА ВНЕШНЕЙ МАСЛЯНОЙ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЯ

Ознакомимся с этой схемой (рис. 110) на примере дизеля 10Д100. Горячее масло из поддона (ванны) на-

гнетается под давлением 0,3—0,6 МПа (3—6 кгс/см²) шестеренным насосом в водомасляный теплообменник. Схема работы масляного насоса ясна из рис. 111. Подача (производительность) его составляет 120 м³/ч при частоте вращения коленчатого вала дизеля 850 об/мин. Охлажденное в теплообменнике масло возвращается в дизель и по внутренней масляной системе поступает ко всем трущимся поверхностям деталей, а также к поршням дизеля для их охлаждения. Масло, прошедшее через дизель, стекает в поддон. Для очистки масла применяются фильтры (о том, как устроены и работают фильтры, мы узнаем в гл. 10). По пути из теплообменника в дизель масло проходит через фильтр грубой очистки. Это основной контур внешней масляной системы. Часть горячего масла (5—6% всей подачи) после насоса отводится не к теплообменнику, а к фильтру тонкой очистки. Очищенное в этом фильтре масло возвращается, как это видно из рисунка, в поддон дизеля.

Есть и дополнительные контуры. Перед пуском дизеля в его масляную систему в течение 90 с (предварительно) нагнетают масло. Почему 90 с? 90 с — время, достаточное для того, чтобы масло дошло до всех трущихся деталей (подшипников и т. п.). Это не только уменьшает их износ, но и облегчает начало вращения (раскрутку) коленчатого вала. При прокачивании масло циркулирует по маршруту: поддон дизеля — маслопрокачивающий насос — невозвратный клапан — фильтр грубой очистки — внутренняя масляная система дизеля — поддон дизеля. Во внешней масляной

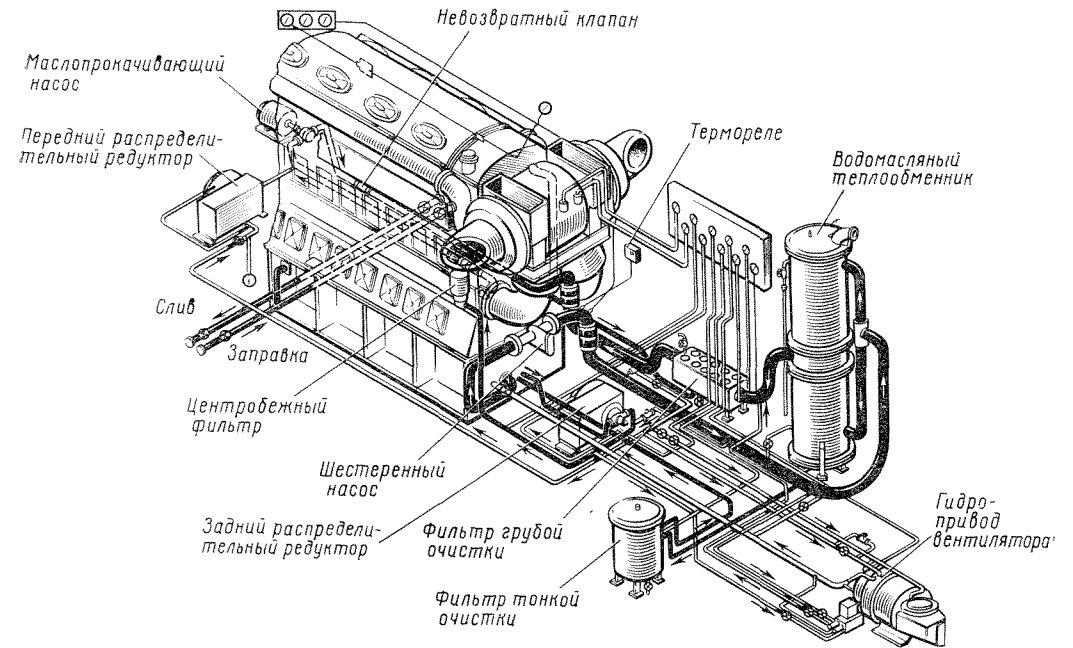


Рис. 110. Схема внешней масляной системы дизеля

системе имеется еще контур циркуляции для очистки масла в центробежном фильтре: поддон дизеля — масляный насос центробежного фильтра — разгрузочный (перепускной) клапан — центробежный фильтр — поддон дизеля. Если давление масла после насоса превысит допустимое, разгрузочный клапан откроется и пропустит часть масла в основной контур. На тепловозах имеются также дополнительные контуры, которые обеспечивают подачу масла к вспомогательным механизмам тепловозов: в гидропривод вентилятора холодильника, в передний и задний распределительные редукторы. Масло из них сливается в поддон дизеля.

Если по какой-либо причине давление масла, идущего к дизелю, сильно упадет, или масло перегреется, или, что еще хуже, подача его внезапно прекратится, аварии не произойдет,

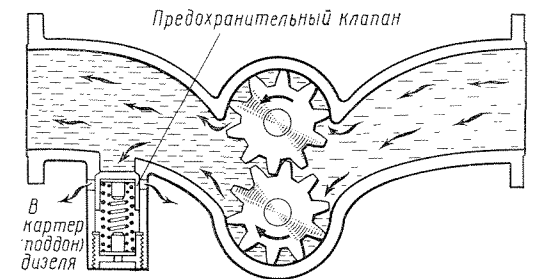


Рис. 111. Схема работы масляного шестеренного насоса

так как масляная система оборудована автоматическими устройствами (реле), которые остановят дизель. Кроме того, за работой системы неотступно следят измерительные приборы.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Температура охлаждающих жидкостей на современных тепловозах регулируется *автоматически*, без участия машиниста. Машинист во время движения поезда по приборам на пульте управления контролирует температурное состояние дизеля. Систему авторегулирования температурного режима дизеля, сокращенно называемую *САРТ*, образует комплекс устройств, главные из которых: устройство для изменения частоты вращения вентилятора холодильника, например гидромуфта переменного наполнения, электродвигатель, гидромотор, терморегуляторы, реле управления жалюзи и др. САРТ — это глаза и руки машиниста. САРТ непрерывно, словно автоматический диспетчер, следит за

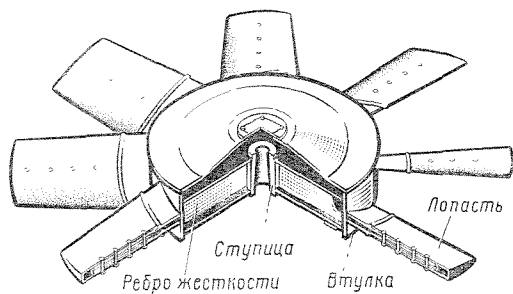


Рис. 112. Восьмилопастное колесо осевого вентилятора

температурой охлаждающих жидкостей. Если температура воды и масла возрастает и подходит к установленному пределу, САРТ плавно, без вмешательства машиниста увеличивает частоту вращения колеса вентилятора. Как это достигается, мы узнаем после краткого ознакомления с устройством вентилятора и его привода.

Вентилятор представляет собой колесо с лопастями (рис. 112). Главная задача вентилятора — прогнать через секции холодильника как можно больше воздуха и при этом затратить как можно меньше мощности. Все же на привод вентилятора современного тепловоза расходуется от 3 до 5% мощности дизеля. Например, на тепловозе 2ТЭ10В при наибольшей частоте вращения вала привод вентилятора потребляет около 140 кВт (190 л. с.). Какова же максимальная подача (производительность) вентилятора? Она измеряется сотнями тысяч кубических метров воздуха (для секции тепловоза 2ТЭ10В — 240 000 м³/ч).

Чтобы обеспечить такую высокую производительность, вентиляторное колесо обычного центробежного вентилятора должно быть большого диаметра. В габаритах тепловоза разместить его трудно. Как же быть? Оказывается, для условий работы на тепловозе хорошо подходит осевой вентилятор. Поток воздуха, нагнетаемого таким вентилятором, направлен вдоль его оси подобно воздушному винту самолета. Осевой вентилятор удается удобно расположить в стесненных габаритах тепловоза, обычно его устанавливают в крыше тепловоза.

Вот почему почти на всех тепловозах применяются только осевые венти-

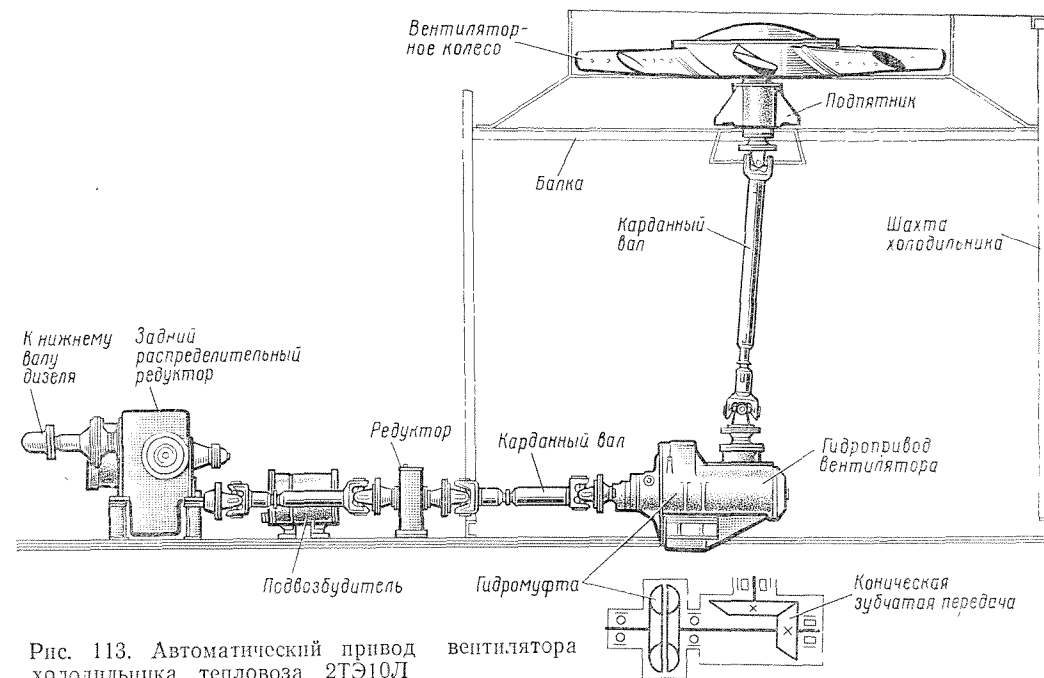


Рис. 113. Автоматический привод вентилятора холодильника тепловоза 2ТЭ10Л

ляторы. Диаметр колеса вентилятора достигает, например на тепловозе 2ТЭ10Л, 2 м, а максимальная частота вращения 1160 об/мин.

У привода вентилятора холодильника (рис. 113) прежде всего бросается в глаза длинный валопровод (около 4 м). На тепловозах вентилятор холодильника расположен далеко от дизеля, от которого он приводится во вращение. Одним концом валопровод соединен с нижним коленчатым валом дизеля, а другим — с гидроприводом вентилятора. Мощность от вала дизеля к вентилятору холодильника передается через распределительный редуктор. Этот редуктор передает мощность для привода трех потре-

бителей: вентилятора холодильника, подвозбудителя и вентилятора охлаждения тяговых электродвигателей задней тележки.

Чтобы при пуске дизеля или резких изменениях частоты вращения коленчатого вала оградить приводы этих агрегатов от ударной нагрузки, распределительный редуктор имеет гидромуфту, почему он и называется *гидромеханическим*.

На тепловозах 2ТЭ10В и 2ТЭ10Л частота вращения вентиляторного колеса изменяется (регулируется) не ступенчато, а плавно и непрерывно с помощью так называемой гидродинамической муфты переменного наполнения маслом. Вместе с конической зуб-

чатой передачей она образует гидропривод вентилятора, размещаемый в общем корпусе (см. рис. 113). Гидромуфта (см. рис. 8) состоит из насосного и турбинного колес, заполняемых маслом из системы смазки дизеля.

Всегда ли вентилятор должен работать с наибольшей частотой вращения? Очевидно, нет. Все зависит от наружной температуры воздуха и нагрузки дизеля. Палящая жара и январские морозы, а также изменения мощности дизеля вызывают необходимость регулировать в широких пределах количество воздуха, прогоняемого через секции холодильника, а то и вовсе выключать вентилятор.

Количество воздуха, просасываемого вентилятором через холодильник, зависит от частоты вращения вентилятора и положения створок жалюзи. Жалюзи представляют собой заслонки, которые могут поворачиваться вокруг своей продольной оси и изменять

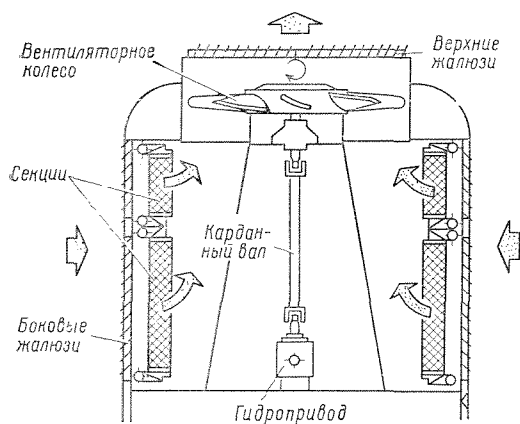


Рис. 114. Поперечный разрез шахты холодильника

сечение для прохода воздуха. Боковые жалюзи установлены снаружи секций холодильника (рис. 114), а верхние — над вентиляторным колесом. Для предупреждения чрезмерного охлаждения воды и масла в секциях в зимний период поверх боковых жалюзи приходится навешивать специальные чехлы.

Управление жалюзи и гидромуфтой вентилятора автоматизировано. Есть такое воскообразное вещество — *церезин*. Одно из его свойств — способность в определенном диапазоне температур плавиться и, как следствие, значительно расширяться в объеме. Например, при повышении температуры церезина от 50 до 80°C объем его увеличивается на 14—15%. Конструкторы решили воспользоваться этим свойством церезина и наполняют им датчики, которые «командуют» частотой вращения колеса вентилятора и открытием жалюзи. Задача решается относительно просто. Баллончик, плотно закрытый с одного конца (на тепловозе 2ТЭ10В он имеет вид змеевика), заполняют церезином (рис. 115). Размещают баллончик так, чтобы его омывала горячая жидкость. Как только температура воды или масла достигает установленного предела, церезин плавится, расширяется в объеме и начинает перемещать резиновую пробку, поршень со штоком и, преодолевая усилие пружины, толкатель. На этом командные функции термобаллончика заканчиваются.

Шток перемещает кулачок, который с помощью рычажков замыкает различного назначения микровыключатели. Собираются электрические цепи включения электропневматических

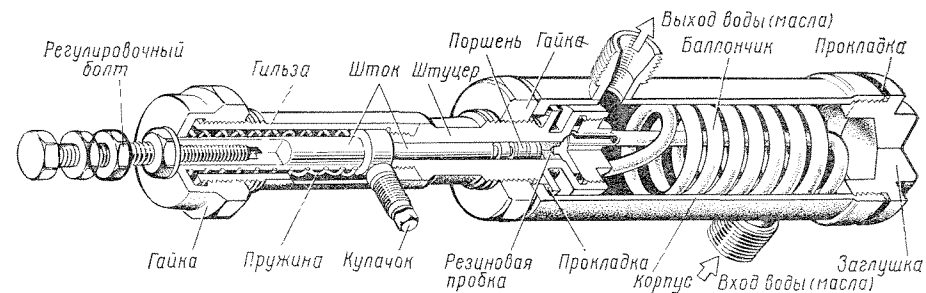


Рис. 115. Схема устройства терморегулятора привода жалюзи

вентилей, автоматически открываются створки соответствующих жалюзи (боковые или верхние). Если температура воды продолжает повышаться, то шток термобаллона воздействует (посредством золотника и других деталей) на серводвигатель, который с помощью гидромуфты плавно и непрерывно увеличивает частоту вращения колеса вентилятора.

При понижении температуры воды и масла, а также температуры окружающей среды процесс автоматического регулирования происходит в обратном порядке. Таков принцип действия системы САРТ на тепловозах

2ТЭ10Л и 2ТЭ10В. На других тепловозах, в частности ТЭП60, ТЭП70 и ТЭП75, терморегуляторы имеют другую конструкцию. С их помощью изменяется расход масла, поступающего к гидродвигателям, которые приводят во вращение вентиляторные колеса холодильника.

Наряду с автоматическим управлением предусмотрено ручное, но им машинисты пользуются только в случае отказа системы САРТ или при сильных боковых ветрах (с пылью, снегопадом, дождем), когда требуется держать закрытыми жалюзи с одной стороны тепловоза и открытыми с другой.

ВАЖНОЕ УСЛОВИЕ НАДЕЖНОЙ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ

Масло, топливо, воздух, без которых работа дизелей невозможна, обычно содержат посторонние твердые частицы, размер которых не превышает 10—20 мкм (пыль). Твердые частицы представляют большую угрозу для трущихся деталей. Особенно опасны «остроконечные» частички кварца, так как они тверже даже стали. Если не принять специальных мер, то эти частицы, попав внутрь цилиндров дизеля, топливных насосов и других узлов, имеющих трущиеся детали, проникнут в самые маленькие зазоры между ними и, вклинившись в поверхности трения, металл которых более мягок, исцарапают их. Это вызовет быстрый износ, сопровождающийся увеличением первоначального зазора между трущимися поверхностями и искажением их геометрической формы. Например, искажение геометрической формы уплотнительного кольца может вызвать утечку воздуха при такте сжатия в цилиндре, что ухудшит условия воспламенения топлива при впрыске. При больших зазорах увеличивается утечка масла и ухудшаются условия смазки трущихся деталей. Отрицательно сказывается на техническом состоянии дизеля увеличение зазо-

ра между поршнем и цилиндровой втулкой, в подшипниках валов, между плунжером топливного насоса и его втулкой.

Кроме того, по мере работы в дизеле масло засоряется частицами металла, образующимися в результате истирания сопряженных деталей, отвердевшими частицами сгоревшего топлива, продуктами разложения масел и т. п. Будучи загрязненным, масло, предназначенное для уменьшения износа, само начинает ускорять износ смазываемых им трущихся деталей, поэтому очень важно вовремя улавливать и отделять от масла посторонние частицы.

Для борьбы с загрязнением топлива, масла и воздуха тепловозные дизели снабжаются специальными устройствами: топливными и масляными фильтрами, воздухоочистителями и др.

ФИЛЬТР ГРУБОЙ ОЧИСТКИ МАСЛА

Чтобы «поймать» продукты, загрязняющие масло, в масляную систему каждого тепловозного дизеля включено несколько своеобразных ловушек. Самой простой из них является сетка, закрывающая поддон поддизельной рамы, где хранится масло. На тепловозе сетка имеет много отверстий (яче-

ек) диаметром 1,5 мм, поэтому она задерживает частицы размером только свыше 1,5 мм.

Масло из поддона в масляный коллектор дизеля попадает, как уже указывалось (см. 146), через специальный фильтр, который задерживает относительно крупные частицы (размером более 0,15 мм), содержащиеся в масле, отчего этот фильтр называется фильтром *грубой* очистки. В его конструкцию заложена идея щелевой решетки, напоминающей гребенку. Решетка образуется из набора тонких круглых пластинок с восемью вырезами в каждой (рис. 116, а и б) и

прокладок, отделяющих пластинки друг от друга (толщина прокладки 0,15 мм определяет кольцевой зазор-щель между пластинками и, следовательно, размер улавливаемых частиц). Несколько сотен таких чередующихся между собой пластинок и прокладок своими центральными отверстиями насажены на вертикальный валик, снабженный сверху рукояткой, и плотно прижаты друг к другу.

Масло, поступающее от насоса под давлением к фильтру, вынуждено разделяться на сотни плоских струек. Двигаясь с маслом, твердые частицы (размером больше 0,15 мм) попада-

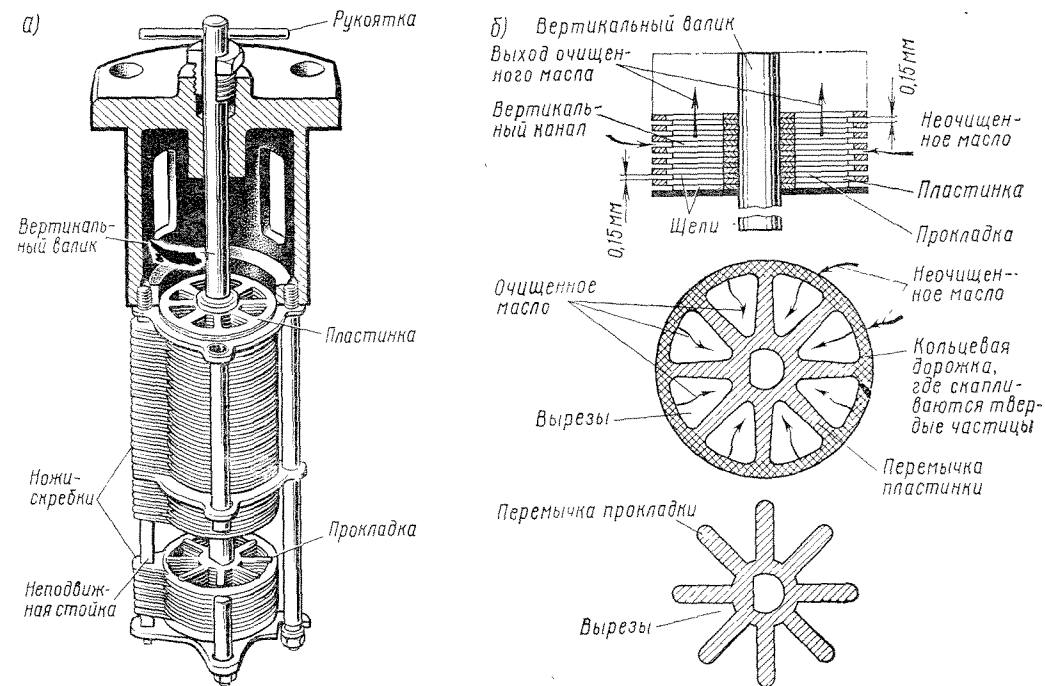


Рис. 116. Устройство пластинчато-щелевого фильтра грубой очистки масла

ют в кольцевые зазоры и застревают там или остаются на поверхности фильтра, а масло, продавливаемое через щели, уходит в вертикальные каналы, образованные всеми вырезами в пластинках и прокладках. Частицы размером меньше высоты щели (зазора) проходят через фильтр с потоком масла, не задерживаясь.

Корпус, где помещаются фильтры, разделен на две изолированные друг от друга камеры (рис. 117): для очищенного и неочищенного масла. В корпусе установлено несколько одинаковых фильтрующих элементов-секций, которые работают параллельно. При фильтрации масла твердые частицы, застревают в щелях, постепенно забивают их. Поэтому щели фильтра нужно периодически очищать.

Для этого рядом с фильтром крепят на неподвижной стойке ножи-скребки (см. рис. 116, б), число которых равно числу щелей. Ножи входят в

зазоры между пластинками, где скапливается грязь. Чтобы удалить твердые частицы с наружной поверхности фильтра, помощник машиниста (или машинист), несколько раз поворачивая рукоятку фильтра, вращает тем самым весь набор пластинок относительно неподвижных ножей. Накопившиеся твердые частицы, наталкиваясь на ножи, сбрасываются в камеру неочищенного масла (см. рис. 117) и оседают на дно корпуса. Таким образом в камеру очищенного масла они не попадают.

А что произойдет, если вовремя не прочистить фильтр? В этом случае он полностью засорится и подача масла через него прекратится. Чтобы детали дизеля не остались без смазки, перед фильтром ставится перепускной клапан (рис. 118). Если фильтр будет загрязнен, давление масла у входа в фильтр возрастает. При чрезмерном повышении давления масло сожмет

пружину клапана (см. рис. 117, правую часть), который поднимется и пропустит мимо фильтра неочищенное масло к деталям дизеля: это лучше, чем работа дизеля вообще без смазки. Фильтр грубой очистки включается в поток масла *последовательно*, поэтому через него проходит все масло. Однако эти фильтры не задерживают частиц, меньших 0,15 мм. Поэтому очистка масла недостаточно полная.

В отличие от описанных *пластинчато-щелевых фильтров* на некоторых тепловозах применяются *проволочно-щелевые фильтры* грубой очистки масла.

ФИЛЬТР ТОНКОЙ ОЧИСТКИ МАСЛА

Чтобы в зазоры между деталями дизеля меньше проникло твердых частиц (размером меньше 0,15 мм), в систему смазки дизелей включается еще один фильтр, называемый фильтром *тонкой* очистки. Но фильтр тонкой очистки, задерживающий частицы значительно тоньше волоса, создает *большое сопротивление* для прохода масла. Если такой фильтр включить в систему смазки *последовательно*, т. е. так же, как и фильтр грубой очистки, то для пропуска большого количества масла потребовалось бы в несколько раз увеличить размеры фильтра или затрачивать очень большую мощность на прокачивание масла. Поэтому фильтр тонкой очистки включается в систему смазки не *последовательно*, а *параллельно* основному потоку масла (см. рис. 118). Он стоит на ответвлении, и через него проходит только часть потока масла (до 5—6%). Эта часть профильтрованного масла сли-

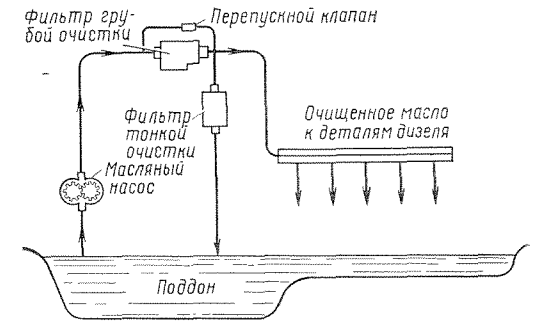


Рис. 118. Схема размещения фильтра тонкой очистки масла

вается в поддон, непрерывно освежая масло в системе. На первый взгляд работа такого фильтра кажется бесполезной, так как масло, прошедшее через него, не подается к деталям дизеля. Но это неверно. В масляной системе дизеля содержится 1,7 м³ масла (тепловоз 2ТЭ10В), а подача (производительность) шестеренного насоса равна 120 м³/ч. Значит, весь объем масла проходит по системе 70 раз в течение часа (120:1,7). Если при каждом кругообороте масла одна двадца-

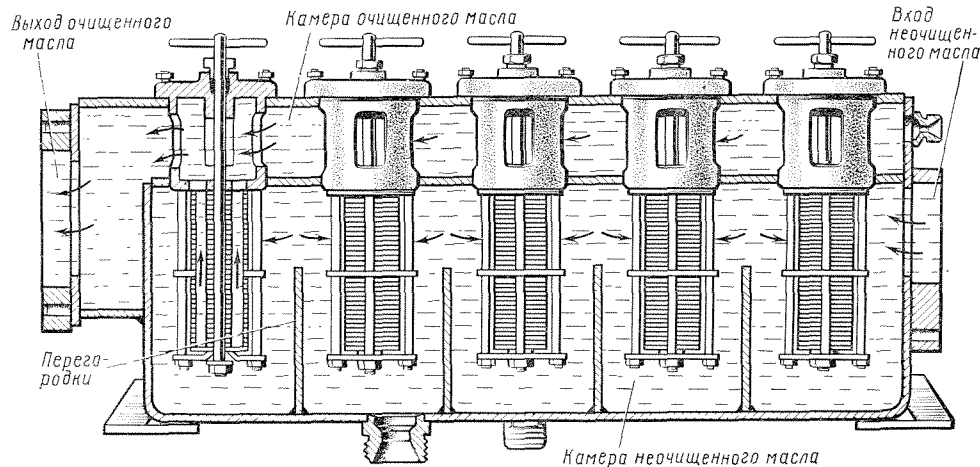


Рис. 117. Корпус фильтра грубой очистки масла и его камеры

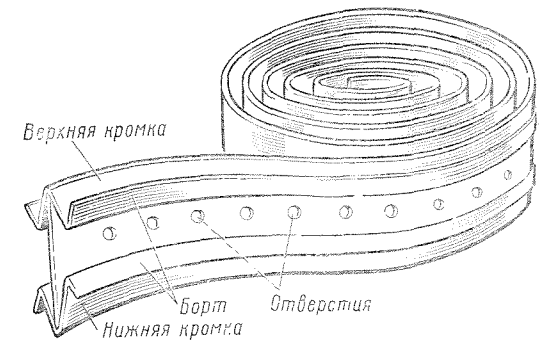


Рис. 119. Лента фильтра тонкой очистки масла

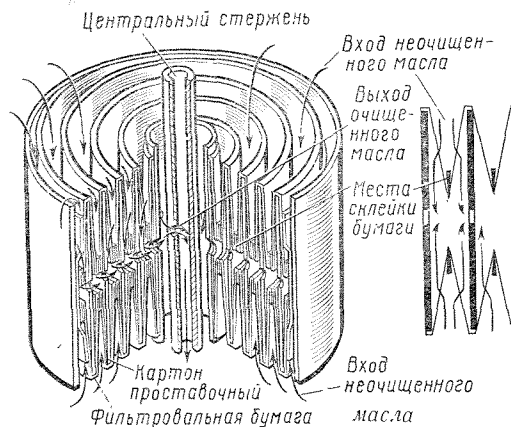


Рис. 120. Разрез секции фильтра тонкой очистки масла

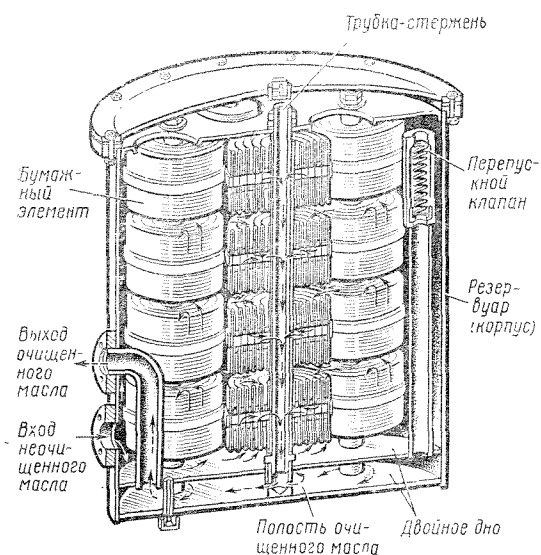


Рис. 121. Размещение фильтрующих элементов (секций) в корпусе фильтра тонкой очистки масла

тая часть его 5%) прокачивается через фильтр тонкой очистки, то весь объем масла пройдет через него за час трижды, точнее 3,5 раза (70:20). Благодаря этому масло потеряет мельчайшие частицы, что существенно уменьшит износ деталей дизеля.

Имеется несколько конструкций фильтров тонкой очистки масла. Рассмотрим принцип устройства фильтра, установленного на тепловозах с дизелями типа Д100. Такой фильтр изготовлен из бумаги и картона. Бумага, имеющая микроскопические поры, выступает исключительно в роли фильтрующей перегородки, а более плотный картон представляет каркас, на котором держится бумага.

На рис. 119 показана лента картона, на которой посередине с помощью особого прибора — перфоратора — пробиты на расстоянии 10 мм друг от друга маленькие отверстия диаметром 5 мм. Такая лента называется *перфорированной*. Отверстия в ней, как увидим дальше, предназначены для пропуска профильтрованного через бумагу масла. Длина одной ленты картона 15 м, ширина — 106 мм. На верхние и нижние кромки перфорированной ленты (на картон) по всей ее длине надеты две согнутые пополам в продольном направлении бумажные полосы такой же длины; края (борта) каждой из этих полос отогнуты по всей длине на 10—20 мм так, как показано на рис. 119.

На узкие загибы-борта бумаги предварительно наносят слой клея и всю ленту наматывают спиралью на пустотелый стержень, как на катушку. При свертывании бумажных лент их борта (края) смыкаются и должны

быть хорошо склеены (рис. 120). Мы подчеркиваем слово «должны», так как если герметичность соединения не будет обеспечена, то в этом случае неочищенное масло проникает через шов, не фильтруясь. Это является недостатком фильтра клееной конструкции. Мы рассмотрели устройство одного бумажного фильтрующего элемента. Но комплект всего фильтра тонкой очистки состоит не из одного, а из 28 описанных элементов, работающих одновременно. Как они размещаются, как монтируются? Для этого служит цилиндрический резервуар (корпус) с двойным дном (рис. 121). Внутри корпуса размещено семь трубок-стержней (на рисунке видны три такие трубки), нижние концы которых вставлены во внутреннее днище. По этим трубкам очищенное масло стекает в полость между двумя днищами. На каждую из семи трубок-стержней надето по четыре фильтрующих элемента. При сборке между стержнями и секциями прокладывают для уплотнения резиновые и картонные шайбы.

Развернутая длина бумажных лент всех секций составляет 840 м. Таким образом обеспечивается общая, достаточно большая фильтрующая поверхность бумаги (около 40 м²) при относительно небольших размерах фильтра.

Каждый фильтрующий элемент, или, как принято называть, *секция*, работает следующим образом. Масло из корпуса фильтра поступает с торцов в каждую секцию (показано стрелками на рис. 121). Просочившись через множество бумажных перегородок всех 28 секций, очищенное

масло проходит по отверстиям в картоне в пустотелые центральные трубки-стержни секции. Из всех трубок-стержней масло попадает в полость очищенного масла, откуда через отверстие в корпусе сливается общим потоком по трубе в поддон дизеля.

ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ ОЧИСТИТЕЛЬ МАСЛА

Описанные схемы фильтров более или менее похожи друг на друга и основаны на улавливании твердых частиц с помощью фильтрующего элемента. Центробежные очистители масла (центрифуги) с вращающимся ротором работают по совершенно иному принципу. До сих пор была *фильтрация*, т. е. процеживание через перегородку, размеры ячеек которой меньше размеров улавливаемых частиц. Центробежная очистка в точном смысле слова не является фильтрацией. Для отделения механических примесей от масла здесь используется *центробежная сила*, которую приобретает твердая частица при большой частоте вращения.

Так как плотность твердых частиц, содержащихся в движущемся масле, в несколько раз больше плотности масла, то твердые частицы под действием центробежных сил выделяются из потока масла в направлении действия этих сил. Очень важно, чтобы такое выделение (сепарация) осуществлялось достаточно эффективно и быстро. Этого можно достигнуть, если центробежное ускорение твердых частиц *во много раз* превысит ускорение свободного падения. В тепловоз-

ных маслоочистителях центробежного типа твердые частицы испытывают «космические» перегрузки: их масса увеличивается в 2500 раз и более! Для создания таких перегрузок требуется очень большая частота вращения. Как же можно ее получить?

Вспомним, что вращение шара в первом реактивном двигателе, построенном еще за 120 лет до нашей эры Героном Александрийским, происходило благодаря двум трубкам (изогнутым в противоположные стороны), из которых непрерывно вырывался пар: трубки играли роль постоянно дей-

ствующих ракет, реактивные силы которых и заставляли шар вращаться. Такой же принцип использован для вращения главной детали центрифуги — ротора (рис. 122). Ротор, состоящий из корпуса, крышки и двух вертикальных трубок, в нижней части которых укреплены в диаметрально противоположных точках два сопла, насаживается на неподвижную ось (стержень). Для входа неочищенного масла в ротор нижняя часть его неподвижной оси сделана пустотелой и снабжена тремя отверстиями (окнами). Как работает центрифуга?

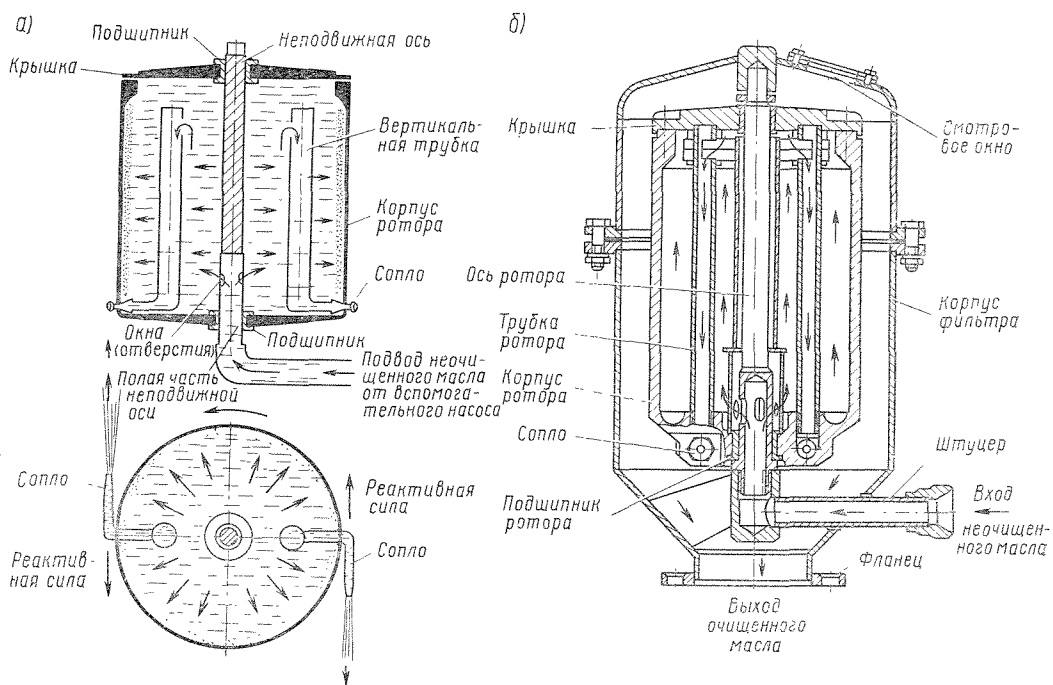


Рис. 122. Центробежный фильтр очистки масла: а — схема работы; б — схема устройства

Неочищенное масло под давлением 0,78—0,98 МПа (8—10 кгс/см²), создаваемым вспомогательным насосом (устанавливается дополнительно, рис. 123), подводится к окнам неподвижной оси ротора и, поступающая в полость ротора, заполняет его. Затем оно через вертикальные трубки ротора проходит к двум соплам. По истечении масла из сопел (см. нижнюю проекцию, рис. 122) с большой скоростью создается реактивный вращающий момент, и ротор начинает вращаться на своей оси с частотой вращения более 6000 об/мин (на дизелях типа 10Д100). При вращении ротора масло, протекающее через внутреннюю полость ротора, начинает испытывать действие центробежных сил. Содержащиеся в масле тяжелые частицы, имеющие большую плотность, чем масло, отбрасываются центробежной силой к вертикальным стенкам корпуса ротора и откладываются на них (показано точками). Ротор заключен в сварной корпус.

Схема включения центробежного маслоочистителя в масляную систему дизеля 10Д100 представлена на рис. 123. Очищенное масло, выброшенное через сопла, попадает по трубе в поддон дизеля.

Центробежная очистка позволяет получать масло, почти полностью очищенное от наиболее опасных тяжелых частиц и механических примесей.

ТОПЛИВНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Топливные фильтры служат для очистки дизельного топлива от попавших в него посторонних твердых час-

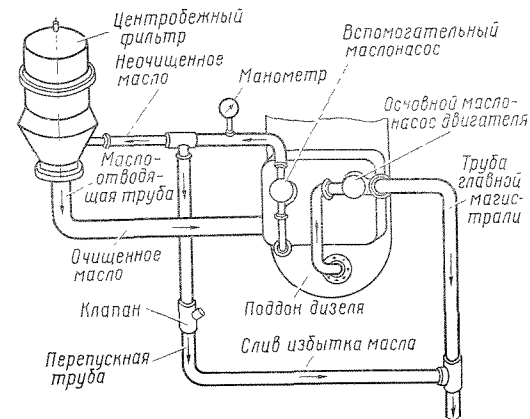


Рис. 123. Схема размещения центробежного фильтра очистки масла

тиц. Как видно из рис. 71 и 84, в системе топливопровода тепловоза имеются два отдельных фильтра, из которых один (грубой очистки) установлен перед топливоподкачивающим насосом, а другой (тонкой очистки) — перед топливными насосами высокого давления.

На тепловозах старой постройки применяются фильтры грубой очистки топлива, в которых фильтрующим элементом служит хлопчатобумажная пряжа-путанка, набиваемая между внутренними и наружными сетками. Этот фильтр называется *сетчатонабивным*. Однако он имеет недостаток: после определенного пробега тепловоза пряжу-путанку приходится заменять. Более совершенным является фильтр, изображенный на рис. 124.

На стакан (каркас гофрированной формы) намотана латунная лента (проволока), между витками которой оставлены щели шириной 0,07 мм. По-

этому такой фильтр часто называют *проволочно-щелевым*. Топливо под разрежением, создаваемым топливопрокачивающим насосом, засасывается из полости А и проходит фильтрующие щели. При этом механические частицы, превышающие размер щелей (0,07 мм), остаются на внешней стороне стакана. Чтобы увеличить фильтрующую поверхность, проволока наматывается не на один стакан, а на два — наружный и внутренний. Пройдя стаканы, очищенное топливо направляется в полость Б и далее во всасывающую трубу топливопрокачивающего насоса. Усилием пружины фильтрующий элемент прижимается к корпусу. Достоинством описанного фильтра является то, что грязь на его ста-

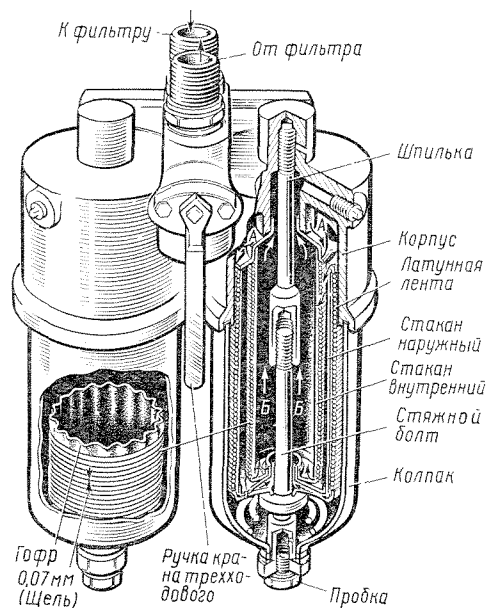


Рис. 124. Фильтр грубой очистки топлива

канах легко смывается при ремонте тепловоза.

Фильтр *тонкой* очистки топлива состоит из четырех одинаковых секций (рис. 125), расположенных в общем корпусе и закрываемых колпаками.

Рассмотрим устройство секции. В центральной части ее размещен стержень, ввернутый в корпус фильтра. На стержень надет фильтрующий элемент (стакан), внутри которого находится свернутая (в гофр) фильтровальная бумага. Гофрированная поверхность бумаги позволяет, как это нетрудно догадаться, значительно увеличить площадь ее соприкосновения с топливом. Чтобы бумага не порвалась, она установлена в картон-

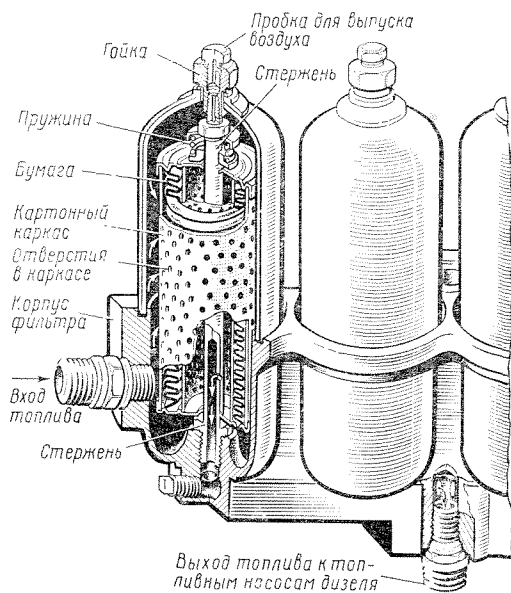


Рис. 125. Фильтр тонкой очистки топлива

ный каркас. Топливо, поступающее в фильтр, через отверстия в картонном каркасе направляется к фильтровальной бумаге, поры которой задерживают частицы топлива размером более 3—4 мкм. Таким образом, дизельное топливо может выйти из фильтра, только пройдя гофрированную бумагу. После этого топливо попадает в канал центрального стержня, затем в канал нижней части корпуса фильтра и далее к топливным насосам дизеля.

Надетый на стержень фильтрующий элемент уплотняется с торцов резиновыми прокладками, которые поджимаются пружиной. Степень затяжки пружины регулируется гайкой. После определенного срока службы фильтрующий элемент снимают и заменяют новым.

Топливные фильтры грубой и тонкой очистки отличаются между собой устройством фильтрующих секций. Общим является то, что как в том, так и в другом имеется несколько фильтрующих элементов (секций), включенных между собой параллельно. Благодаря этому дизельное топливо проходит одновременно через все секции фильтра, что уменьшает сопротивление прохождению ~~масла~~.

ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛИ

Что было бы, если бы в цилиндры дизеля засасывался атмосферный воздух в том виде, в каком он существует в природе? Возьмем самый благоприятный случай. Пусть тепловоз мчится в ясную погоду по самому лучшему железнодорожному полотну с балластным слоем из щебня. В этом случае

запыленность воздуха на уровне воздухозаборных отверстий дизеля, конечно, меньше, чем при движении по рельсовому пути с песчаным балластом. И все же каждый кубометр воздуха в среднем содержит от 0,0025 до 0,01 г пыли. На первый взгляд это ничтожно мало. Но если учесть, что потребность в воздухе дизеля 10Д100 мощностью 2200 кВт (3000 л. с.) достигает 400 м³/мин, или 24 000 м³/ч, то за 1 ч в цилиндры дизеля сможет попасть 0,01×24 000=240 г, а за 4 ч около килограмма пыли. А ведь тепловозу нередко (например, на Среднеазиатской дороге) приходится работать и во время песчаных бурь, когда в воздухе содержится до 0,4 г/м³ пыли. В этих условиях за 4 ч дизель на полной мощности засосет 0,4×24 000×4=38 400 г, или 38,4 кг, пыли, т. е. 38 кг твердых минеральных частиц различной формы и размеров.

Легко представить себе, как исцарапают эти частицы зеркало втулки, поверхности колец и других трущихся деталей. Вот почему на всех дизелях устанавливают специальные очистители (фильтры), очищающие воздух от пыли, прежде чем он попадет в цилиндры.

Как устроены и на чем основано действие современных воздухоочистителей? На тепловозах применяются воздушные фильтры разных типов.

Воздух, засасываемый снаружи (рис. 126), поступает в одну из четырех кассет, представляющих собой набор различных проволочных сеток. Сетки задерживают пыль, но недостаточно эффективно. А что если смочить их маслом? В этом случае сцеп-

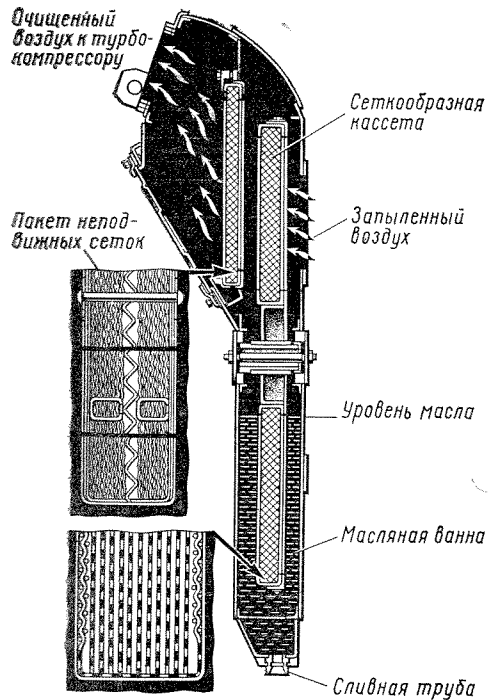


Рис. 126. Схема воздухоочистителя тепловоза 2ТЭ10В

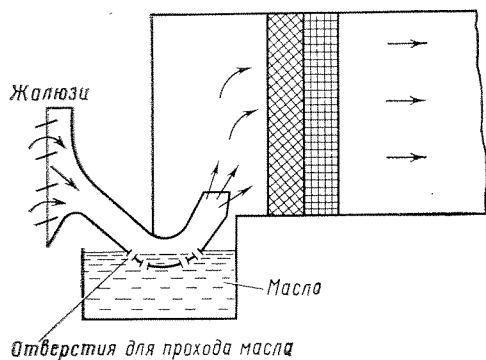


Рис. 127. Схема работы масляно-инерционного воздухоочистителя

ление частиц пыли с проволокой сеток увеличивается. Чтобы кассеты постоянно смазывались свежим маслом и периодически очищались, их размещают на колесе, нижнюю часть которого погружают в ванну, наполненную маслом. Соединив ось колеса с двигателем, заставляют колесо медленно вращаться. В результате пыль, задержанная соответствующей кассетой, смывается маслом и оседает на дно ванны. Очищенная же от пыли, увлажненная свежим маслом кассета поднимается вверх. Таким образом, масло непрерывно очищает и смачивает кассеты. Такого типа воздухоочиститель получил название *фильтра непрерывного действия* (ФНД). Дополнительная очистка воздуха и улавливание капель масла осуществляются в неподвижных сетках, установленных, как это видно на рис. 126, за колесом с подвижными кассетами: воздух проходит две ступени очистки и только после этого поступает в турбокомпрессор.

Смачивать кассеты маслом можно не только окуная их в масляную ванну, как это описано выше, но и путем разбрызгивания масла. В этом случае запыленный воздух (рис. 127) через жалюзи проходит по узкому наклонному каналу и над поверхностью масла, находящегося в ванне, делает резкий (на 90°) поворот. От этого крупные твердые частицы пыли по инерции продолжают двигаться в том же направлении и оседают в масляной ванне. Это первая ступень очистки. Мелкие частицы уносятся с небольшим количеством масла к очистительным сеткам, установленным А-образно. Ударяясь о сетки, оно разби-

вается на мелкие брызги, смачивает сетки и затем стекает в ванну. Мелкие частицы оседают на этих сетках. Так завершается очистка запыленного воздуха во второй ступени.

Во время пыльных бурь, что случается в южных районах страны, доступ наружного воздуха в первую ступень воздухоочистителей прекращается.

Машинист закрывает жалюзи воздухоочистителей. При этом более чистый воздух забирается из кузова через специальные окна. Воздух очищается только во второй ступени фильтра. Забор воздуха из кузова

тепловоза производится и в зимних условиях при очень низких наружных температурах, снежных метелях.

В результате предотвращается попадание снега в воздушные фильтры. Кроме того, из кузова в дизель поступает подогретый воздух, что благоприятно сказывается на протекании рабочего процесса дизеля, особенно на холостом ходу. Чтобы повысить эффективность фильтрации, на тепловозах 2ТЭ10Л в качестве кассетных фильтров второй ступени применили набивку из пенопласта. Такие фильтры успешно прошли опытную эксплуатацию на Среднеазиатской дороге.

II ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ОБОРУДОВАНИЮ

На тепловозах с электрической передачей тяговый (главный) генератор преобразует механическую энергию двигателя внутреннего сгорания в электрическую для питания тяговых электродвигателей. Полученную от тягового генератора электрическую энергию электродвигатели вновь преобразуют в механическую энергию и приводят во вращение движущие колесные пары локомотива. Такова в самых общих чертах схема электрической передачи тепловозов. Кроме тяговых электрических машин, на тепловозах установлены различные дополнительные электрические генераторы и электродвигатели, электрические аппараты и устройства управления, автоматического регулирования работы отдельных агрегатов, защиты оборудования от недопустимых режимов работы. Тепловозы имеют электрические световые сигналы, прожекторы, систему внутреннего и наружного освещения. Для пуска дизелей, а также действия сигналов, освещения при неработающем дизеле используются аккумуляторные батареи. Агрегаты и устройства электрического оборудования объединены для взаимодействия

электрическими цепями, выполненными из проводов различного сечения.

Электрические машины и аппараты в процессе работы нагреваются вследствие потерь энергии в них. Для охлаждения атмосферным воздухом применяют как вентиляторы, установленные непосредственно на валах электрических машин (самовентилиция), так и дополнительные отдельные вентиляторы. В качестве примера на рис. 128 представлено расположение электрического оборудования на тепловозе 2ТЭ10В.

Рассмотрим подробнее условия работы и основные требования, которые предъявляются к электрической передаче тепловозов и электрооборудованию в целом.

Передача прежде всего должна обеспечить эффективную работу тепловоза в условиях железнодорожного транспорта. Именно передача позволяет отсоединить дизель от движущих колесных пар при его пуске или движении поезда на «выбеге» перед остановкой, а также на участках пути со спусками. Для плавного трогания поезда с места, устойчивой работы дизеля с помощью передачи машинист может постепенно наращивать силу тяги локомотива вплоть до мак-

симальной, ограничиваемой условиями сцепления колес с рельсами. В передачу введено устройство для быстрого изменения направления вращения (реверсирования) движущих колесных пар локомотива и изменения направления движения без изменения направления вращения коленчатого вала дизеля. Реверсирование дизеля связано со значительным усложнением его конструкции, а главное, требует продолжительного времени. Например, производительность маневрового тепловоза может снизиться в несколько раз, если изменять направление движения путем реверсирования дизеля. Передача реализует заданную машинистом мощность дизель-генератора (в том числе и номинальную) при изменении скорости движения локомотива с поездом в зависимости от профиля пути и других условий.

Не менее важным требованием к передаче является обеспечение экономичной по расходу топлива работы тепловоза. С учетом веса поезда, про-

филя пути, допустимой скорости движения машинист тепловоза реализует различную мощность дизеля, обычно изменяя частоту вращения коленчатого вала посредством контроллера. Передача должна при каждой установленной машинистом частоте вращения вала обеспечивать такую мощность дизеля, при которой удельный расход топлива будет наименьшим. Таким образом, при снижении мощности дизель будет работать в режимах наибольшей экономичности для каждого значения реализуемой мощности, или, как говорят, работать по экономической характеристике. Выполняя это условие, удается значительно снизить расход дизельного топлива в эксплуатации, так как тепловозы большую часть времени работают на частичной мощности (являющейся частью от номинальной мощности).

Повышение к.п.д. самой передачи также сокращает невосполнимые потери энергии, улучшает использование дизельного топлива, расходуемого те-

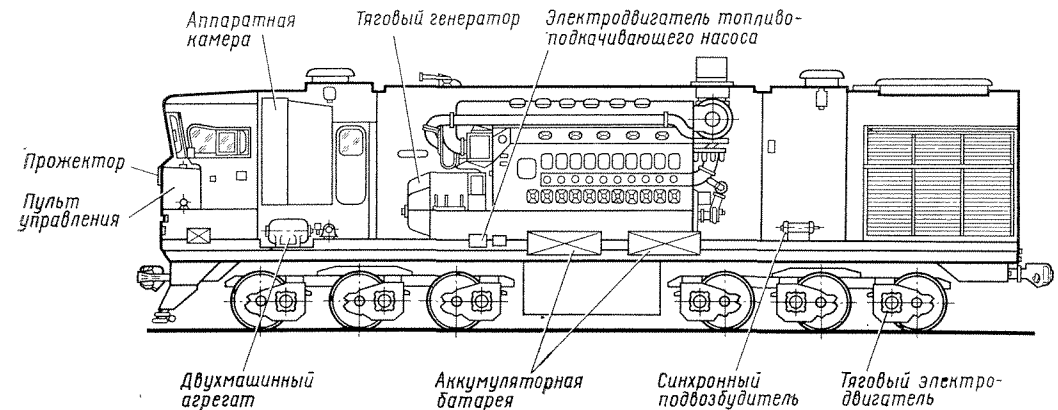


Рис. 128. Расположение электрооборудования на тепловозе 2ТЭ10В

пловозом. Уменьшение потерь в передаче тепловозов всего на 5% эквивалентно экономии в целом на железнодорожном транспорте более 100 тыс. т дизельного топлива в год стоимостью свыше 8 млн. руб.

В настоящее время к. п. д. электрической передачи тепловозов достигает 82—86% при работе на номинальной мощности.

Требования по компактности и ограничению массы электрического оборудования тепловозов обусловлены не только стремлением снизить затраты дефицитных материалов и общую стоимость изготовления тепловозов. Задачи обеспечения непрерывно растущих требований народного хозяйства и населения страны в увеличении грузовых и пассажирских перевозок могут решаться только при условии создания все более мощных локомотивов. При существующих ограничениях осевых нагрузок повышение мощности локомотивов должно сопровождаться снижением удельной металлоемкости основного оборудования. Так, по мере развития отечественного тепловозостроения в послевоенный период от создания тепловозов серии ТЭ1 до выпуска тепловозов типа ТЭ10 удельная масса дизелей была снижена с 23,4 кг/кВт (17,2 кг/л. с.) до 8,8 кг/кВт (6,5 кг/л. с.). На перспективных тепловозах ТЭП70, 2ТЭ121 этот показатель дизелей мощностью 2940 кВт (4000 л. с.) доведен до 5,4 кг/кВт (4 кг/л. с.). Масса дизеля, являющегося источником механической энергии на тепловозе, составляет 16—19 т. Суммарная масса только тягового генератора и тяговых электродвигателей одной секции тепловоза 2ТЭ10Л, не-

смотря на все принятые меры по ее снижению, достигает 27,5 т. Поэтому электрооборудование ограничивает, и при том в большей мере, чем дизель, дальнейшее повышение секционной мощности тепловозов. Отсюда вытекает необходимость улучшения показателей по удельной массе и компактности электрооборудования при одновременном обеспечении высокой эксплуатационной надежности.

Железнодорожный транспорт представляет собой единый конвейер. Повреждение, выход из строя оборудования, приводящие к остановке тепловоза в пути следования с поездом, являются недопустимыми. Ведь это повлечет за собой нарушение движения поездов на всей линии. Если тепловоз имеет недостаточную надежность, то он вообще непригоден для железнодорожного транспорта, несмотря на любые другие его высокие показатели. Надежность и достаточная долговечность оборудования тепловозов являются необходимыми условиями повышения экономической эффективности локомотивного хозяйства. Сложность обеспечения высокой работоспособности электрооборудования усугубляется крайне тяжелыми условиями эксплуатации. Так, температура окружающего воздуха меняется от плюс 40—45° до минус 40—55°С. Тепловозы работают и при снежных метелях, и в песчаных бурях. Оборудование при движении локомотива подвергается сильной вибрации, загрязнению — особенно тяговые электродвигатели.

Требования удобства обслуживания в эксплуатации, технологичности ремонта электрооборудования являются очевидными и вытекают из не-

обходимости облегчения труда обслуживающего персонала, снижения трудоемкости, стоимости эксплуатации и ремонта локомотивов.

Только исходя из учета перечисленных требований можно понять особенности устройства, работы электрических машин и другого электрического оборудования тепловозов.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

Наиболее широкое распространение на отечественных тепловозах получила электрическая передача постоянного тока, в которой используются тяговые электрические машины только постоянного тока (рис. 129, а).

На тепловозах большой мощности в последние годы широко применяют электрическую передачу переменного тока (рис. 129, б). В передаче такого типа используются синхронный тяговый генератор переменного тока и тяговые электродвигатели постоянного тока. Двигатели постоянного тока позволяют наиболее просто получить оптимальную тяговую характеристику тепловоза. Выработываемый синхронным тяговым генератором переменный ток выпрямляется, т. е. преобразуется в постоянный ток с помощью специальной выпрямительной установки.

Стремление упростить конструкцию тяговых электродвигателей, снизить их массу и стоимость, повысить надежность работы, свести к минимуму потребность в их обслуживании и ремонте привело к созданию для тепловозов передачи переменного тока

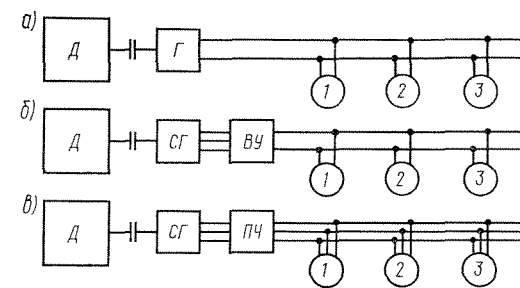


Рис. 129. Структурные схемы электрической передачи:

а — на постоянном; б — на переменном-постоянном; в — на переменном-переменном токе; Д — дизель; Г — тяговый генератор постоянного тока; СГ — синхронный тяговый генератор переменного тока; ВУ — выпрямительная установка; ПЧ — преобразователь частоты переменного тока; 1—3 — тяговые электродвигатели

(рис. 129, в). В такой передаче применяются и тяговый генератор, и тяговые электродвигатели переменного тока.

Асинхронные электродвигатели переменного тока значительно проще по конструкции, легче, дешевле электродвигателей постоянного тока такой же мощности. В них отсутствуют коллектор и щеточный аппарат, которые ненадежны в эксплуатации, поэтому исключаются частые осмотры, снижаются затраты труда на обслуживание и ремонт.

Однако для регулирования скорости движения тепловоза с тяговыми электродвигателями переменного тока необходимо менять частоту тока, подводимого к двигателям. Наиболее совершенные преобразователи частоты переменного тока, основанные на использовании управляемых полупроводниковых вентилей (тиристоров), остаются еще весьма сложными по конструкции и дорогими. Преобразование частоты тока связано с потерями энер-

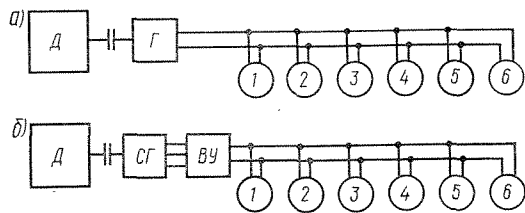


Рис. 130. Структурные схемы электрической передачи тепловозов (обозначения см. на рис. 129):

а — 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, ТЭП10, ТЭП60; б — 2ТЭ116, ТЭ109, ТЭП70, ТЭП75

гии, что несколько снижает общий к.п.д. передачи.

В нашей стране и за рубежом продолжают интенсивные научно-исследовательские, опытно-конструкторские работы по созданию электрической передачи переменного тока, пригодной для практического использования на локомотивах. Построены и испытываются опытные образцы тепловозов с такой передачей.

Электрическими передачами постоянного тока оборудованы отечественные маневровые тепловозы ТЭ1, ТЭМ1, ТЭМ2, магистральные грузовые тепловозы ТЭЗ, М62, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В и пассажирские тепловозы ТЭП10, ТЭП60 (рис. 130, а). На каждой секции этих тепловозов установлено по одному тяговому генератору постоянного тока, приводимому в действие дизелем. Секция тепловоза в соответствии с числом движущих колесных пар оборудована шестью тяговыми электродвигателями. Каждый электродвигатель приводит во вращение через зубчатую передачу одну колесную пару локомотива. Мощность тягового генератора и тяговых электродвигателей

определяется мощностью применяемых на тепловозах дизелей.

Так, номинальная мощность тягового генератора тепловоза ТЭ1 с дизелем мощностью 736 кВт (1000 л. с.) составляет 700 кВт, каждого тягового электродвигателя — 98 кВт. Номинальная мощность генератора тепловозов типов ТЭ10, ТЭП60, оборудованных дизелями мощностью 2210 кВт (3000 л. с.), соответственно увеличена до 2000 кВт, а тягового электродвигателя — до 305 кВт.

Электрическая передача переменного тока получила применение на грузовых тепловозах 2ТЭ116, 2ТЭ121, пассажирских тепловозах ТЭП70 и ТЭП75, а также на экспортных тепловозах ТЭ109 (рис. 130, б). Каждая секция этих тепловозов оборудована синхронным тяговым генератором переменного тока и шестью тяговыми электродвигателями постоянного тока. Переменный ток, вырабатываемый синхронным генератором, преобразуется в постоянный (с незначительной пульсацией) с помощью выпрямительной установки, которая собрана из силовых полупроводниковых (кремниевых) вентилялей.

Переход на тяговые генераторы переменного тока вызван ограниченными возможностями увеличения мощности тепловозных генераторов постоянного тока. Как показал опыт постройки и эксплуатации новых тепловозов, генераторы переменного тока обладают и целым рядом других достоинств — имеют меньшую массу, надежнее в эксплуатации, проще в обслуживании и ремонте. Даже с учетом необходимости применения достаточно дорогих по стоимости выпрямительных устано-

вок использование генераторов переменного тока является, безусловно, оправданным на тепловозах с дизелями мощностью 2210—2940 кВт (3000—4000 л. с.) и более. Генераторы переменного тока успешно конкурируют с генераторами постоянного тока при секционной мощности до 2210 кВт (3000 л. с.). И лишь на тепловозах мощностью менее 1470 кВт (2000 л. с.) генераторы постоянного тока находят по-прежнему преимущественное применение. Однако по мере совершенствования полупроводниковой техники, снижения стоимости изготовления выпрямителей тяговые генераторы переменного тока будут распространяться все шире.

На всех отечественных тепловозах применяется электрический пуск дизелей от аккумуляторной батареи. Поэтому тепловозы оборудуются мощными аккумуляторными батареями. При пуске дизеля тяговый генератор постоянного тока работает в режиме электродвигателя, питается электроэнергией от батарей и приводит во

вращение коленчатый вал. На тепловозах с передачей переменного тока для пуска дизеля устанавливается стартерный электродвигатель.

Отдельные зарубежные тепловозы оборудованы так называемыми мономоторными тележками с групповым приводом колесных пар (см. гл. 21). На тележке тепловоза устанавливается лишь один тяговый электродвигатель, который через редуктор приводит во вращение все колесные пары данной тележки. В этом случае уменьшается число тяговых электродвигателей, упрощается их обслуживание в эксплуатации, сокращается длина тележек, улучшаются тяговые качества локомотива. Однако размеры тягового электродвигателя значительно увеличиваются по сравнению с двигателями для индивидуального привода колесных пар. Два тяговых электродвигателя занимают значительное место в кузове локомотива, который и без того перегружен оборудованием.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Генераторами называют электрические машины, преобразующие механическую энергию в электрическую. Принцип действия электрического генератора основан на использовании явления электромагнитной индукции, которое состоит в следующем. Если в магнитном поле постоянного магнита перемещать проводник так, чтобы он пересекал магнитный поток, то в проводнике возникнет электродвижущая сила (э.д.с.), называемая *э.д.с. индукции*¹, или индуктированной э.д.с. Электродвижущая сила возникает и в том случае, когда проводник остается неподвижным, а перемещается магнит. Явление возникновения индуктированной э.д.с. в проводнике называется *электромагнитной индукцией*. Если проводник, в котором индуктируется э.д.с., включить в замкнутую электрическую цепь, то под действием э.д.с. по цепи потечет ток, называемый *индуктированным током*.

Опытным путем установлено, что величина индуктированной э.д.с., возникающей в проводнике при его дви-

жении в магнитном поле, возрастает с увеличением индукции магнитного поля, длины проводника и скорости его перемещения. Индуктированная э.д.с. возникает только тогда, когда проводник пересекает магнитное поле. При движении проводника вдоль магнитных силовых линий э.д.с. в нем не индуктируется. Направление индуктированной э.д.с. и тока проще всего определить по правилу правой руки (рис. 131): *если ладонь правой руки держать так, чтобы в нее входили магнитные силовые линии поля, отогнутый большой палец показывал бы направление движения проводника, то остальные вытянутые пальцы укажут направление действия индуктированной э.д.с. и направление тока в проводнике*. Магнитные силовые линии направлены от северного полюса магнита к южному.

Имея общее представление об электромагнитной индукции, рассмотрим принцип действия простейшего генератора (рис. 132). Проводник в виде рамки из медной проволоки укреплен на оси и помещен в магнитное поле. Концы рамки присоединены к двум изолированным одна от другой половинам (полукольцам) одного кольца. Контактные пластины (щетки) скользят по этому кольцу. Такое коль-

цо, состоящее из изолированных полуколец, называют *коллектором*, а каждое полукольцо — *пластиной коллектора*. Щетки на коллекторе должны быть расположены таким образом, чтобы они при вращении рамки одновременно переходили с одного полукольца на другое как раз в те моменты, когда э.д.с., индуктируемая в каждой стороне рамки, равна нулю, т. е. когда рамка проходит свое горизонтальное положение. С помощью коллектора переменная э.д.с., индуктируемая в рамке, выпрямляется, и во внешней цепи создается постоянный по направлению ток.

Присоединив к контактным пластинам внешнюю цепь с электроизмерительным прибором, фиксирующим величину индуктируемого тока, убедимся, что рассматриваемое устройство действительно является генератором постоянного тока.

В любой момент времени t э.д.с. E (рис. 133), возникающая в рабочей стороне A рамки, противоположна по направлению э.д.с., возникающей в рабочей стороне B . Направление э.д.с. в каждой стороне рамки легко определить, воспользовавшись правилом правой руки. Э.д.с., индуктируемая всей рамкой, равна сумме э.д.с., возникающих в каждой ее рабочей стороне. Величина э.д.с. в рамке непрерывно изменяется. В то время, когда рамка подходит к своему вертикальному положению, количество силовых линий, пересекаемых проводниками в 1 с, будет наибольшим и в рамке индуктируется максимальная э.д.с. Когда рамка проходит горизонтальное положение, ее рабочие стороны скользят вдоль силовых линий, не пересекая их, и

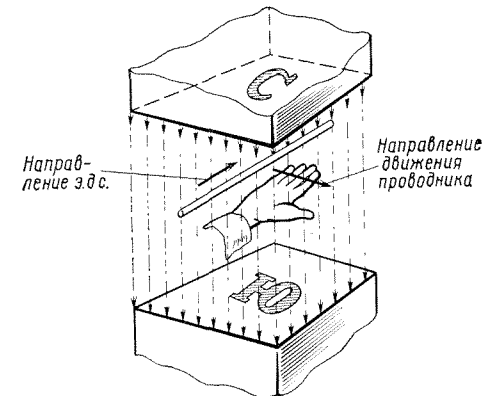


Рис. 131. Определение направления индуктированной э. д. с. по правилу правой руки

э.д.с. не индуктируется. В период движения стороны B рамки к южному полюсу магнита (рис. 133, а, б) ток в ней направлен на нас. Этот ток проходит через полукольцо, щетку 2, измерительный прибор к щетке 1 и в сторону A рамки. В этой стороне рамки ток индуктируется в направлении от нас. Своего наибольшего значения э.д.с. в рамке достигает тогда, когда стороны ее расположены непосредственно под полюсами (рис. 133, б).

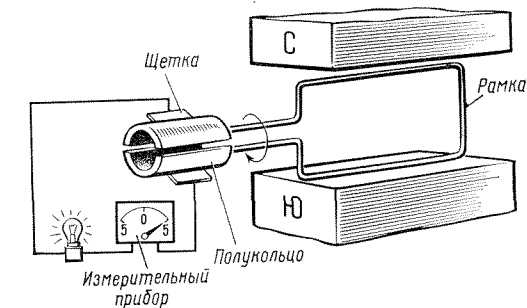


Рис. 132. Простейший генератор постоянного тока

¹ Индукция от латинского слова *inductio* — наведение, побуждение.

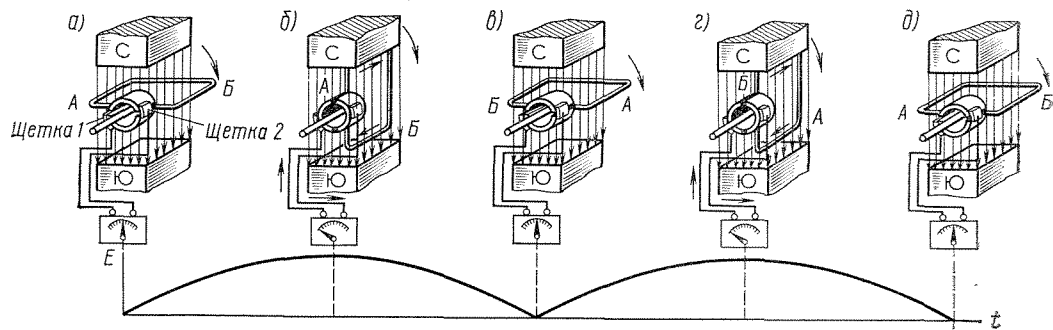


Рис. 133. Схема работы генератора постоянного тока

При дальнейшем вращении рамки э.д.с. в ней убывает и через четверть оборота становится равной нулю (рис. 133, в). В это время щетки переходят с одного полукольца на другое. Таким образом, за первую половину оборота рамки каждое полукольцо коллектора соприкасалось только с одной щеткой. Ток проходил по внешней цепи в одном направлении от щетки 2 к щетке 1. Будем продолжать вращать рамку. Электродвижущая сила в рамке снова начинает возрастать, так как ее рабочие стороны будут пересекать магнитные силовые линии. Однако направление э.д.с. изменится на противоположное, потому что проводники пересекают магнитный поток в обратном направлении. Ток, индуцируемый в стороне А рамки, направлен теперь на нас. Но ввиду того, что рамка вращается вместе с коллектором, полукольцо, соединенное со стороной А рамки, соприкасается теперь не со щеткой 1, а со щеткой 2 (рис. 133, г) и по внешней цепи проходит ток того же направления, как и во время первой половины оборота. Следовательно, коллектор выпрямляет ток, т. е. обеспечи-

вает прохождение индуцируемого тока во внешней цепи в одном направлении. К концу последней четверти оборота (рис. 133, д) рамка возвращается в первоначальное положение (см. рис. 133, а), после чего весь процесс изменения тока в цепи повторяется.

Таким образом, между щетками 2 и 1 действует постоянная по направлению э.д.с., и ток по внешней цепи всегда проходит в одном направлении — от щетки 2 к щетке 1. Хотя этот ток остается постоянным по направлению, он меняется по величине, т. е. пульсирует. Такой ток практически трудно использовать.

Рассмотрим, как можно получить ток с небольшой пульсацией, т. е. ток, величина которого при работе генератора мало изменяется. Представим себе генератор, состоящий из двух расположенных перпендикулярно один к другому витков (рис. 134). Начало и конец каждого витка присоединены к коллектору, состоящему теперь из четырех коллекторных пластин.

При вращении этих витков в магнитном поле в них возникает э.д.с. Однако индуцированные в каждом вит-

ке э.д.с. достигают своих нулевых и максимальных значений не одновременно, а позднее одна другой на время, соответствующее повороту витков на четверть полного оборота, т. е. на 90° . В положении, изображенном на рис. 134, в витке 1 возникает максимальная э.д.с., равная E_{\max} . В витке 2 э.д.с. не индуцируется, так как его рабочие стороны скользят вдоль магнитных силовых линий, не пересекая их. Величины э.д.с. витков показаны на рис. 135. По мере поворота витков э.д.с. витка 1 убывает. Когда витки повернутся на $1/8$ оборота, э.д.с. витка 1 станет равной E_{\min} . В этот момент происходит переход щеток на вторую пару коллекторных пластин, соединенных с витком 2. Виток 2 уже повернулся на $1/8$ оборота, пересекает магнитные силовые линии и в нем индуцируется э.д.с., равная той же величине E_{\min} . При дальнейшем повороте витков э.д.с. витка 2 возрастает до наибольшей величины E_{\max} . Таким образом, щетки оказываются все время соединенными с витками, в которых индуцируется э.д.с. величиной от E_{\min} до E_{\max} .

Ток во внешней цепи генератора возникает в результате действия суммарной э.д.с. Поэтому он протекает непрерывно и только в одном направлении. Ток, как и прежде, будет пульсирующим, однако пульсация получается значительно меньше, чем при одном витке, так как э.д.с. генератора не снижается до нуля.

Увеличивая число проводников (витков) генератора и соответственно число коллекторных пластин, можно сделать пульсации тока очень малыми, т. е. ток по величине станет практиче-

ски постоянным. Например, уже при 20 коллекторных пластинах колебания э.д.с. генератора не превысят 1% среднего значения. Во внешней цепи получим ток, практически постоянный по величине.

Вместе с тем легко видеть, что генератор, изображенный на рис. 134, имеет и очень существенный недостаток. В каждый определенный момент времени внешняя цепь присоединена посредством щеток лишь к одному витку генератора. Второй виток в этот же момент времени совершенно не используется. Электродвижущая сила, индуцируемая в одном витке, весьма мала, а значит и мощность генератора будет небольшой.

Для непрерывного использования всех витков их соединяют между собой последовательно. С этой же целью число коллекторных пластин уменьшают до количества витков обмотки. К каждой коллекторной пластине присоединяют конец одного и начало следующего витка обмотки. Витки в этом случае представляют собой последовательно соединенные источники электрического тока и образуют обмотку якоря генератора. Теперь электродвижущая сила генератора равна сумме э.д.с., индуцируемых в витках, включенных между щетками. Кроме последовательной, существуют и другие схемы соединения витков обмотки. Число витков берется достаточно большим, чтобы получить необходимую величину э.д.с. генератора. Поэтому и коллекторы тепловозных электрических машин получают с большим количеством пластин.

Таким образом, благодаря большому числу витков обмотки удается не

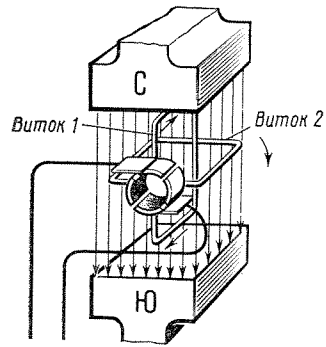


Рис. 134. Двухвитковый генератор постоянного тока

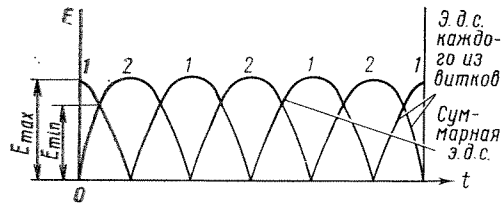


Рис. 135. Кривые пульсации электродвижущей силы двухвиткового генератора

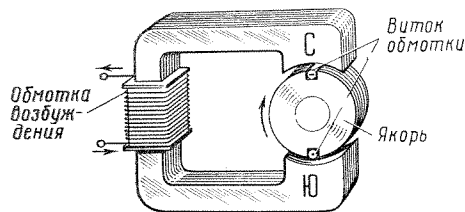


Рис. 136. Схема генератора с электромагнитной системой возбуждения и стальным массивным якорем

только сгладить пульсации напряжения и тока, но и повысить значение индуктируемой генератором э.д.с.

Выше был рассмотрен электрический генератор, состоящий из постоянных магнитов и одного или нескольких витков, в которых возникает ток. Для практических целей такие генераторы непригодны, так как от них невозможно получить большую мощность. Объясняется это тем, что создаваемый постоянным магнитом магнитный поток очень мал. Кроме того, пространство между полюсами создает для магнитного потока значительное сопротивление. Магнитный поток еще более ослабляется. Поэтому в мощных генераторах, к которым относятся и тепловозные, применяются электромагниты, создающие сильный магнитный поток возбуждения (рис. 136). Для уменьшения магнитного сопротивления магнитопровода генератора витки обмотки размещают на стальном цилиндре, который заполняет почти все пространство между полюсами.

Этот цилиндр с помещенной на нем обмоткой и коллектором называется *якорем генератора*.

Обмотка возбуждения генератора расположена на сердечниках главных полюсов. При прохождении по ней тока создается магнитное поле, называемое *полем главных полюсов*. При разомкнутой внешней цепи генератора магнитные силовые линии располагаются в полюсах и якоре симметрично вертикальной оси (рис. 137, а). Для уяснения особенностей работы электрической машины введем понятия о геометрической и физической нейтральных.

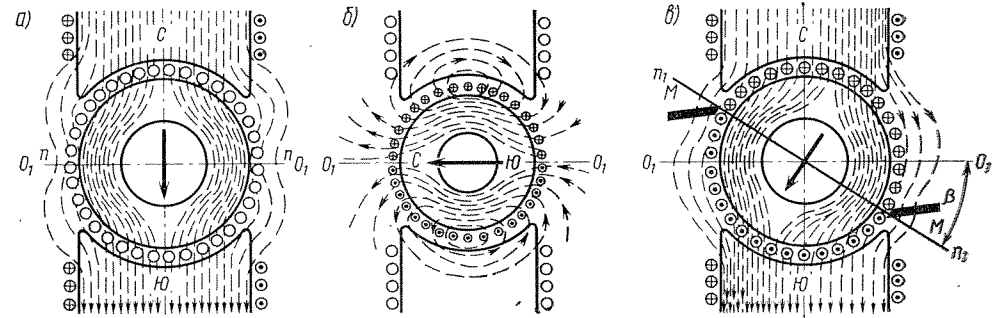


Рис. 137. Реакция якоря:

а — магнитный поток главных полюсов; б — магнитный поток, создаваемый обмоткой якоря; в — суммарный магнитный поток нагруженного генератора

Геометрической нейтралью называется линия, проведенная через центр якоря перпендикулярно оси противоположных полюсов (горизонтальная линия O_1-O_1). *Физическая нейтраль* представляет собой условную линию, которая разделяет зоны влияния северного и южного полюсов на обмотку якоря и проходит перпендикулярно направлению магнитного потока электрической машины.

В проводнике обмотки, который при вращении якоря проходит физическую нейтраль, э.д.с. не индуктируется, так как такой проводник скользит вдоль магнитных силовых линий, не пересекая их. В случае отсутствия тока в якоре (см. рис. 137, а) физическая нейтраль $n-n$ совпадает с геометрической нейтралью.

При замыкании внешней цепи электрической машины ток пойдет и по обмотке якоря. Весь якорь в этом случае будет представлять собой мощный электромагнит, состоящий из стального сердечника и обмотки, по которой проходит ток. Следовательно,

кроме потока полюсов, в нагруженном генераторе существует второй магнитный поток, называемый *поток якоря* (рис. 137, б). Магнитный поток якоря направлен перпендикулярно потоку главных полюсов. Оба магнитных потока накладываются друг на друга и образуют суммарное, или результирующее, поле, показанное на рис. 137, в. Направление магнитного поля генератора в результате действия поля якоря смещается в сторону вращения якоря. В ту же сторону смещается и физическая нейтраль, которая занимает в этом случае положение n_1-n_1 .

Влияние магнитного поля якоря на поле полюсов называется *реакцией якоря*. Реакция якоря отрицательно сказывается на работе генератора. Щетки $M-M$ электрической машины должны быть всегда установлены по направлению физической нейтрали. Поэтому приходится смещать щетки генератора по отношению к геометрической нейтрали на некоторый угол β (рис. 137, в), так как в противном

случае между щетками и коллектором возникает сильное искрение. Искрение вызывает подгар поверхности коллектора и щеток и выводит их из строя. Чем больше ток якоря, тем сильнее проявляется реакция якоря, тем на больший угол необходимо сдвигать щетки. При частых изменениях нагрузки тепловозного генератора пришлось бы почти непрерывно менять положение его щеток.

Реакция якоря не только смещает магнитное поле главных полюсов, но и частично ослабляет его, что приводит к уменьшению индуктируемой генератором э. д. с.

Для ослабления реакции якоря в генераторах между основными полюсами устанавливаются добавочные полюсы, а иногда с этой же целью в полюсные наконечники главных полюсов закладывают компенсационную обмотку. Добавочные полюсы созда-

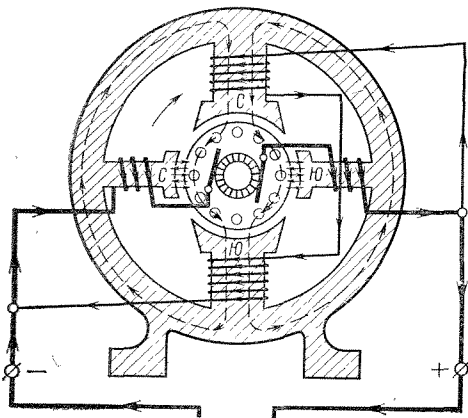


Рис. 138. Схема генератора с добавочными полюсами:

← направление магнитного потока якоря;
→ направление нейтрализующего магнитного потока добавочных полюсов

ют дополнительное магнитное поле, которое в зонах установки щеток направлено навстречу полю якоря, вследствие чего действие его нейтрализуется (рис. 138). Однако этим не органичивается положительное влияние добавочных полюсов на работу генератора. После прохода через нейтраль генератора направление тока в каждом витке обмотки (см. рис. 137) очень быстро изменяется на противоположное. На нейтрали виток оказывается замкнутым накоротко щетками. Такой виток называют *коммутирующим*¹. В коммутирующих витках (секциях) обмотки якоря вследствие очень быстрого изменения направления тока возникает довольно большая э. д. с. самоиндукции и взаимной индукции, которую называют *реактивной э. д. с.* Эта э. д. с. в коммутирующих секциях усиливается действием магнитного потока якоря, который они пересекают. Действие реактивной э. д. с. приводит к сильному искрению щеток. Добавочные полюсы рассчитывают так, чтобы их магнитный поток был несколько больше магнитного потока якоря. Благодаря этому в коммутирующих секциях индуктируется дополнительная э. д. с. Новая э. д. с. имеет направление, противоположное реактивной э. д. с., и гасит ее, предотвращая интенсивное искрение.

Магнитное поле якоря изменяется с изменением нагрузки (тока) генератора, поэтому для его нейтрализации необходимо изменять и поле компенсационных устройств. Обмотку добавочных полюсов включают последовательно с

¹ Коммутация от латинского слова *commutatio* — изменение, перемена.

обмоткой якоря, и по ней проходит весь ток якоря. С увеличением тока генератора возрастает магнитный поток якоря, но вместе с этим возрастает и компенсирующий его магнитный поток добавочных полюсов.

Компенсационная обмотка позволяет дополнительно улучшить распределение магнитного потока в электрической машине. Так, из рис. 137 легко видеть, что в результате действия реакции якоря магнитный поток главных полюсов становится неравномерным — с одной стороны полюса он усиливается, а с другой — ослабляется. Это приводит к неравномерной нагрузке якорной обмотки, часть витков окажется перегруженной, ухудшаются условия работы щеток.

С помощью компенсационной обмотки, расположенной на главных полюсах, устраняется искажение магнитного потока непосредственно под главными полюсами. Однако одновременное применение добавочных полюсов и компенсационной обмотки значительно усложняет конструкцию электрических машин. Если удастся осуществить удовлетворительную работу электрической машины посредством применения добавочных полюсов, то компенсационную обмотку стараются не применять. Компенсационные обмотки нашли практическое применение лишь в мощных электрических машинах. Первоначально тяговый генератор тепловоза ТЭЗ имел как добавочные полюсы, так и компенсационную обмотку. Впоследствии магнитная система тягового генератора была изменена и на тепловозах ТЭЗ отказались от компенсационной обмотки.

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА

Величина э. д. с., индуктируемой генератором, прямо пропорциональна магнитному потоку Φ , создаваемому главными полюсами, и частоте вращения якоря n :

$$E = C\Phi n,$$

где C — постоянный коэффициент, учитывающий число витков обмотки якоря, число пар полюсов и другие постоянные величины, характеризующие данный генератор.

Напряжение на выводах генератора меньше его э. д. с. на величину падения напряжения в цепи якоря. Падение напряжения в цепи якоря определяется по закону Ома и равно произведению тока якоря I_a на сопротивление цепи якоря R_a . Следовательно, напряжение на выводах генератора

$$U_r = E - I_a R_a.$$

Общее сопротивление цепи якоря состоит из сопротивлений обмотки якоря, последовательной обмотки возбуждения, обмотки добавочных полюсов, щеток и переходов между коллектором и щетками.

Падение напряжения в цепи якоря очень небольшое, так как сопротивление обмотки якоря мало. Поэтому напряжение генератора бывает лишь незначительно меньше его э. д. с. Из этих двух формул также следует, что величину э. д. с. генератора и напряжения на его зажимах можно изменять двумя способами: изменением магнитного потока полюсов или частоты вращения якоря.

Отдаваемая во внешнюю цепь мощность генератора в киловаттах

$$P_r = \frac{I_r U_r}{1000},$$

где I_r — ток во внешней цепи, А;

U_r — напряжение на зажимах генератора, В.

Мощность, отдаваемая генератором, всегда меньше мощности, затрачиваемой на вращение якоря и возбуждение, потому что внутри генератора происходят потери энергии. К этим потерям относятся механические потери (трение в подшипниках, трение коллектора о щетки), потери на нагрев проводов обмотки якоря и обмотки возбуждения, магнитные потери и т. д.

Отношение полезной мощности генератора, т. е. той, которую он отдает во внешнюю цепь, к мощности, затрачиваемой для привода генератора и его возбуждения, называют *коэффициентом полезного действия генератора*. Если тяговый генератор тепловоза работает с полной нагрузкой, его

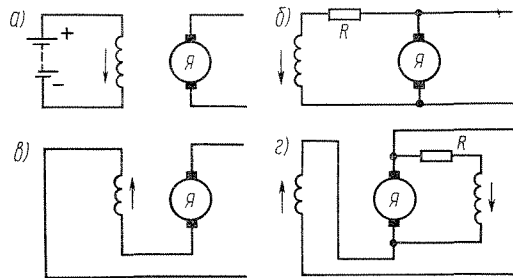


Рис. 139. Схемы возбуждения генератора: а — независимое возбуждение; б — параллельное возбуждение; в — последовательное возбуждение; г — смешанное возбуждение

к.п.д. достигает 94—95%, т. е. потери в нем весьма малы.

Для возбуждения¹ генератора по обмотке его главных полюсов пропускают ток, называемый *током возбуждения*. По способу возбуждения генераторы разделяются на два типа: *генераторы с независимым возбуждением* и *генераторы с самовозбуждением*.

В генераторах с независимым возбуждением обмотка возбуждения получает питание от постороннего источника электрической энергии, обычно от другого генератора постоянного тока или режы от аккумуляторной батареи (рис. 139, а). В генераторах с самовозбуждением питание обмотки возбуждения осуществляется от самого генератора, т. е. током, вырабатываемым в его якоре. При этом используется явление остаточного магнетизма², которым обладает, например, мягкая сталь. Полюсные сердечники из мягкой стали являются постоянными магнитами, хотя и очень слабыми.

В обмотке вращающегося якоря генератора за счет остаточного магнетизма индуцируется небольшая э.д.с. Под действием этой э.д.с. в обмотке возбуждения возникает значительный ток. Магнитный поток, создаваемый током возбуждения, усилит остаточный магнитный поток полюсов, и э. д. с. якоря возрастет, что в свою очередь приводит к дальнейшему увеличению тока возбуждения. Так последовательно магнитный по-

¹ Создание рабочего магнитного потока в электрических машинах.

² Намагниченность вещества при напряженности магнитного поля, равной нулю.

ток полюсов достигает расчетной величины. Генератор индуцирует необходимую э. д. с. и сам питает ток свою обмотку возбуждения.

Генераторы с самовозбуждением в зависимости от схемы соединения обмотки возбуждения с якорем разделяются на три основных типа (рис. 139, б, в, г). В *генераторе параллельного возбуждения* обмотка главных полюсов включается параллельно силовой цепи.

Ток, вырабатываемый в обмотке якоря, разветвляется: основной ток проходит в силовую цепь, а небольшая часть тока — по обмотке возбуждения. В *генераторе последовательного возбуждения* обмотка главных полюсов включается последовательно с якорем и по ней проходит весь ток, вырабатываемый генератором. В *генераторе со смешанным возбуждением* имеются параллельная и последовательная обмотки возбуждения. Сила тока в параллельных обмотках возбуждения обычно ограничивается с помощью резисторов R (см. рис. 139, б, г).

Характеристики генератора, а значит, области его применения зависят от схемы возбуждения. О свойствах генератора прежде всего позволяет судить его внешняя характеристика. *Внешней характеристикой генератора* называют зависимость напряжения на его зажимах от тока нагрузки при неизменной частоте вращения якоря и заданных условиях возбуждения.

Рассмотрим более подробно условия работы генератора на тепловозе, свойства, которыми он должен обладать, и необходимую его внешнюю характеристику.

ВНЕШНЯЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЯГОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Тяговый генератор тепловоза обеспечивает использование номинальной мощности дизеля тепловоза. Дизель развивает такую мощность вплоть до номинальной, какую требует от него генератор. Если генератор по каким-то причинам будет развивать небольшую мощность, то регулятор двигателя, поддерживая постоянную частоту вращения коленчатого вала, с помощью реек топливных насосов уменьшит подачу топлива в цилиндры. Дизель будет недогружен. Тепловоз совсем не сможет вести поезд, либо поведет его с пониженной скоростью. Следовательно, характеристика тягового генератора в значительной мере определяет тяговые качества локомотива. Какой же она должна быть, чтобы обеспечить реализацию номинальной мощности дизеля и, значит, тепловоза?

Мощность, вырабатываемая генератором, как указывалось выше, равна произведению тока нагрузки на напряжение на его выводах. Тепловоз с поездом движется по различному профилю пути. В процессе движения на подъеме скорость поезда обычно уменьшается, на уклоне или площадке после подъема — увеличивается. При этом скорость может изменяться в несколько раз. Изменение скорости движения приводит к изменению в широких пределах режима работы и тока, потребляемого тяговыми электродвигателями от генератора. Следовательно, ток I_r генератора при работе дизеля на номинальной мощности будет значительно из-

меняться в зависимости от скорости движения локомотива. Рассматривая приведенную выше формулу (см. с. 178), легко догадаться, что для поддержания постоянства мощности тягового генератора в случае изменения тока необходимо обратно пропорционально изменять напряжение U_{Γ} генератора. Например, если скорость тепловоза уменьшилась и ток в тяговых двигателях и генераторе увеличился в два раза, то напряжение генератора должно снизиться также в два раза. Произведение тока генератора на его напряжение останется прежним, следовательно, мощность, вырабатываемая тяговым генератором, также останется постоянной.

Однако ток и напряжение тягового генератора могут меняться лишь в определенных пределах. Максимальное напряжение генератора не может быть превышено по условиям магнитного насыщения системы возбуждения, прочности изоляции электрической машины, допустимому напряжению между коллекторными пластинами. Ток генератора также ограничен определенным предельным значением. В случае дальнейшего увеличения тока произойдет перегрев обмотки якоря, коллектора, начнется искрение под щетками, генератор может выйти из строя.

Изобразим требуемую внешнюю характеристику тягового генератора, т. е. зависимость его напряжения от тока, графически в системе прямоугольных координат (рис. 140). На горизонтальной прямой (оси абсцисс) будем откладывать ток генератора I_{Γ} на вертикальной прямой (ось ординат) — напряжение генератора U_{Γ} .

Например, генератор вырабатывает ток величиной I_{Γ} , а его напряжение в этот момент времени равно U_{Γ} . Точка D_1 определит графически данный режим работы генератора. Отложив на осях координат целый ряд значений тока генератора и соответствующие им напряжения генератора, аналогичным способом найдем ряд точек D_2, D_3 и т. д. Соединив эти точки линией, мы получим графическое изображение внешней характеристики тягового генератора.

Требуемая внешняя характеристика тягового генератора может быть представлена кривой $ABVG$. Основной рабочей частью характеристики является участок BV , на котором напряжение тягового генератора изменяется обратно пропорционально току генератора и его мощность сохраняется постоянной. Эта кривая носит название *гиперболы*. После того как ток уменьшился до величины $I_{\Gamma 1}$ (точка B характеристики), а напряжение возросло до предельно допустимого значения $U_{\Gamma 1}$, дальнейшего возрастания напряжения с уменьшением тока не происходит. Участок кривой AB характеризует ограничение мощности генератора по напряжению. В случае когда ток достигает предельно допустимой величины $I_{\Gamma 2}$, напряжение генератора начинает резко уменьшаться, предупреждая дальнейшее увеличение тока. Участок характеристики BG является ограничением по величине максимального тока генератора.

Рассмотренная внешняя характеристика тягового генератора является теоретической. В реальных усло-

виях с целью упрощения систем регулирования генераторов допускают некоторые отклонения фактических характеристик от теоретической. Однако сближение реальной и теоретической характеристик является необходимым и служит критерием оценки систем регулирования.

Внешняя характеристика тягового генератора тепловоза 2ТЭ10Л (рис. 141) приближается к гиперболе при токе генератора 2600—5800 А. В гиперболической части внешней характеристики генератора практически поддерживается постоянной. При меньших токах наступает ограничение мощности по возбуждению: напряжение почти не повышается и мощность с уменьшением тока снижается. Величина максимального тока также строго ограничивается.

Посмотрим, можно ли получить такую внешнюю характеристику у генератора с самовозбуждением. Напряжение генератора параллельного возбуждения (кривая 2, рис. 142) несколько падает с увеличением тока нагрузки. Это происходит за счет возрастания внутреннего падения напряжения (в цепи якоря) и усиления реакции якоря. Кроме того, вызванное этими причинами падение напряжения приводит к уменьшению тока возбуждения и дополнительному понижению напряжения генератора. У генератора последовательного возбуждения (кривая 3, рис. 142) в аналогичных условиях напряжение растет, так как весь ток якоря проходит по обмоткам его главных полюсов.

Генератор со смешанным возбуждением (кривая 4, рис. 142) в случае,

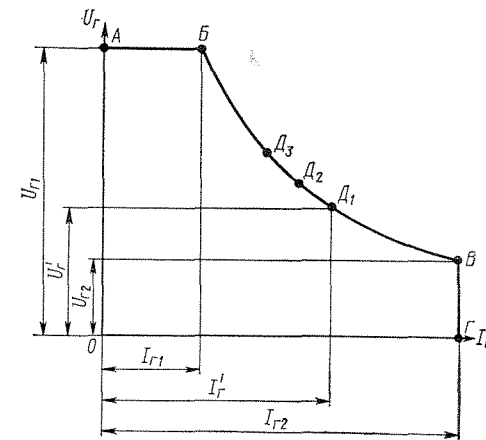


Рис. 140. Внешняя характеристика тягового генератора тепловоза

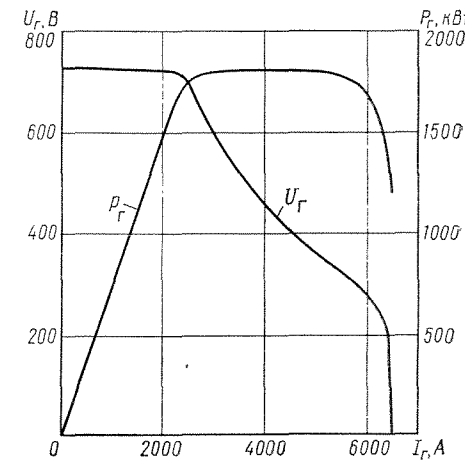


Рис. 141. Внешняя характеристика и изменение мощности тягового генератора тепловоза 2ТЭ10Л при номинальном режиме работы в зависимости от тока

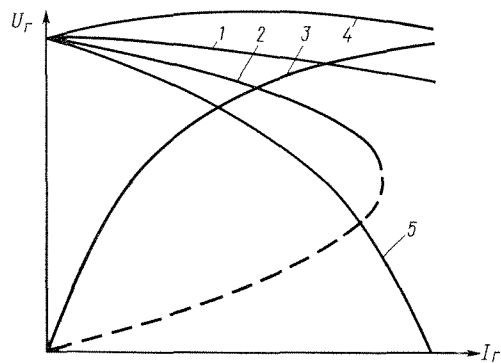


Рис. 142. Внешние характеристики генераторов с возбуждением:

1 — независимым; 2 — параллельным; 3 — последовательным; 4 — смешанным согласованным; 5 — смешанным встречным

если магнитные потоки обеих обмоток его возбуждения имеют одинаковые направления, может поддерживать на своих выводах напряжение близкое к постоянному. При встречном направлении магнитных потоков обмоток возбуждения напряжение генератора с увеличением тока нагрузки резко снижается за счет размагничивания последовательной обмоткой.

Если напряжение на выводах обмотки возбуждения генератора независимого возбуждения сохраняется постоянным, то его внешняя характеристика изображается почти горизонтальной линией (кривая 1, рис. 142).

Следовательно, генераторы с самовозбуждением и рассмотренный генератор независимого возбуждения не удовлетворяют по своим характеристикам требованиям, предъявляе-

мым к тяговому генератору тепловоза. Поэтому генераторы мощных тепловозов выполняются с независимым возбуждением и специальной системой регулирования тока возбуждения, обеспечивающей реализацию необходимой внешней характеристики.

Как уже отмечалось, тяговые генераторы тепловозов обычно используются для пуска дизеля. Поэтому на главных полюсах генератора, кроме обмотки независимого возбуждения, располагается еще пусковая обмотка. Пусковая обмотка обеспечивает возбуждение генератора лишь при его работе в режиме электродвигателя. На генераторном режиме она отключена. Принцип действия генератора в двигательном режиме не отличается от принципа действия других электродвигателей постоянного тока (см. гл. 14).

ТЯГОВЫЙ ГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА

Тяговый генератор тепловоза 2ТЭ10Л представляет собой электрическую машину постоянного тока. Его длительная номинальная мощность, т. е. мощность, которая может быть получена от него неограниченное время, равна 2000 кВт. Тяговый генератор состоит из следующих основных частей: магнитной системы, якоря, щеткодержателей со щетками и вспомогательных устройств (рис. 143). Магнитная система генератора предназначена для создания мощного магнитного поля в нем. Она образована из станины (ярма) генератора, главных и добавочных полюсов.

Станина генератора, являясь частью магнитной системы, представляет собой и его остов (корпус). Изготовлена станина из стали с малым содержанием углерода, обладающей высокой магнитной проницаемостью. Снаружи станина имеет лапы, с помощью которых генератор устанавливается на поддизельной раме.

Магнитная система генераторов постоянного тока в зависимости от их мощности может иметь различное число полюсов. Генераторы большой мощности выполняются многополюсными, так как при этом уменьшаются их размеры и масса. Тяговый генератор тепловоза 2ТЭ10Л имеет 10 глав-

ных полюсов. Сердечники главных полюсов изготовлены из тонких листов электротехнической стали с большой магнитной проницаемостью (рис. 144). В сердечнике, набранном из отдельных изолированных листов, вихревые токи намного меньше, чем в цельном. Листы стягиваются заклепками.

Сердечники полюсов прикреплены к станине болтами. Наконечники сердечников имеют такую форму, которая позволяет, во-первых, удерживать полюсную катушку и, во-вторых, придать распределению магнитных силовых линий между полюсом и якорем желаемый характер.

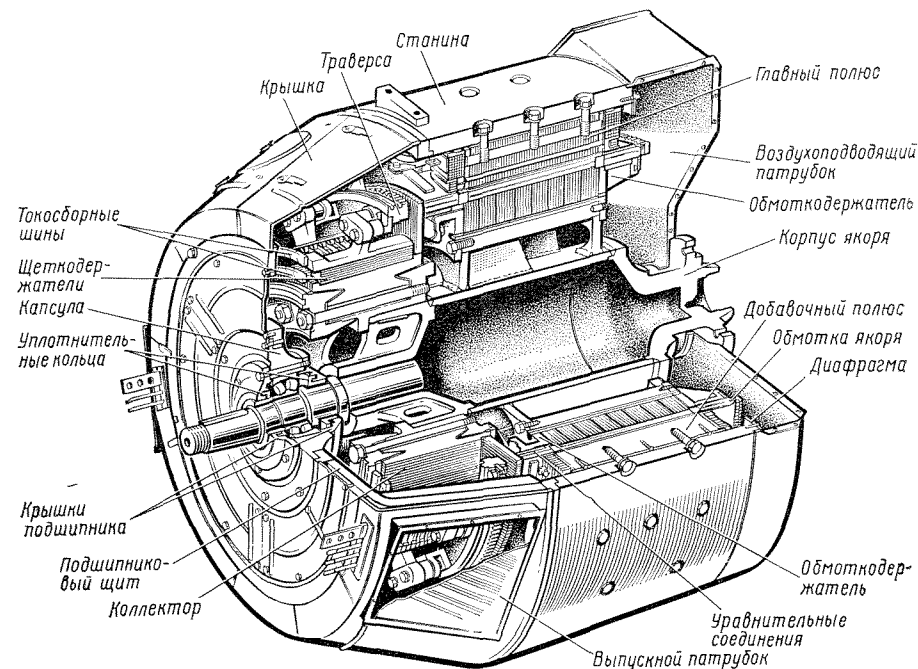


Рис. 143. Тяговый генератор тепловоза 2ТЭ10Л

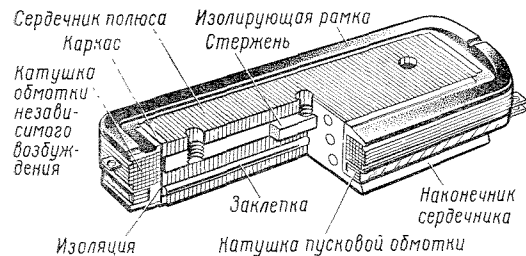


Рис. 144. Главный полюс тягового генератора

На каждом главном полюсе размещены катушки обмоток независимого возбуждения и пусковой. Катушка независимого возбуждения выполнена из 105 витков медного провода сечением $1,7 \times 6,9$ мм. Пусковая катушка полюса, по которой кратковременно пропускается ток большой силы только при пуске дизеля, имеет всего три витка из двоярного провода сечением $2,26 \times 40$ мм. В генераторах северный и южный полюсы чередуются между собой, т. е. за северным полюсом следует южный, затем опять северный и т. д.

Добавочные полюсы установлены между главными. По числу главных

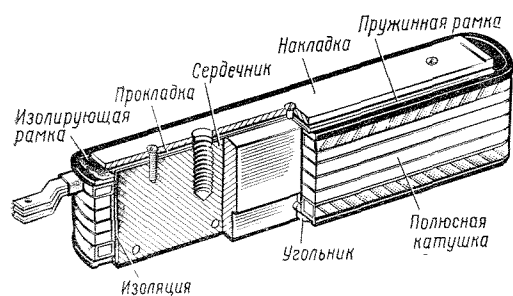


Рис. 145. Добавочный полюс тягового генератора

полюсов тяговый генератор тепловоза 2ТЭ10Л оборудован 10 добавочными полюсами. Каждый добавочный полюс состоит из сердечника и катушки с шестью витками провода сечением 16×25 мм (рис. 145). Ввиду небольших размеров сердечники добавочных полюсов выполнены цельными (сплошными). Полюсы снабжены изоляционными рамками для усиления изоляции от корпуса и пружинными рамками для предупреждения вибрации катушек на сердечниках полюсов.

Якорь генератора (рис. 146) служит для размещения на нем обмотки и коллектора, а также для уменьшения сопротивления магнитной цепи генератора. С целью снижения массы генератора корпус якоря выполнен полым. Корпус оканчивается фланцем для соединения с помощью муфты с коленчатым валом дизеля, а с противоположной стороны снабжен ребристой втулкой. Во внутреннее отверстие втулки запрессован укороченный вал якоря. Применение укороченного вала вместо сквозного позволило дополнительно уменьшить массу якоря. Наружное кольцо ребристой втулки предназначено для установки коллектора генератора. Вал якоря опирается на сферический двухрядный роликовый подшипник (см. рис. 143), расположенный в съемной капсуле. Капсула крепится к подшипниковому щиту генератора и позволяет снять подшипник без полной разборки электрической машины. Подшипник закрыт крышками и уплотнительными кольцами.

Сердечник якоря набран из сегментных листов электротехнической

(см. рис. 146) стали толщиной 0,5 мм, стянутых с помощью нажимных шайб и шпилек. Нажимные шайбы одновременно являются обмоткодержателями для лобовых частей якорной обмотки. Листы сердечника изолированы друг от друга, благодаря чему резко снижаются потери энергии в сердечнике, уменьшается его нагрев вихревыми токами. Эти листы по наружной поверхности имеют зубцы. При сборке впадины между зубцами образуют пазы, в которые укладывается обмотка якоря.

Якорная обмотка — двухходовая петлевая с уравнительными соедине-

ниями. Обмотка состоит из секций. Каждая секция имеет несколько витков хорошо изолированного медного провода прямоугольного сечения $2,83 \times 5,5$ мм. Готовые секции укладывают в пазы сердечника якоря и соединяют с пластинами коллектора.

При работе генератора его якорь вращается с большой скоростью и на секции обмотки якоря действуют значительные центробежные силы. В пазах сердечника якоря секции обмотки укрепляют специальными клиньями из изоляционного материала (рис. 147). Участки обмотки, выходящие из пазов сердечника якоря, стягивают

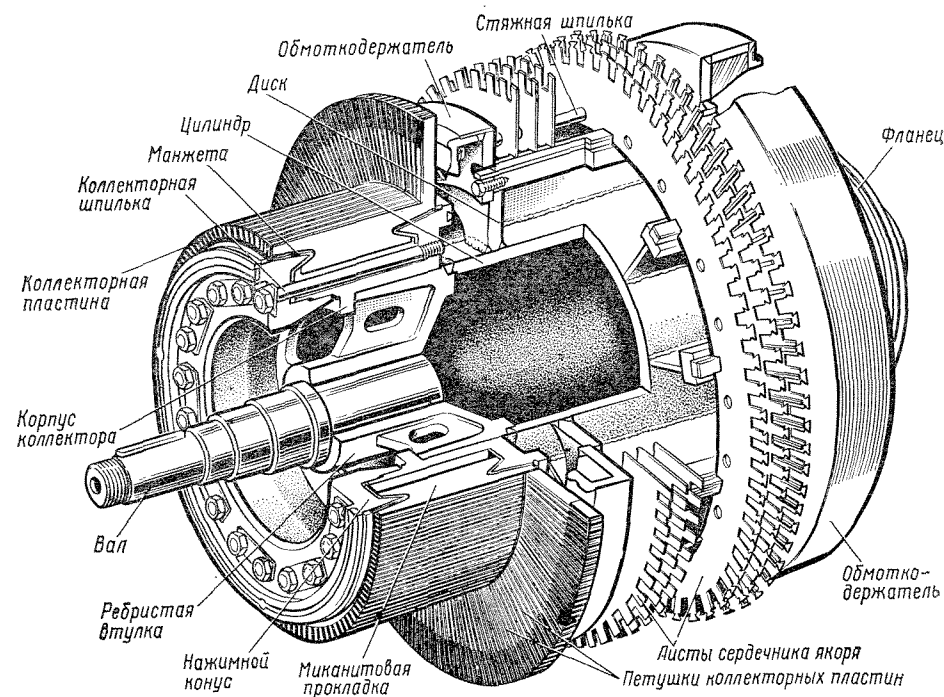


Рис. 146. Якорь тягового генератора (без обмотки)

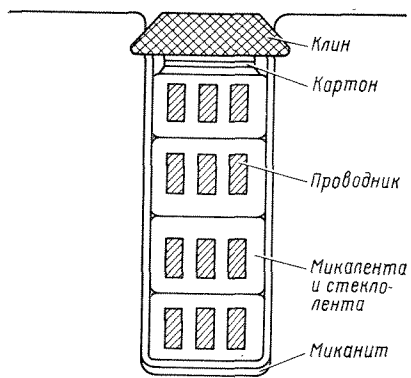


Рис. 147. Размещение обмотки в пазу якоря генератора

бандажами из стальной проволоки, наматываемой с предварительным натяжением, или стеклоткани. Для того чтобы витки проволоки бандажа не расходились, их по всей окружности пропаивают оловом вместе с пластинами из жести (замками). Бандажи надежно прижимают лобовые части обмоток к цилиндрическим об-

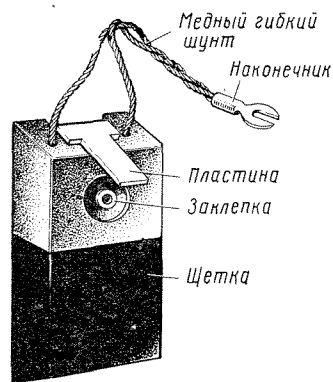


Рис. 148. Щетка тягового генератора

моткодержателям корпуса якоря. В генераторах последних лет изготовления проволочные бандажи заменены более надежными в эксплуатации стеклобандажами (из стеклоткани). Стеклобандажи в отличие от проволочных не оказывают влияния на магнитное поле электрической машины.

Коллектор, как уже указывалось, служит для выпрямления переменной э. д. с., индуктируемой в обмотке якоря генератора, и для съема тока. Он состоит из большого числа медных коллекторных пластин. Например, коллектор тягового генератора тепловоза 2ТЭ10Л имеет 465 пластин. При сборке коллектора между его пластинами прокладывают изоляцию из миканитовых прокладок. Миканит — электроизоляционный материал, получаемый склеиванием тонких листочков слюды различными связующими материалами. Изоляция (миканитовые манжеты и цилиндры) прокладывается также между собранными в виде кольца коллекторными пластинами, корпусом коллектора и нажимным конусом (см. рис. 146). Основания коллекторных пластин выполнены в виде ласточкина хвоста и входят в выступы корпуса коллектора и нажимного конуса, которые стягиваются шпильками и надежно удерживают пластины. Собранный коллектор напрессовывают на ребристую втулку якоря.

Выступающую часть коллекторных пластин, в которую впаяваются выводы обмотки якоря, называют петушками. В тяговых генераторах тепловозов 2ТЭ10Л каждая коллекторная пластина соединена с концами

секций обмотки якоря посредством ленточной меди («гибкого петушка»). Гибкий петушок припаивают одним концом к пластине коллектора, другим — к выходам обмотки якоря.

Токосъем с коллектора электрических машин осуществляется щетками. В тепловозных электрических машинах применяются высококачественные электрографитовые щетки (рис. 148). Эти щетки изготовлены из угольного порошка с добавлением связующих материалов. Они прессуются в виде брусков нужных размеров и подвергаются действию высокой температуры (до 3000°С) в электропечах. В результате термической обработки углерод переходит в другую свою модификацию — графит. Поэтому термообработка щеток и получила название графитации. Графитация позволяет значительно повысить качество щеток. Они становятся мягче, прочнее, износостойчивее, меньше изнашивают коллектор, выдерживают большие токовые нагрузки. Такие щетки имеют достаточное электрическое сопротивление, поэтому обладают высокими коммутационными качествами.

Рабочую поверхность щеток точно притирают (пришлифовывают) к поверхности коллектора. Поверхность коллектора, по которой скользят щетки, делается строго цилиндрической и тщательно шлифуется. Для обеспечения более спокойной, без ударов и вибраций работы щеток с целью повышения надежности их могут устанавливать наклонно к поверхности коллектора электрической машины или снабжать резиновыми амортизаторами.

Щетки вставляют в специальные латунные обоймы, называемые щеткодержателями. Щеткодержатели тягового генератора тепловоза 2ТЭ10Л показаны на рис. 149. Назначение щеткодержателей — удерживать щетки в правильном положении и прижимать их к поверхности коллектора. Для этого щеткодержатели имеют пружины. В щеткодержателе установлены две щетки с резиновыми амортизаторами. Электрический ток отводится от щеток по гибким медным тросикам (шунтам). Второй конец тросика надежно соединен с бракетом щеткодержателей.

В соответствии с числом главных полюсов тяговый генератор тепловоза 2ТЭ10Л имеет десять алюминиевых бракетов, на каждом из них укреплено по девять щеткодержателей с восемнадцатью щетками. Бракетки на изоляторах крепятся к поворотной траверсе. Траверса устанавливается в подшипниковом щите генератора (см. рис. 143 и 149) и может поворачиваться для облегчения доступа при осмотре и ремонте к каждому щеткодержателю. Пять бракетов щеткодержателей одной полярности соединены шиной; одна из шин является плюсовой, вторая — минусовой.

При работе дизеля тепловоза колеччатый вал через пластинчатую муфту вращает якорь тягового генератора в магнитном поле, создаваемом его полюсами. В якорной обмотке индуктируется э. д. с., при замыкании внешней цепи ток проходит из якорной обмотки через одну группу пластин коллектора, плюсовые щеткодержатели к тяговому электродвигателям и далее через минусовые щетко-

держатели, другую группу пластин коллектора возвращается в якорную обмотку.

Несмотря на принимаемые меры по снижению электрических, магнитных, механических потерь энергии в генераторе, они остаются достаточно большими и приводят к нагреву деталей. Наиболее чувствительной к повышенным температурам является изоляция обмоток и коллектора электрических машин. Для предупреждения перегрева генераторов, прежде всего электрической изоляции, их охлаждают наружным воздухом. При этом в отечественных тяговых генераторах мощностью до 1500 кВт обычно используется самовентиляция. Для подачи охлаждающего воздуха в более мощные тяговые генераторы на тепловозах устанавливают специальные дополнительные вентиляторы.

Тяговый генератор тепловоза ТЭЗ выполнен с самовентиляцией. Для этого на якоре генератора со сторо-

ны, противоположной коллектору, укреплен центробежный вентилятор. Вентилятор засасывает воздух со стороны коллектора. Далее поток воздуха проходит внутри генератора, охлаждает его и выбрасывается вентилятором через патрубок наружу под раму тепловоза.

На тепловозах 2ТЭ10Л установлен отдельный центробежный вентилятор для охлаждения воздухом тягового генератора (рис. 150). Очищенный от посторонних примесей воздух подается вентилятором по нагнетательному каналу через воздухоподводящий патрубок (см. рис. 143) со стороны, противоположной коллектору. Внутри генератора охлаждающий воздух проходит параллельными потоками через магнитную систему и якорь, отводит от них тепло и выбрасывается наружу через выпускной патрубок в подшипниковом щите и выпускные каналы. Для обеспечения надежной работы тяговых генераторов охлаждаю-

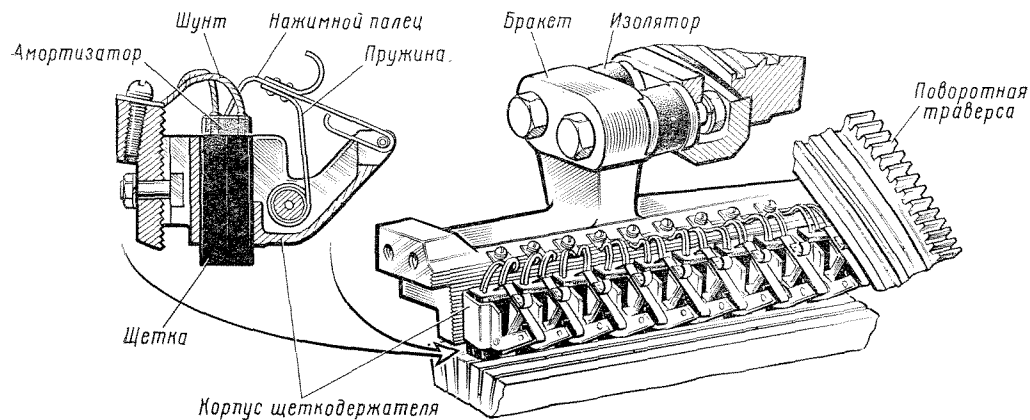


Рис. 149. Щеткодержатели

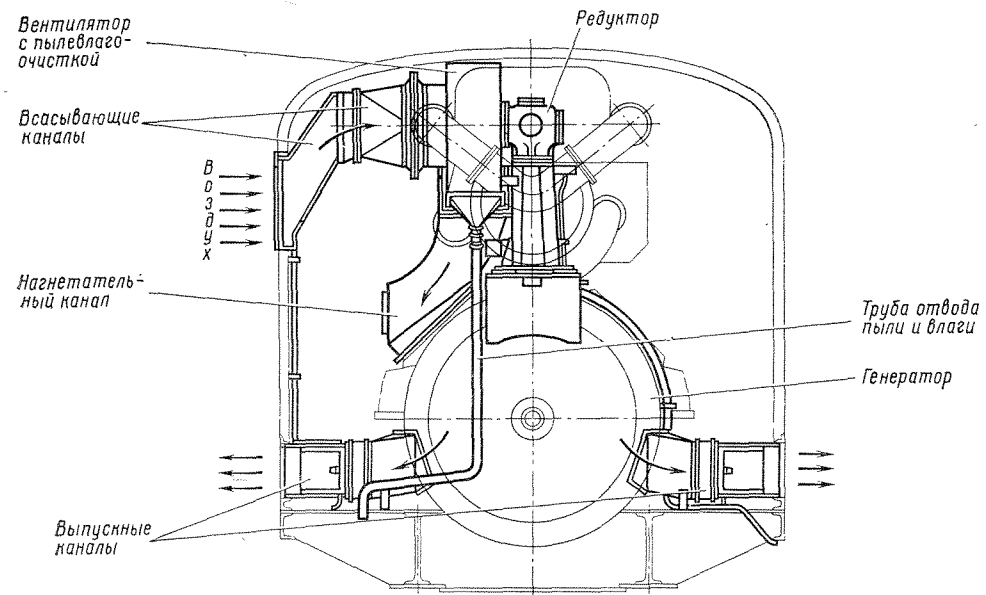


Рис. 150. Система воздушного охлаждения тягового генератора тепловоза 2ТЭ10Л

щий воздух не должен нести с собой несгоревшее топливо, выбрасываемое дизелем, пыль, влагу. Поэтому очень важным является рациональный выбор места забора охлаждающего воздуха и применение достаточно эффективной его очистки.

ПОЧЕМУ СТАЛИ ПРИМЕНЯТЬ ТЯГОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА?

Развитие отечественного и зарубежного тепловозостроения сопровождалось непрерывным повышением секционной мощности тепловозов. Увеличение массы поездов, скоростей движения настоятельно требовало

применения все более мощных локомотивов. Пока секционная мощность тепловоза не превышала 1470 кВт (2000 л. с.), применение тяговых генераторов постоянного тока не вызвало особых затруднений. Все тепловозные силовые установки оборудовались тяговыми генераторами, вырабатывавшими постоянный ток, который непосредственно использовался для питания тяговых электродвигателей. Но уже в конце 50-х годов потребовалось увеличить секционную мощность тепловозов до 2210 кВт (3000 л. с.) и более. В Советском Союзе и ряде других стран были разработаны и построены тепловозные дизели мощностью 2210—2940 кВт (3000—4000 л. с.) с частотой враще-

ния коленчатого вала 850—1500 об/мин. Однако при создании тяговых генераторов постоянного тока для тепловозов с этими дизелями встретился ряд трудностей. С увеличением мощности значительно возрастали размеры генераторов. В то же время для обеспечения надежной работы коллектора и щеток линейная окружная скорость цилиндрической поверхности коллектора не должна превышать 60—70 м/с. Это требование ограничивает увеличение диаметра коллектора и, следовательно, диаметра якоря генератора. Далее, для предупреждения недопустимого искрения на коллекторе и повреждения генератора в результате появления кругового огня напряжение между соседними пластинами коллектора не должно превышать определенной величины — приблизительно 30—35 В. В результате ограничивается и максимальная длина витков обмотки якоря и, следовательно, длина якоря. Действительно, при одинаковой линейной скорости движения в магнитном поле индуцируемая электродвижущая сила в каждом витке обмотки будет пропорциональна длине ее активных сторон.

Таким образом, создание тепловозных тяговых генераторов постоянного тока большой мощности вызвало не только рост размеров и массы, осложняя их размещение на локомотиве, но и наталкивалось на принципиальные трудности. Эта проблема коренным образом могла решаться только путем отказа от применения в электрических машинах коллектора. Коллектор служит для выпрямления тока, вырабатываемого в обмотке яко-

ря генератора, поэтому отказ от его использования практически означает переход на электрическую машину переменного тока. Так на мощных тепловозах получили применение тяговые генераторы переменного тока с выпрямительными установками для питания постоянным током тяговых электродвигателей.

Читателю известно, что постоянный ток характеризуется своим неизменным направлением в замкнутой электрической цепи.

Переменным называют ток, который периодически изменяет свое направление и величину. Через определенный промежуток времени T , называемый периодом, изменение тока точно повторяется. Следовательно, переменный ток передается импульсами. За один период сила тока в замкнутой цепи постепенно возрастает до максимального значения, затем снижается до нуля, ток меняет свое направление на обратное, вновь возрастает до максимальной величины и снова снижается до нуля. Длительность периода определяется в секундах, а число периодов за 1 секунду называют *частотой тока*. Например, если период (т. е. полный цикл изменения) переменного тока составляет $\frac{1}{50}$ секунды, то число периодов за секунду будет $\frac{1}{1/50} = 50$. Итак, частота

этого тока равняется 50 периодам в секунду. В электротехнике для измерения частоты тока принята специальная единица — герц — по имени знаменитого немецкого физика Генриха Герца, равная 1 периоду в секунду. Поэтому частота рассматриваемого нами тока окажется 50 Гц

(герц). Такая частота принята в качестве стандартной для энергетических установок Советского Союза. Переменный ток нашел самое широкое применение в электрической энергетике всего мира благодаря ряду своих преимуществ — величина напряжения переменного тока легко изменяется с помощью трансформаторов, в которых не имеется вращающихся частей, электрические машины переменного тока много проще, дешевле и надежнее машин постоянного тока.

Для получения в замкнутой электрической цепи переменного тока созданы источники электрической энергии, индуцирующие переменную электродвижущую силу. Они получили название генераторов переменного тока. Генераторы переменного тока, так же как и генераторы постоянного тока, основаны на использовании явления электромагнитной индукции. Поэтому в устройстве этих генераторов тока много общего. Генератор переменного тока имеет магнитную систему для создания магнитного поля и проводники, в которых индуцируется электродвижущая сила, когда при своем движении они пересекают магнитный поток (рис. 151). В простейшем генераторе переменного тока проводники, выполненные в виде рамки, соединены своими концами с контактными кольцами. Кольца вращаются вместе с рамкой, по их поверхности скользят щетки, соединяющие генератор со внешней цепью. Сравнивая простейшие генераторы (см. рис. 132 и 151) двух видов тока, легко видеть, что их основное отличие состоит в том, что коллектор ге-

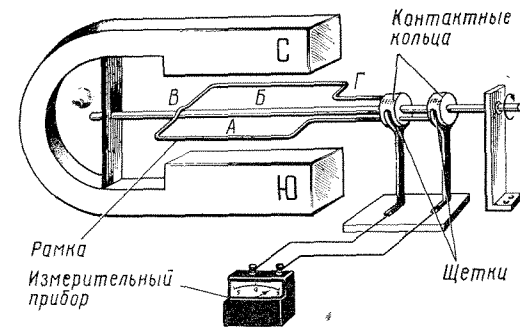


Рис. 151. Простейший генератор переменного тока

нератора постоянного тока в генераторе переменного тока заменен контактными кольцами. Для индуцирования электродвижущей силы приведем рамку во вращение с постоянной скоростью от постороннего источника механической энергии. Возникающие в обеих рабочих сторонах рамки А и Б электродвижущие силы действуют согласно и суммируются в общую э. д. с. рамки. Как и в простейшем генераторе постоянного тока, схема работы которого показана на рис. 133, в рамке индуцируется периодически изменяющаяся по величине и направлению электродвижущая сила. Если к щеткам присоединить замкнутую внешнюю электрическую цепь с резистором нагрузки R_n , то под действием электродвижущей силы в ней будет проходить электрический ток.

При горизонтальном положении рамки ее рабочие стороны А и Б как бы скользят вдоль магнитных силовых линий, не пересекая их, поэтому э. д. с. и сила тока в цепи имеют нулевое значение (рис. 152, а). По ме-

ре поворота рамки э. д. с. и ток будут непрерывно увеличиваться до максимальных значений при вертикальном положении рамки (рис. 152, б) и вновь примут нулевые значения при угле поворота рамки 180° от первоначального положения (рис. 152, в). Во внешней цепи в этот полупериод ток проходил от щетки 2 к щетке 1. При дальнейшем повороте рамки направление индуцируемой э. д. с. в каждой ее рабочей стороне меняется на обратное (рис. 152, г), и ток во внешней цепи во втором полупериоде проходит уже от щетки 1 к щетке 2, т. е. в обратном направлении. После прохождения горизонтального положения (рис. 152, д) цикл изменения э. д. с. и тока полностью повторится. Изменение э. д. с. и тока во внешней цепи иллюстрируется графиком, представленным на рис. 152. Если в первом полупериоде считать значения э. д. с. и тока положительными, то во втором полупериоде они

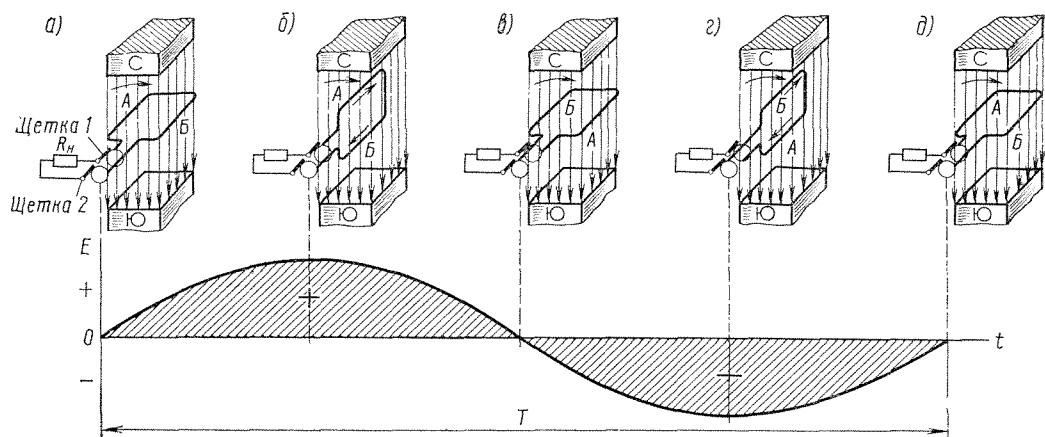


Рис. 152. Схема работы генератора переменного тока

примут отрицательные значения. Таким образом, полный цикл изменения э. д. с. в рамке, равный по времени периоду T , совершается за один полный ее оборот. Следовательно, частота переменного тока, вырабатываемого двухполюсным генератором, равна частоте вращения якоря с рамкой, измеренной в оборотах в секунду. При увеличении числа пар полюсов в генераторе пропорционально возрастает число полных циклов изменения переменного тока за один оборот якоря. Поэтому частота вырабатываемого генератором переменного тока определяется по формуле

$$f = np,$$

где n — частота вращения якоря, об/с;

p — число пар полюсов магнитной системы генератора.

Показанная на рис. 152 кривая изменения э. д. с. и тока представляет собой синусоиду, так как она яв-

ляется графическим изображением тригонометрической величины, называемой синусом. Электродвижущая сила, напряжение, ток, изменяющиеся по такому закону, называются синусоидальными. Основными условиями получения синусоидальных характеристик переменного тока являются однородность (равномерность) магнитного поля генератора и постоянство частоты вращения проводников, в которых эта электродвижущая сила индуцируется.

В генераторах переменного тока большой мощности, так же как и в генераторах постоянного тока, используются электромагниты для создания сильного магнитного поля. Обмотка, в которой индуцируется э. д. с., имеет большое число проводников, соединенных по определенной схеме. Для создания э. д. с. магнитный поток должен пересекать проводник, при этом безразлично, будет ли перемещаться проводник или магнит. Это позволяет обмотку, в которой индуцируется э. д. с., располагать на неподвижной части генератора переменного тока. Во вращение приводятся полюсы с обмоткой возбуждения. Внешняя цепь генератора присоединяется к неподвижным выводам его обмоток с помощью контактных болтов. Поэтому отпадает необходимость в использовании скользящих контактов (контактные кольца — щетки) в силовой цепи. Контактные кольца и щетки применяются лишь для подвода электрического тока к вращающейся обмотке возбуждения генератора. Мощность, требующаяся для возбуждения, во много раз меньше мощности генератора. Поэтому

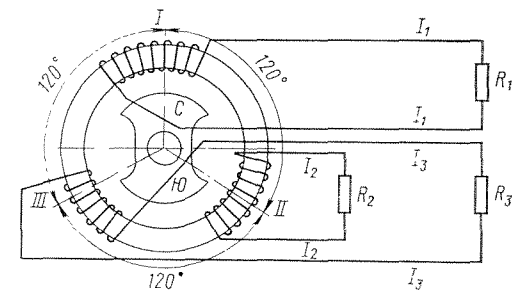


Рис. 153. Схема электрического генератора трехфазного тока

осуществить подвод тока с помощью скользящих контактов в обмотку возбуждения несравненно проще. Контактные кольца и щеточный аппарат в этом случае невелики по размерам, массе, надежны в работе.

Генераторы переменного тока большой мощности, в том числе и тяговые генераторы тепловозов, изготавливаются исключительно с вращающимися обмотками возбуждения. Небольшие генераторы переменного тока, где токосъем не представляет трудностей, часто выполняются с вращающейся якорной обмоткой и неподвижным индуктором. Такие генераторы переменного тока называются *машинами обращенного типа*. В электрических машинах переменного тока вращающуюся часть называют ротором, а неподвижную часть — статором¹.

На практике наиболее широкое применение получил трехфазный электрический ток. Трехфазные генераторы имеют три самостоятельные об-

¹ От латинских слов *rotare* — вращаю и *stator* — стоящий неподвижно.

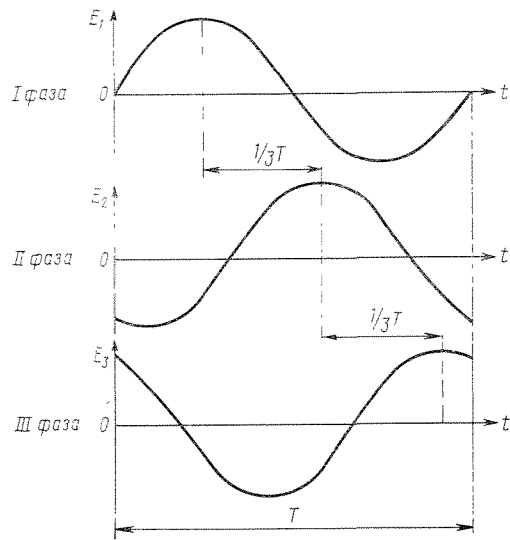


Рис. 154. Изменение э. д. с., индуцируемой в фазах трехфазного генератора

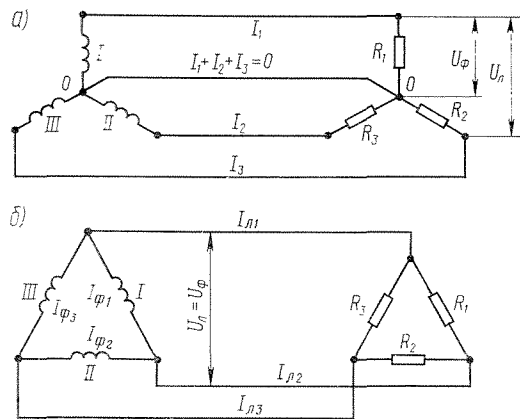


Рис. 155. Соединение обмоток трехфазного генератора и потребителей электрической энергии:

а — звездой; б — треугольником

мотки I—III, расположенные по окружности одна относительно другой под углом 120° (рис. 153). При вращении ротора, являющегося электромагнитом, в обмотках индуцируются переменные э. д. с. (рис. 154), сдвинутые по фазе (во времени) на $1/3$ периода. Каждую из обмоток трехфазного генератора можно рассматривать в качестве однофазного генератора, питающего переменным током $I_1—I_3$ свою внешнюю цепь с резисторами $R_1—R_3$ (см. рис. 153). Обмотка вместе с внешней цепью получила название *фазы*¹. Число проводов, соединяющих трехфазный генератор с внешними нагрузками, можно сократить, если три обратных провода от потребителей энергии к генератору заменить одним, как это показано на рис. 155, а. Теперь по общему проводу к генератору будут проходить токи всех трех фаз. Соединение обмоток трехфазного генератора, при котором их концы соединены между собой, принято называть *соединением звездой*. Три провода, соединяющих начало каждой обмотки генератора с потребителями, называют *линейными*, именно по ним идет передача электроэнергии. Провод, соединяющий общие концы обмоток генератора и потребителя, называют *нулевым*. Если нагрузка всех трех фаз полностью одинакова, то суммарный ток в нулевом проводе будет равен нулю. В применении этого провода нет необходимости, и, убрав его, получим соединение фаз звездой без нулевого прово-

¹ От греческого слова phasis — появление.

да. В отсутствие тока в нулевом проводе легко убедиться, сложив алгебраические значения трех синусоидальных токов, сдвинутых по фазе на 120 электрических градусов. Это можно сделать и с помощью рис. 154, если представить, что на нем изображены кривые изменения тока в фазах генератора. Нулевой провод будет пропускать ток при неравномерной нагрузке фаз.

Напряжение $U_{\text{л}}$ между линейными проводами принято называть *линейным напряжением*, а напряжение на каждой фазе $U_{\text{ф}}$ — *фазовым напряжением*. Линейное и фазовое напряжения при соединении обмоток звездой находятся в следующем соотношении: $U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\text{ф}}$. Токи I_1, I_2, I_3 в каждой фазе одновременно являются и линейными токами.

Существует и другой способ соединения обмоток генератора и потребителей, называемый *треугольником* (рис. 155, б). В этом случае фазовое и линейное напряжения равны, а ток в линейном проводе больше тока в фазе и при одинаковой нагрузке фаз $I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\text{ф}}$. При соединении обмоток треугольником отпадает необходимость в применении нулевого провода.

Таким образом, применение трехфазного тока вместо однофазного позволяет сократить число проводов и затраты цветного металла для их изготовления. Кроме того, трехфазный ток дает возможность получить вращающееся магнитное поле в двигателях, на основе которого созданы простые по конструкции асинхронные электродвигатели (см. гл. 14).

Трехфазный ток имеет и еще одно важное преимущество. При выпрямлении однофазного тока получаемое на выходе из выпрямителя напряжение имеет пульсацию от нулевых до максимальных значений (если не применяется специальных сглаживающих устройств). Происходит это потому, что напряжение однофазного источника переменного тока в течение каждого периода принимает дважды нулевое и максимальное значения. Вследствие сдвига по времени фаз изменения трехфазного тока на $1/3$ периода после его выпрямления колебания напряжения составляют лишь около 8%. Об этом подробнее рассказано ниже при описании работы выпрямителей. Снижение пульсации выпрямленного тока генератора улучшает условия работы питающихся от него электродвигателей постоянного тока — предупреждается нарушение коммутации, уменьшаются потери энергии в двигателе. Поэтому тяговые генераторы переменного тока выполняются многофазными. Так, тяговый генератор тепловоза 2ТЭ116, конструкция которого рассмотрена ниже, имеет в статоре две независимые трехфазные обмотки. Осн обмоток сдвинуты одна относительно другой, и генератор получается как бы шестифазным. Пульсация выпрямленного напряжения генератора и тока в силовой цепи тепловоза лежит в пределах 4—5%, практически не оказывая влияния на работу тяговых электродвигателей. Благодаря этому отпадает необходимость в применении на тепловозах с генераторами переменного тока сложных сглаживающих устройств.

СИНХРОННЫЙ ТЯГОВЫЙ ГЕНЕРАТОР

Частота переменной э. д. с., индуцируемой в рассмотренных выше генераторах переменного тока, строго пропорциональна частоте вращения ротора, поэтому такие генераторы называют *синхронными*¹. Рассмотрим устройство синхронного тягового генератора тепловоза 2ТЭ116 (рис. 156).

Станина генератора сварная, в ней установлен сердечник из сегментных листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Листы стянуты нажимными шайбами и болтами. В пазы сердечника уложена двухслойная волновая обмотка из медного изолированного провода сечением $2,1 \times 9,3$ мм. В пазах обмотка удерживается пластмассовыми клиньями, лобовые части обмотки укреплены колодками на изолирующих кольцах. Обмотка статора соединена в две независимых звезды, поэтому имеет шесть выводов фаз и два вывода от нулевых точек, к которым присоединяется гибкими проводами внешняя цепь тягового генератора (выпрямительная установка и тяговые электродвигатели).

Корпус ротора генератора также сварной, выполнен по типу корпуса якоря тепловозных генераторов постоянного тока. На корпусе нашит магнитопровод из листовой стали с пазами в виде ласточкина хвоста для крепления 12 полюсов магнитной системы. Сердечники полюсов набраны из листовой стали, стянуты

нажимными шайбами и шпильками с гайками. Катушки полюсов выполнены из шинной меди сечением $1,35 \times 25$ мм и закреплены на полюсах с помощью заливки изолирующим эпоксидным компаундом. От выбрасывания центробежными силами катушки удерживаются полюсными башмаками. Все катушки полюсов соединены последовательно. Начало и конец обмотки возбуждения генератора (полюсов) присоединены к контактным кольцам, насаженным на изолирующей пластмассе на корпус ротора. По контактным кольцам скользят электрографитовые щетки, установленные в латунных щеткодержателях.

С их помощью обмотка возбуждения синхронного тягового генератора получает питание током от возбuditеля.

Кроме того, в специальных пазах полюсных башмаков уложены стержни диаметром 12 мм, образующие вместе с соединительными дугами успокоительную (демпферную) обмотку, улучшающую работу генератора при переходных режимах.

Своим укороченным валом ротор опирается на сферический роликовый подшипник, установленный в съемной капсуле подшипникового щита. Второй конец ротора с помощью фланца и муфты соединен с коленчатым валом дизеля.

Активная мощность тягового генератора тепловоза 2ТЭ116 составляет 2190 кВт при номинальной частоте вращения ротора $n = 1000$ об/мин, или $\frac{1000}{60}$ об/с. На этом режиме частота вырабатываемого переменного тока ге-

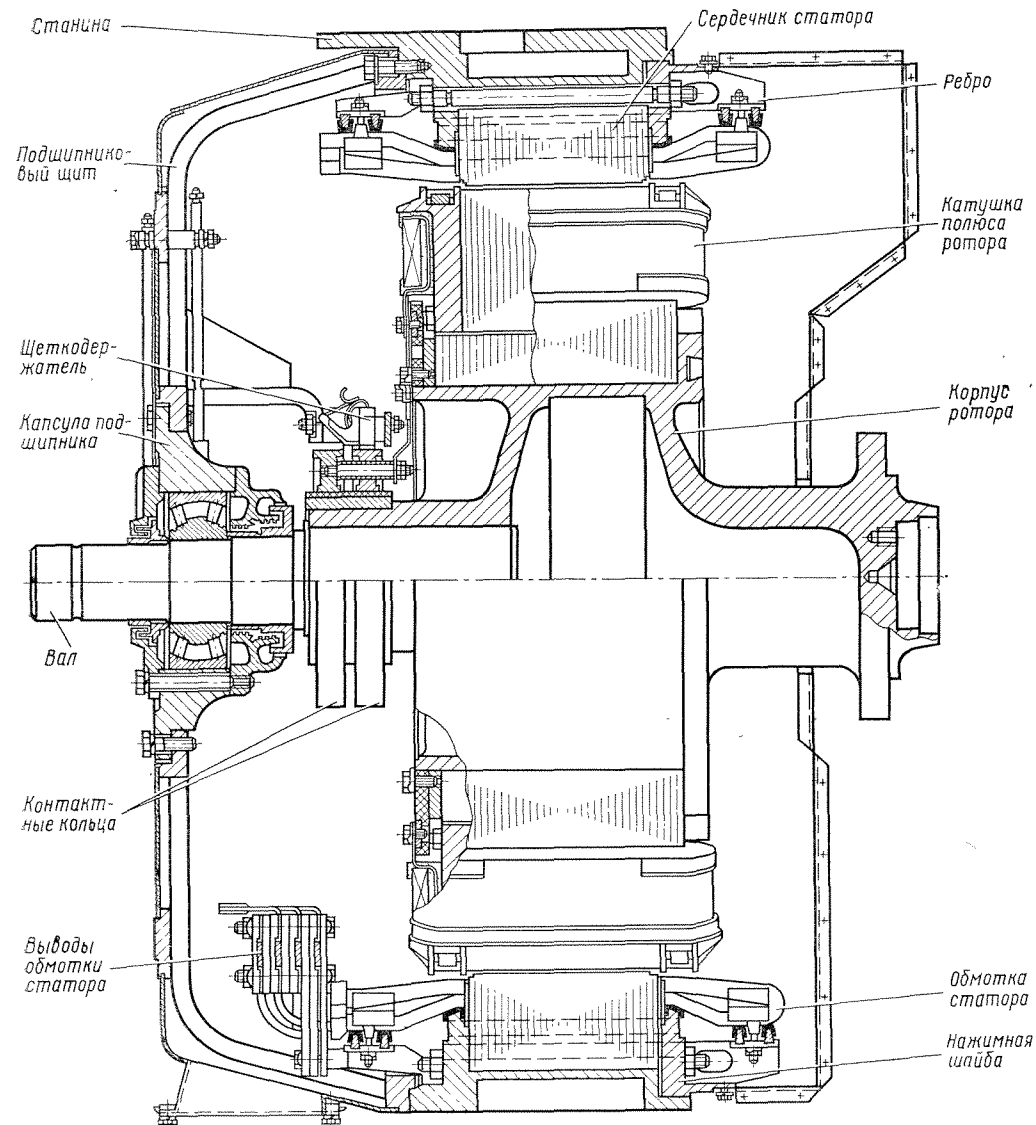


Рис. 156. Синхронный тяговый генератор тепловоза 2ТЭ116 (продольный разрез)

¹ От греческого слова *synchronos* — одновременный.

нератором, имеющим шесть пар полюсов, составляет

$$f = \frac{np}{60} = \frac{1000 \cdot 6}{60} = 100 \text{ Гц.}$$

Рассматривая принцип действия и устройство синхронных генераторов, мы видим, что в них нет коллектора, добавочных полюсов, сложного и громоздкого щеточного аппарата. В машинах переменного тока электромагнитная нагрузка не ограничивается коммутацией и может быть повышена, обеспечивая дополнительное снижение массы. Как же отразились эти преимущества на реальных технических показателях синхронных генераторов?

Масса генератора переменного тока ГС-501А для тепловозов 2ТЭ116 составляет 6 т, а постоянного тока для тепловозов 2ТЭ10Л — 9 т при одинаковой мощности дизелей этих тепловозов 2210 кВт (3000 л. с.).

Следовательно, переход на генератор переменного тока обеспечил снижение массы, расхода металла на 3 т. Правда, при этом необходимо иметь в виду, что номинальная частота вращения ротора генератора на тепловозах 2ТЭ116 составляет 1000 об/мин против 850 об/мин на тепловозах 2ТЭ10Л, что также способствует снижению массы генератора.

Отечественной электротехнической промышленностью были разработаны для перспективных локомотивов с силовыми установками мощностью 2940 кВт (4000 л. с.) генераторы постоянного тока ГП-313Б и переменного тока ГС-504. При одинаковой частоте

вращения 1000 об/мин, мощности генераторов ГП-313Б и ГС-504 соответственно 2700 и 2750 кВт масса их меди составляет 1907 и 860 кг, а стали 3032 и 2534 кг. Таким образом, генератор переменного тока оказался на 1500 кг легче; для его изготовления затрачивается меньше на 1047 кг дорогой дефицитной меди.

Повышенная эксплуатационная надежность тяговых генераторов переменного тока обеспечила увеличение в 1,5 — 2 раза срока службы между ремонтами по сравнению с генераторами постоянного тока при одновременном снижении общей стоимости обслуживания и ремонтов. Тяговые генераторы тепловозов постоянного и переменного тока имеют близкие по величине коэффициенты полезного действия, достигающие 0,94—0,95 на номинальном режиме.

К числу недостатков тяговых генераторов переменного тока относится необходимость применения на тепловозах выпрямительных установок и стартерных электродвигателей (синхронные генераторы тепловозов не приспособлены для работы в двигательном режиме для пуска дизеля). Однако масса генератора переменного тока и выпрямителя остается меньше массы генератора постоянного тока. Стартерный двигатель при работе дизеля используется в качестве вспомогательного генератора постоянного тока. Надежность работы выпрямительных установок весьма высокая, практически они не требуют ремонта, кроме замены полупроводниковых вентилях в случае повреждения.

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ

Тяговый генератор тепловоза имеет независимое возбуждение. Ток в независимую обмотку посылает специальный генератор небольшой мощности — возбудитель. Ток возбудителя нужно изменять таким образом, чтобы мощность генератора оставалась постоянной при заданной частоте вращения коленчатого вала дизеля и увеличении скорости движения тепловоза в достаточно широком диапазоне. Регулировку тока возбуждения тягового генератора можно производить вручную. Включив в эту цепь резистор в виде реостата и изменяя его сопротивление, получим необходимый ток возбуждения. Однако машинисту придется непрерывно следить за электроизмерительными приборами и регулировать сопротивление реостата. При быстрых изменениях режима работы тепловоза человек просто не успеет выполнить необходимые действия.

На современных тепловозах процесс поддержания постоянства мощности тягового генератора автоматизирован. Применяются две основные системы регулирования мощности генератора: машинная и аппаратная.

В машинных системах автоматического регулирования мощности используются специальные возбудители. Напряжения на выводах такого возбудителя автоматически изменяется в необходимых пределах в зависимости от силы тока тягового генератора с помощью специальных обмоток возбуждения. Таким способом устанавливается требуемая взаимозависимость тока и напряжения тягового генератора.

Преимущества машинных систем автоматического регулирования мощности заключаются в простоте и высокой эксплуатационной надежности. Однако они не обеспечивают получение требуемой внешней характеристики тяговых генераторов в полной мере. Приходится применять дополнительные аппараты, электрические генераторы небольшой мощности для коррекции внешней характеристики тягового генератора с целью приближения ее к оптимальной.

В аппаратных системах устанавливаются специальные регуляторы мощности тепловозных дизель-генераторов. В этом случае в качестве возбудителя может быть использован наиболее простой электрический генератор. Автоматические регуляторы изменяют ток возбуждения тягового ге-

нератора, обеспечивая требуемую внешнюю характеристику. На тепловозах широко применяются аппаратные системы с автоматическим регулированием возбуждения возбудителя для реализации необходимых токов возбуждения тягового генератора. В этом случае обмотка возбуждения возбудителя питается энергией от подвозбудителя небольшой мощности (около 1 кВт). Автоматические регуляторы управляют малыми токами, поэтому получают весьма компактными и надежными.

Машинные системы автоматического управления работают на постоянном токе, который необходим для возбуждения тягового генератора. В аппаратных системах широко используется переменный ток, параметры которого легко изменяются с помощью трансформаторов. На переменном токе работают магнитные усилители, являющиеся наиболее простыми и надежными электрическими регуляторами, широко применяемыми на тепловозах. В тех случаях, когда потребитель в аппаратной системе регулирования мощности должен получить постоянный ток, на входе его устанавливается выпрямитель.

Машинными системами автоматического регулирования мощности тяговых генераторов оборудованы тепловозы ТЭ1, ТЭ2, ТЭМ1, ТЭМ2, ТЭ3 и некоторые другие. Аппаратные системы с установкой автоматических регуляторов мощности непосредственно в цепи возбуждения тягового генератора применялись на тепловозах ТЭ10 первых выпусков. Тепловозы 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, ТЭП60 снабжены также аппаратной системой регули-

рования, но автоматические регуляторы мощности находятся в цепи возбуждения возбудителя от подвозбудителя.

Для получения внешней характеристики тягового генератора, представленной на рис. 140, необходимо подобным же образом изменять магнитный поток и, следовательно, ток возбуждения генератора в зависимости от тока нагрузки. Действительно, гиперболическая характеристика генератора обеспечивается путем изменения напряжения генератора обратно пропорционально его току. Напряжение генератора при постоянной частоте вращения якоря регулируется за счет изменения магнитного потока полюсов, т. е. тока возбуждения. Обмотка независимого возбуждения генератора является внешней нагрузкой возбудителя. При постоянном сопротивлении этой обмотки ток в ней согласно закону Ома будет прямо пропорционален напряжению возбудителя. Поэтому напряжение возбудителя в машинных схемах регулирования мощности должно изменяться в зависимости от тока нагрузки генератора по кривой, повторяющей в определенном масштабе внешнюю характеристику генератора. Регулирование напряжения возбудителя также осуществляется путем изменения его возбуждения, так как генераторы с обычными системами возбуждения не обладают требуемой естественной внешней характеристикой (см. гл. 12).

Основной особенностью возбудителей машинных систем регулирования мощности являются их главные полюсы и специальные обмотки возбуждения. Рассмотрим прежде всего

принцип работы возбудителей тепловозов ТЭ1, ТЭ2, ТЭМ1 и ТЭМ2.

Якорь возбудителя имеет конструкцию, обычную для генераторов постоянного тока. Его главные полюсы расщеплены, т. е. состоят из двух частей 1 и 2 (рис. 157), разделенных немагнитной латунной прокладкой. В данном случае расщепление полюсов произведено по длине сердечника, т. е. в продольном направлении. Поэтому такие полюсы называют *продольно расщепленными*.

На каждом главном полюсе установлено по две катушки возбуждения. Одна катушка охватывает обе части полюса. Эти катушки всех главных полюсов возбудителя питаются током от вспомогательного генератора и образуют обмотку независимого возбуждения. Напряжение вспомогательного генератора поддерживается строго постоянным, поэтому этот ток возбуждения сохраняется неизменным. В независимую обмотку также поступает небольшой силы ток и непосредственно от выводов возбудителя. Вторая катушка охватывает лишь часть главного полюса. Эти катушки всех полюсов образуют дифференциальную (встречную) обмотку возбудителя. Дифференциальная обмотка включена в силовую цепь, по ней протекает весь ток генератора.

Направление тока в независимой и дифференциальной обмотках подобрано так, что их магнитные потоки имеют противоположное один другому направление.

Любой проводник якорной обмотки возбудителя одновременно пересекает магнитные потоки двух частей расщепленного полюса. Поэтому ре-

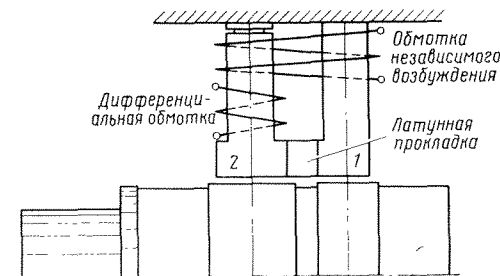


Рис. 157. Схема возбудителя с продольным расщеплением главных полюсов

зультирующая электродвижущая сила возбудителя равна алгебраической сумме э. д. с., индуцируемых потоками каждой части полюсов:

$$E_{\text{в}} = E_1 + E_2.$$

Величина тока в независимой обмотке возбуждения меняется в незначительных пределах, поэтому э. д. с. E_1 , возникающая в обмотке якоря под частью 1 полюсов, почти не изменяется при изменениях тока генератора (рис. 158).

Электродвижущая сила E_2 индуцируется в якоре под частью 2 полюсов, и ее величина зависит от соотношения магнитных потоков независимой и дифференциальной обмоток. При отсутствии тока в цепи якоря генератора магнитный поток в части 2 полюсов создается только независимой обмоткой и достигает максимальной величины. С увеличением тока генератора магнитный поток этой части полюсов уменьшается, так как магнитодвижущая сила дифференциальной обмотки противодействует магнитодвижущей силе независимой обмотки. При равенстве

магнитодвижущих сил обеих обмоток эта часть полюсов полностью размагничивается. Если ток генератора продолжает увеличиваться, то начинает преобладать магнитодвижущая сила дифференциальной обмотки и магнитный поток меняет свое направление на противоположное.

Электродвижущая сила E_2 пропорциональна магнитному потоку части 2 главных полюсов. Поэтому с увеличением тока нагрузки генератора вначале она будет уменьшаться до нуля, а затем, изменив направление, начнет снова возрастать. Электродвижущая сила возбудителя, полученная в результате алгебраического суммирования э. д. с. E_1 и E_2 , также показана на рис. 158. Она значительно уменьшается с увеличением тока тягового генератора. Ток возбуждения тягового генератора определяется величиной э. д. с. возбудителя и, следовательно, будет также значительно снижаться при увеличении тока нагрузки. С уменьшением тока возбуждения уменьшается и напряжение тягового генератора. Итак, в конечном итоге с увеличением тока генератора будет уменьшаться напряжение на его выводах.

Из рассмотрения зависимости э. д. с. возбудителя от тока нагрузки генератора следует, что при малых токах она практически остается постоянной, поэтому чрезмерного повышения напряжения тягового генератора не происходит. Ограничение э. д. с. достигается тем, что независимая обмотка создает магнитное насыщение полюсов, дифференциальная обмотка при малых токах в ней не в состоянии оказывать влияние на маг-

нитный поток полюса. При очень больших токах генератора, наоборот, дифференциальная обмотка создает магнитное насыщение своей части полюса, и при дальнейшем повышении тока в ней магнитный поток этой части полюсов не увеличивается. Общий магнитный поток полюсов перестает уменьшаться, и напряжение тягового генератора при больших его токах почти не падает. Благодаря этому внешняя характеристика тягового генератора приобретает вид, близкий к гиперболе, с ограничением максимального напряжения (см. рис. 140).

На тепловозах ТЭЗ применен также возбудитель с расщепленными полюсами. Только у него сердечники главных полюсов расщеплены не по их длине, а по ширине вдоль оси якоря. Возбудитель имеет шесть главных полюсов (рис. 159), два из которых насыщенные и четыре ненасыщенные. Насыщенные полюсы имеют магнитные мостики, т. е. уменьшение поперечного сечения сердечника полюса. Благодаря этому при увеличении тока возбуждения наступает магнитное насыщение, и далее магнитный поток полюсов почти не растет. На верхнем и нижнем насыщенных полюсах расположены параллельная и дифференциальная обмотки. Их магнитодвижущие силы направлены встречно.

Основное возбуждение ненасыщенных полюсов создается независимой обмоткой, которая питается током от вспомогательного генератора. Ненасыщенные полюсы снабжены также токовой обмоткой, включенной последовательно с якорем возбудителя.

Эта обмотка действует согласованно с независимой и препятствует размагничивающему действию реакции якоря. Действительно, с увеличением тока якоря повышается размагничивающее действие реакции якоря, однако благодаря последовательному включению одновременно возрастает ток и в последовательной обмотке, которая усиливает подмагничивание возбудителя. В результате реакция якоря не вызывает существенных искажений характеристик возбудителя.

При малых токах генератора направление магнитного потока насыщенных полюсов определяется потоком параллельной обмотки: полярность полюсов возбудителя будет при этом такой же, как у обычного генератора постоянного тока (после северного полюса С идет южный полюс Ю, далее снова северный и т. д.). Возбудитель работает как шестиполюсный генератор.

При увеличении тока тягового генератора магнитный поток, создаваемый дифференциальной обмоткой, возрастает и размагничивает насыщенные полюсы возбудителя. При большом токе в дифференциальной обмотке полярность насыщенных полюсов меняется, и возбудитель работает как двухполюсный генератор.

Один полюс находится выше горизонтальной плоскости, проведенной через вал возбудителя, другой — ниже этой плоскости. Шесть полюсов возбудителя образуются как бы расщеплением этих двух физических полюсов плоскостями, проходящими по радиусам якоря. Поэтому его называют возбудителем с радиально (или поперечно) расщепленными полюсами.

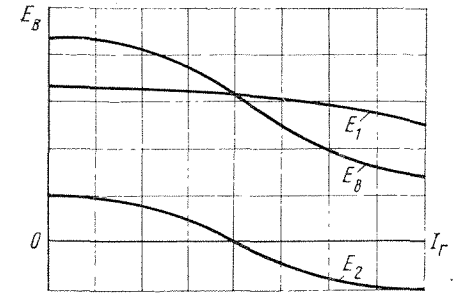


Рис. 158. Зависимость э. д. с. возбудителя от силы тока тягового генератора

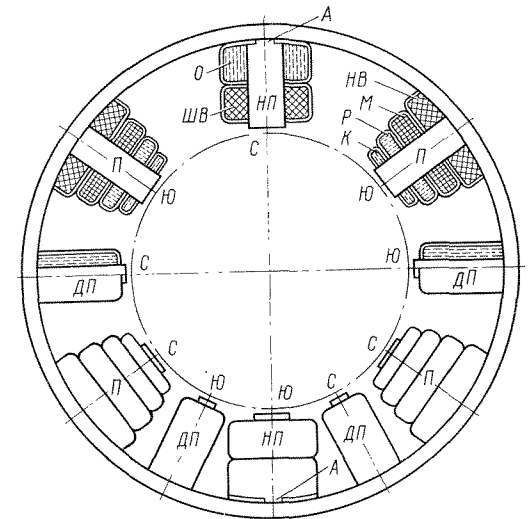


Рис. 159. Размещение обмоток на полюсах возбудителя тепловоза ТЭЗ:

А — магнитный мостик; НП — главные насыщенные полюсы; П — главные ненасыщенные полюсы; ДП — добавочные полюсы; ШВ — параллельная обмотка; О — дифференциальная обмотка; М — ограничительная обмотка; Р — регулировочная обмотка; К — последовательная обмотка

Изменение магнитного потока двух полюсов в результате размагничивания их дифференциальной обмоткой приводит к тому, что характеристика возбудителя тепловоза ТЭЗ получается примерно такой же, как и у возбудителя с продольно расщепленными полюсами (см. рис. 158).

У возбудителя тепловоза ТЭЗ имеется и ряд других особенностей по сравнению с возбудителями тепловозов ТЭ1, ТЭ2, ТЭМ1 и ТЭМ2.

В процессе работы тягового генератора обмотка возбуждения нагревается, поэтому ее сопротивление возрастает, и при том же напряжении возбудителя ток возбуждения генератора уменьшается и, следовательно, снижает его мощность. Дизель разгружается. При холодных обмотках возбуждения, наоборот, мощность генератора будет слишком велика, она вызовет перегрузку двигателя внутреннего сгорания. Кроме того, при включении вентилятора холодильника, компрессора или других вспомогательных нагрузок дизель также будет перегружаться.

Для более полного использования мощности дизеля, а также предупреждения его перегрузки при указанных изменениях режима работы силовой установки на тепловозе ТЭЗ применен узел дополнительного автоматического регулирования мощности (АРМ). Одним из основных его элементов является регулировочная обмотка возбудителя, расположенная на ненасыщенных полюсах (см. рис. 159). Эта обмотка с помощью автоматического устройства увеличивает возбуждение возбудителя, если мощность дизель-генераторной установки

уменьшилась меньше заданной, и снижает его при чрезмерном повышении мощности.

Для улучшения пусковых характеристик тепловоза ТЭЗ применен узел автоматического регулирования пускового тока АРТ. Одним из основных элементов этого узла является ограничительная обмотка возбудителя. Катушки ограничительной обмотки установлены на ненасыщенных полюсах возбудителя (см. рис. 159). Ее магнитный поток направлен навстречу магнитным потокам остальных обмоток этих полюсов. В случае прохождения тока по ограничительной обмотке происходит размагничивание возбудителя.

При наибольшем токе генератора (на который настроен узел) по обмотке ограничения проходит ток, создаваемый ею магнитный поток уменьшает суммарный магнитный поток возбудителя. По мере увеличения скорости движения посредством специального автоматического устройства ток в ограничительной обмотке уменьшается, напряжение возбудителя, а следовательно, и генератора возрастает в такой степени, что ток в силовой цепи почти не изменяется. Разгон поезда происходит при заданной величине тока генератора (участок ГВ внешней характеристики генератора на рис. 140), обеспечивающей максимальную силу тяги локомотива по сцеплению.

В таком режиме разгона мощность дизель-генератора непрерывно возрастает вплоть до номинальной. Дальнейшее увеличение скорости движения поезда будет происходить уже при постоянной мощности и сопро-

вождаться снижением тока тягового генератора с одновременным повышением его напряжения по гиперболической зависимости (участок ВВ характеристики генератора).

Узел автоматического регулирования пускового тока одновременно защищает тяговый генератор и тяговые электродвигатели от перегрузки, так как ограничивает ток в силовой цепи.

Устройства, регулирующие ток в обмотках возбуждения возбудителя, рассмотрены ниже.

В аппаратных системах регулирования мощности тягового генератора роль возбудителя упрощается. Тепловозы 2ТЭ10Л оборудуются возбудителем, представляющим собой обычный генератор постоянного тока. По конструкции он близок к вспомогательному генератору тепловоза. На главных полюсах возбудителя расположены основная независимая обмотка и размагничивающая обмотка для коррекции характеристик возбудителя.

Вспомогательный генератор тепловозов предназначен для питания током обмоток независимого возбуждения возбудителя и тахогенераторов, цепей управления и освещения, вспомогательных электрических двигателей и заряда аккумуляторной батареи. Он представляет собой генератор обычно со смешанным возбуждением. Напряжение вспомогательного генератора поддерживается постоянным с помощью регулятора напряжения, который описан в гл. 15. Возбудитель и вспомогательный генератор часто объединяют в один агрегат с общим валом якорей, получивший поэтому название двухмашинного агрегата.

ДВУХМАШИННЫЙ АГРЕГАТ

Станины возбудителя и вспомогательного генератора тепловоза ТЭЗ соединены болтами в один общий

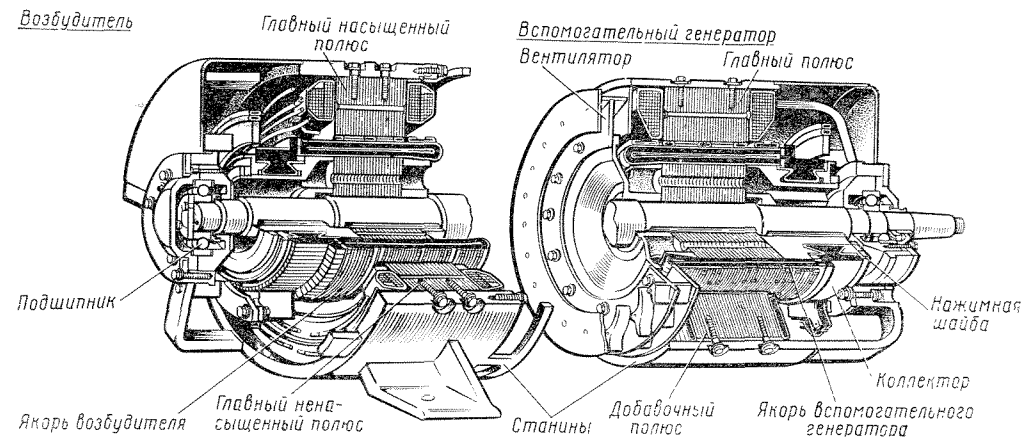


Рис. 160. Двухмашинный агрегат тепловоза ТЭЗ

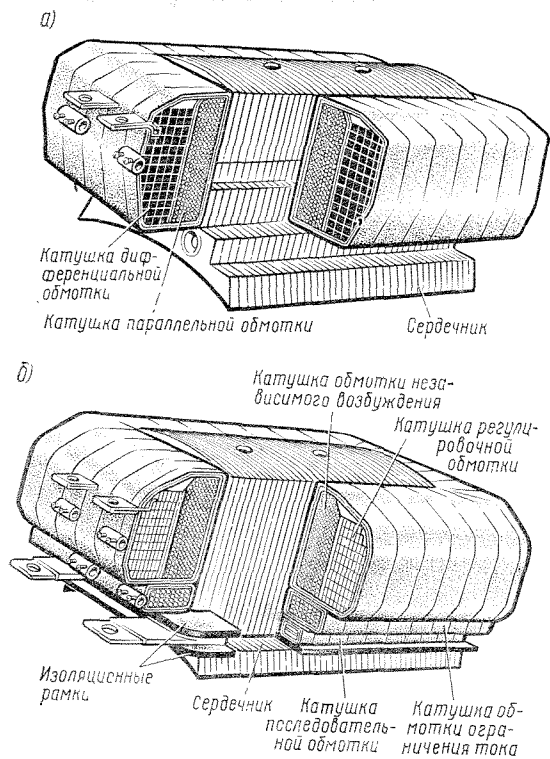


Рис. 161. Главные полюсы двухмашинного агрегата (возбудителя) тепловоза ТЭЗ:
а — насыщенный; б — ненасыщенный

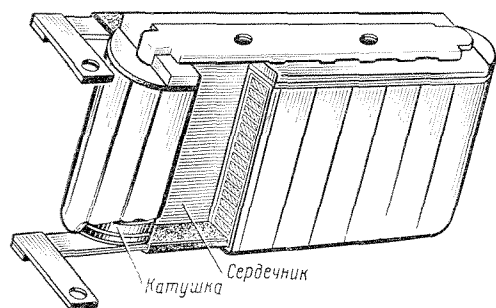


Рис. 162. Добавочный полюс возбудителя и вспомогательного генератора

корпус (рис. 160). К корпусу, имеющему цилиндрическую форму, приварены четыре опорные лапы. Вал якорей двухмашинного агрегата опирается на два шариковых подшипника. Внутренние кольца подшипников напрессованы на вал, а наружные закреплены в корпусе агрегата.

Вентилятор, установленный в средней части двухмашинного агрегата, двойной, поэтому потоки воздуха, охлаждающего возбудитель и вспомогательный генератор, независимы. Охлаждающий воздух всасывается с двух сторон через окна в нижней части корпуса двухмашинного агрегата около подшипников, проходит через возбудитель и вспомогательный генератор, охлаждая их, и выбрасывается вентилятором через отверстия в середине станины.

Возбудитель имеет шесть главных радиально расщепленных полюсов и пять добавочных. На главных полюсах размещены шесть обмоток возбуждения: параллельная, дифференциальная, независимая, последовательная, регулировочная и ограничения тока (рис. 161). Их роль подробно была рассмотрена выше. Добавочные полюсы состоят из сердечника и одной обмотки (рис. 162). Полюсы болтами прикреплены к станине.

Сердечник якоря набран из листов электротехнической стали. Листы запрессованы на вал якоря до упора в заднюю шайбу якоря. С другой стороны листы удерживаются корпусом коллектора. В пазах сердечника уложена обмотка якоря.

Собранные коллекторные пластины устанавливаются на корпус коллектора и прочно удерживаются с по-

мощью нажимной шайбы. От корпуса и шайбы пластины коллектора тщательно изолируют миканитом. Нажимная шайба укреплена гайкой. Выводы якорной обмотки впаяны в пятачки коллекторных пластин.

Возбудитель имеет шесть щеткодержателей, которые крепятся на кольцо, изготовленном из изоляционного материала. В каждом щеткодержателе установлено по одной щетке (рис. 163).

Номинальная мощность возбудителя составляет 10 кВт, номинальное напряжение—107 В, максимальное — до 150 В.

Вспомогательный генератор имеет шесть главных и пять добавочных полюсов.

На главных полюсах расположены параллельная и последовательная обмотки возбуждения. Последовательная обмотка помогает поддерживать постоянным напряжение вспомогательного генератора, облегчая условия работы регулятора напряжения.

Устройство якоря, щеткодержателей вспомогательного генератора не имеет больших отличий от устройства тех же частей возбудителя. Мощность вспомогательного генератора равна 8 кВт, номинальное напряжение — 75 В.

Привод двухмашинного агрегата осуществлен от дизеля. Вращение от коленчатого вала передается дальше через вал якоря тягового генератора, промежуточный вал, передний редуктор и промежуточный вал непосредственно выступающему наружу концу вала якоря двухмашинного агрегата.

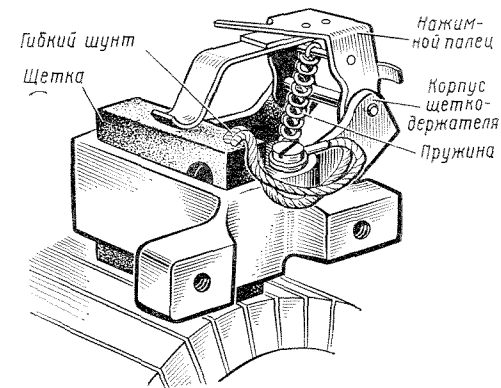


Рис. 163. Щеткодержатель двухмашинного агрегата

На тепловозах серии 2ТЭ10Л вспомогательный генератор и возбудитель также объединены в двухмашинный агрегат (рис. 164), по конструкции близкий к двухмашинному агрегату тепловоза ТЭЗ. Наиболее существенные отличия имеют главные полюсы возбудителей этих тепловозов. На главных полюсах возбудителя тепловоза 2ТЭ10Л расположено по две обмотки — независимого возбуждения и управления (размагничивающая). При работе тепловоза аппараты электрической схемы изменяют силу тока в независимой обмотке возбуждения таким образом, чтобы возбудитель обеспечивал постоянство мощности тягового генератора при заданной частоте вращения его якоря. Размагничивающая обмотка служит для коррекции характеристик возбудителя и получения малого напряжения генератора при трогании тепловоза.

Коллектор вспомогательного генератора имеет удлиненную втулку из изолирующего материала, на которой

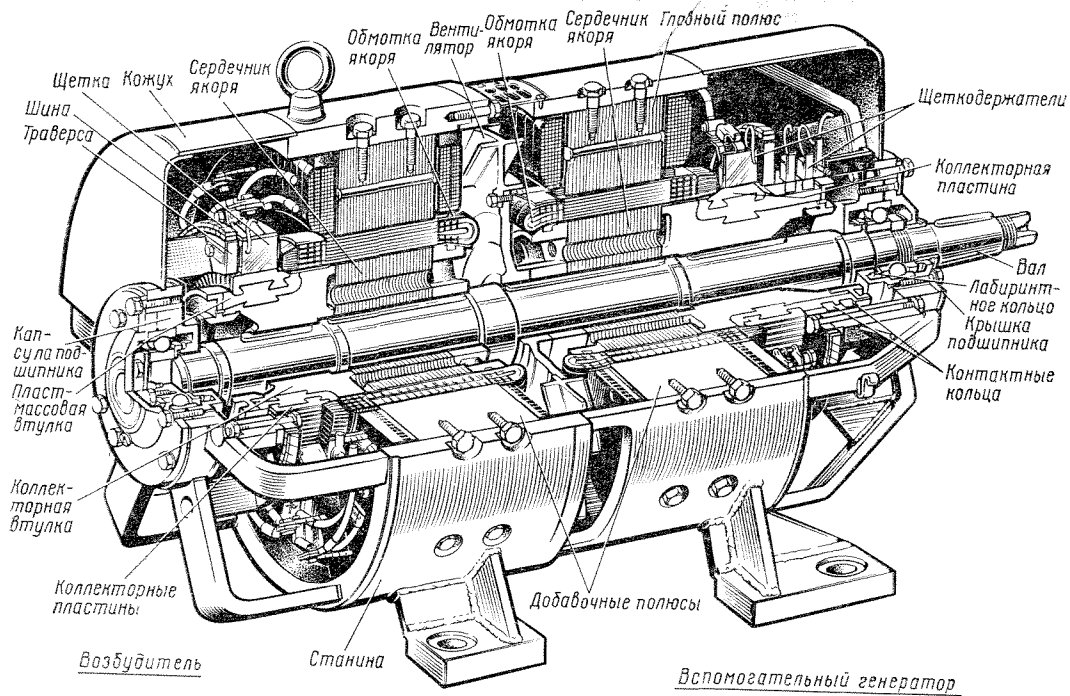


Рис. 164. Двухмашинный агрегат тепловоза 2ТЭ10Л

дополнительно укреплены два латунных контактных кольца. Каждое из колец соединяется с коллекторной пластиной, расположенной на расстоянии полюсного деления. Обмотка якоря вспомогательного генератора совместно с двумя кольцами образует генератор переменного тока. Поэтому вспомогательный генератор тепловоза 2ТЭ10Л, являясь электрической машиной постоянного тока, одновременно позволяет получить и переменный ток небольшой мощности.

Вспомогательный генератор и возбудитель тепловоза 2ТЭ10Л имеют по

шесть главных и по пять добавочных полюсов. Сердечники главных полюсов выполнены из листовой стали, сердечники добавочных полюсов — стальные литые. Главные полюсы вспомогательного генератора снабжены только параллельной обмоткой возбуждения. Якоря вспомогательного генератора и возбудителя имеют практически одинаковую конструкцию и собраны на общем валу. Их сердечники набраны из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. В пазах сердечников якорей каждой из двух электрических машин уложена

волновая обмотка. Коллекторы — обычного арочного типа, имеют по 130 пластин. Объединенный якорь вращается в двух шарикоподшипниках, установленных в капсулах, которые крепятся к станине двухмашинного агрегата. Для съема тока с коллекторов применено по шесть щеткодержателей в соответствии с числом главных полюсов. Щеткодержатели прикреплены к пластмассовой траверсе.

Номинальная мощность вспомогательного генератора тепловоза 2ТЭ10Л составляет 12 кВт, возбудителя — 20,6 кВт, наибольшая частота вращения якоря — 1800 об/мин. Привод двухмашинного агрегата осуществлен от вала якоря тягового генератора через промежуточный распределительный редуктор и систему карданных валов тепловоза.

ТАХОГЕНЕРАТОРЫ ТЕПЛОВОЗА ТЭЗ

Для управления силой тока в обмотках возбуждения возбудителя и, следовательно, дополнительного регулирования мощности тягового генератора и ограничения пускового тока на тепловозах ТЭЗ применены тахогенераторы. Такую схему регулирования мощности называют *тахометрической*.

Тахогенераторами являются генераторы, по напряжению которых можно судить о частоте вращения их якоря, т. е. такие электрические машины, у которых напряжение на выводах прямо пропорционально частоте вращения вала. Тахогенератор, предназначенный для обеспечения более полного использования мощности дизеля тепловоза, имеет условное обозначение Т1 и представляет собой ге-

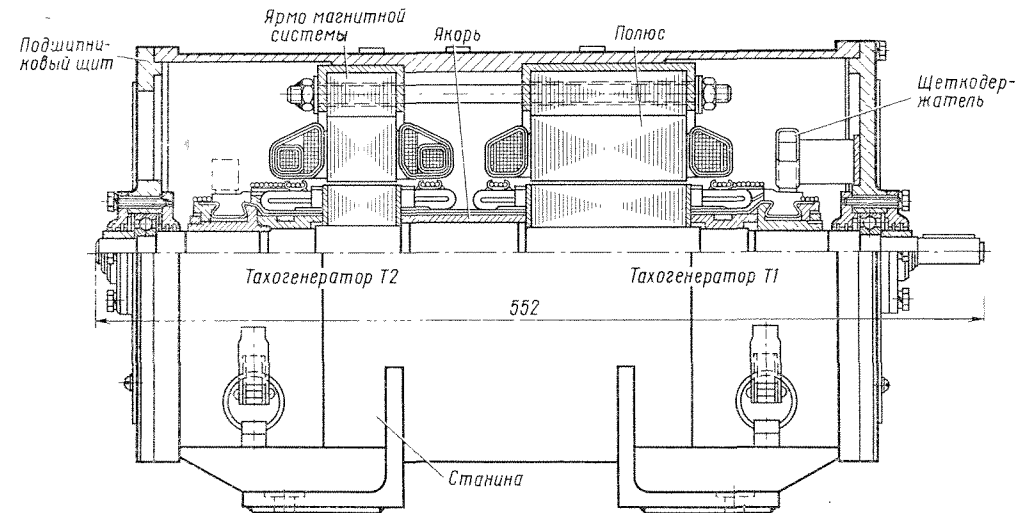


Рис. 165. Тахометрический агрегат тепловоза ТЭЗ

нератор постоянного тока мощностью 0,624 кВт.

Якорь тахогенератора приводится во вращение от коленчатого вала дизеля. Обмотка возбуждения тахогенератора питается током от вспомогательного генератора, следовательно, возбуждение всегда остается постоянным. Поэтому напряжение тахогенератора зависит только от частоты вращения вала дизеля.

Второй тахогенератор Т2 мощностью 0,12 кВт является составной частью узла автоматического регулирования пускового тока (АРТ). Привод этого тахогенератора также осуществляется от коленчатого вала дизеля.

Тахогенераторы Т1 и Т2 на тепловозах ТЭЗ более позднего выпуска объединены в тахометрический агрегат, показанный на рис. 165. Якоря тахогенераторов имеют общий вал, установленный на двух шариковых подшипниках. Магнитные системы тахогенераторов — отдельные. Каждая система состоит из ярма, сердечников, полюсов и обмоток. Корпус тахоагрегата отделен от магнитных систем слоем алюминиевого сплава и является экраном, который предупреждает проникновение магнитных потоков, создаваемых другими электрическими машинами и проводами при прохождении по ним тока, внутрь тахометрического агрегата. Поэтому внешние магнитные поля не влияют на характеристики тахогенераторов.

Электрические схемы, в которые включены тахогенераторы Т1 и Т2, а также их действие рассмотрены в гл. 20.

Тахометрическая схема автоматического регулирования мощности ди-

зель-генератора и пускового тока, примененная на тепловозах ТЭЗ, в эксплуатации работает недостаточно устойчиво. В связи с этим для мощных тепловозов ТЭ10, 2ТЭ10Л, ТЭП60 были разработаны более совершенные аппаратные схемы автоматического регулирования с применением объединенных регуляторов частоты вращения и мощности дизелей, а также магнитных усилителей.

СИНХРОННЫЙ ПОДВОЗБУДИТЕЛЬ ТЕПЛОВОЗА 2ТЭ10Л

Подвозбудитель вырабатывает электрический ток для питания обмотки возбуждения возбудителя тепловоза. Одновременно подвозбудитель является датчиком частоты вращения коленчатого вала дизеля, т. е. тахогенератором. По мере увеличения частоты вращения вала по позициям контроллера машиниста повышается частота тока подвозбудителя, обеспечивающая рост уровня мощности тягового генератора (воздействием на систему регулирования мощности). Подвозбудитель (рис. 166) является однофазным синхронным генератором обращенного типа — индуктор машины остается неподвижным, вращается якорь вместе с обмоткой, от которой питается электрическим током внешняя цепь подвозбудителя. Система возбуждения возбудителя состоит из четырех полюсов. Сердечники полюсов — сплошные. Катушки полюсов выполнены с многослойной обмоткой из изолированного провода диаметром 1,35 мм. Полюсы установлены в магнитопровод из электротехнической

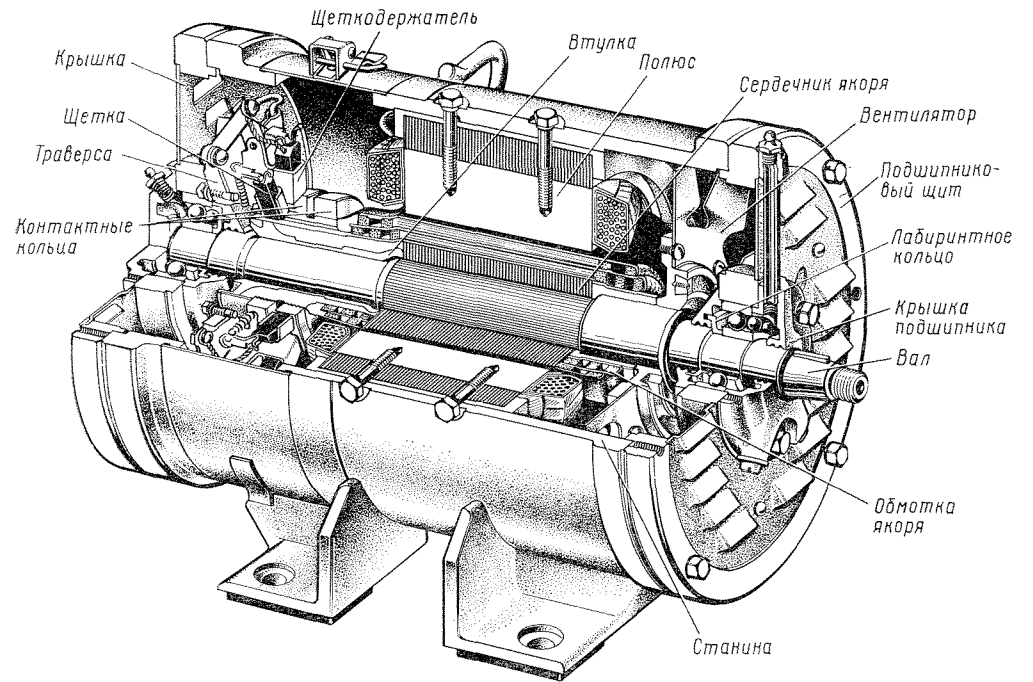


Рис. 166. Синхронный подвозбудитель тепловоза 2ТЭ10Л

стали, который в свою очередь запрессован в цилиндрическую станину подвозбудителя. Обмотка независимо возбуждения подвозбудителя получает питание постоянным током от вспомогательного генератора тепловоза.

Обмотка якоря подвозбудителя — многовитковая, выполнена из изолированного провода диаметром 2,08 мм, намотанного на сердечник якоря. На валу якоря с помощью пластмассового изолятора укреплены контактные кольца, к которым присоединены выводы обмотки якоря. Щетки установлены в щеткодержателях, крепящихся

к изолирующей пластмассовой траверсе. Подвозбудитель имеет самовентиляцию — охлаждающий воздух подается вентилятором, установленным на валу якоря. Привод подвозбудителя осуществлен с помощью редуктора от валопровода, передающего вращение от коленчатого вала дизеля к вентилятору холодильника.

Для возбуждения возбудителя требуется незначительная мощность, поэтому номинальная мощность подвозбудителя составляет всего 1,1 кВт при напряжении 110 В. Максимальная частота вращения якоря равна 4000 об/мин.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ
ПОСТОЯННОГО ТОКА

Электрические машины, преобразующие электрическую энергию в механическую, называются *электродвигателями*.

Подведем к рассмотренному ранее простейшему генератору (см. гл. 12) питание от постороннего источника электрической энергии (рис. 167). При положении рамки, показанном на этом рисунке, ток проходит по стороне *A* и по стороне *B*. Известно, что на проводник с током, помещенный в магнитное поле, действует сила, направление которой определяется по правилу левой руки: *если держать ладонь левой руки так, чтобы в нее входили магнитные силовые линии поля, а вытянутые четыре пальца были обращены по направлению тока в проводнике, то отогнутый большой палец укажет направление действия этой силы*. Применяя правило левой руки для рассматриваемого случая, определим, что на сторону рамки *A* действует сила F_1 , направленная вверх, а на сторону рамки *B* — сила F_2 , направленная вниз. Силы F_1 и F_2 , действующие на рамку, называются *парой сил*. Под действи-

ем вращающего момента, создаваемого этой парой сил, рамка поворачивается против часовой стрелки.

Дойдя до вертикального положения, рамка по инерции повернется дальше. Теперь щетка Щ_1 касается уже коллекторной пластины K_2 , а щетка Щ_2 — коллекторной пластины K_1 . Благодаря этому направление тока в рамке изменяется и образуется пара сил, под действием которой рамка продолжает поворачиваться против часовой стрелки. Таким образом, рамка, получая электрическую энергию, будет непрерывно вращаться. Рамка может приводить в движение любой механизм, т. е. в данном случае работает в качестве электродвигателя.

Следовательно, машина постоянного тока обладает свойством обратимости и может работать как в качестве генератора, так и в качестве электродвигателя. Поэтому генераторы и электродвигатели имеют в принципе одинаковую конструкцию. Основными частями электрического двигателя постоянного тока являются якорь с обмоткой и коллектором и магнитная система, состоящая из остова двигателя и полюсов с катушками обмоток возбуждения. Подвод электрического тока к коллектору

двигателя осуществляется электрографитными щетками, установленными в щеткодержателях. Если требуется изменить направление вращения якоря, то необходимо пересоединить обмотки электродвигателя так, чтобы ток изменил свое направление в обмотке якоря или в обмотке возбуждения. При одновременном изменении направления тока в обмотках якоря и возбуждения направление вращения не изменится. В этом легко убедиться, используя правило левой руки.

В электродвигателе при его работе возникает ряд явлений, подобных процессам, происходящим в генераторе. Ведь витки обмотки якоря пересекают магнитный поток полюсов электродвигателя, и в соответствии с законом электромагнитной индукции в них возникает электродвижущая сила.

Индуктируемую в якоре двигателя э. д. с. иногда называют *противоэлектродвижущей силой* потому, что она направлена навстречу подводимому к двигателю напряжению.

Величина э. д. с. E двигателя прямо пропорциональна магнитному потоку Φ , частоте вращения якоря n и определяется по такой же формуле, что и величина э. д. с. генератора (см. п. 2 гл. 12): $E = C\Phi n$, где C — постоянный коэффициент, который учитывает число пар полюсов, число витков якоря и другие постоянные для данного электродвигателя величины.

Подводимое к электродвигателю напряжение стремится создать ток в обмотке якоря. Индуктируемая э. д. с. препятствует этому. Ток в обмотке якоря работающего электро-

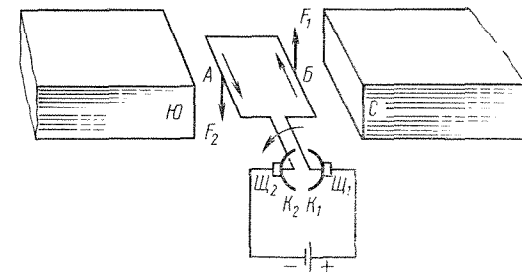


Рис. 167. Схема простейшего электрического двигателя

двигателя будет определяться не подводимым напряжением, а разностью между напряжением и наведенной в обмотке якоря э. д. с.

Разделив эту разность на сопротивление цепи якоря $R_{я}$, мы получим ток $I_{я}$, проходящий по обмотке якоря:

$$I_{я} = \frac{U - E}{R_{я}}$$

При увеличении механической нагрузки на валу электродвигателя частота вращения его якоря замедляется, индуктируемая э. д. с. уменьшается, увеличивается разность между подводимым напряжением и э. д. с. и, следовательно, ток якоря возрастает.

При уменьшении механической нагрузки картина будет обратной. Таким образом, ток якоря зависит как от подводимого напряжения, так и от механической нагрузки электродвигателя. Вот почему, например, при движении тепловоза на подъеме, когда уменьшаются скорость движения и частота вращения якорей тяговых электродвигателей, ток в двигателях увеличивается, а при увеличении скорости движения — уменьшается.

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ И СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Механическая работа электродвигателей характеризуется вращающим моментом и частотой вращения его якоря.

Силы, создающие вращающий момент электродвигателя, возникают в результате взаимодействия тока якоря и магнитного потока полюсов. Поэтому вращающий момент электродвигателя будет пропорционален величинам тока $I_{я}$ якоря и магнитного потока Φ :

$$M = KI_{я} \Phi,$$

где K — постоянный для данного электродвигателя коэффициент, зависящий от диаметра якоря, числа проводников обмотки и других конструктивных особенностей двигателя.

Вращающий момент электродвигателя не есть величина заданная, постоянная, а зависит от механической нагрузки, или, как говорят, момента сопротивления, который преодолевает вал электродвигателя при вращении. Чем больше момент сопротивления, тем больше вращающий момент электродвигателя, так как только в этом случае электродвигатель сможет работать, преодолевая сопротивление.

Из формулы для определения э.д.с. двигателя можно получить зависимость для вычисления частоты вращения якоря, подставив в нее значение э. д. с. $E = U - I_{я}R_{я}$:

$$n = \frac{E}{C\Phi} = \frac{U - I_{я}R_{я}}{C\Phi}.$$

Следовательно, частота вращения якоря электродвигателя пропорциональна подводимому напряжению и обратно пропорциональна магнитному потоку, а также уменьшается с увеличением внутренних потерь напряжения $I_{я}R_{я}$ в цепи якоря.

Почему так происходит? Чем больше напряжение, подводимое к двигателю, тем больше ток в обмотке якоря и вращающий момент. Якорь, преодолевая момент сопротивления внешней нагрузки, начинает вращаться быстрее. С увеличением же магнитного потока при прочих равных условиях увеличивается э. д. с., индуктируемая в обмотке якоря. При этом уменьшается ток в якоре, а значит, снижается вращающий момент и частота его вращения.

Электрическая мощность, подводимая к электродвигателю, всегда больше той механической мощности, которую он отдает. Происходит это потому, что часть мощности, подводимой к двигателю, расходуется на механические, электрические и магнитные потери в самом двигателе. К числу механических потерь относятся потери на трение якоря в подшипниках, трение якоря о воздух и, наконец, трение щеток о коллектор. Электрические и магнитные потери в стали и меди вызываются нагревом обмотки от прохождения тока, нагревом сердечника якоря от вихревых токов и перемагничивания.

Отношение полезной мощности к подводимой называется *коэффициентом полезного действия двигателя*. Коэффициент полезного действия тяговых электрических двигателей тепловозов достигает 90% и выше.

В технике нашли применение электрические двигатели постоянного тока с последовательным возбуждением, с параллельным возбуждением, со смешанным возбуждением, а также с независимым возбуждением от постороннего источника электрического тока (рис. 168).

Обмотка возбуждения электродвигателя с последовательным возбуждением включается в цепь последовательно с якорем. Весь ток, потребляемый электродвигателем, проходит через якорь и обмотку возбуждения. Магнитный поток этого электродвигателя изменяется с изменением тока якоря и, следовательно, зависит от нагрузки. Ток возбуждения электродвигателей с параллельным возбуждением пропорционален напряжению, подводимому к двигателю. Электродвигатель со смешанным возбуждением одновременно имеет обмотки параллельного и последовательного возбуждения.

Чтобы решить вопрос, какой же тип электрического двигателя наиболее целесообразен для тепловозов, нужно рассмотреть свойства этих двигателей с точки зрения требований, предъявляемых к тяговым электродвигателям тепловозов.

При трогании с места или движении поезда на подъеме, когда скорость мала, тепловоз создает максимальную силу тяги, вплоть до ограничения по сцеплению колес с рельсами.

Непосредственно силу тяги тепловоза с электрической передачей создают тяговые электродвигатели, и она прямо пропорциональна их вращающему моменту. В указанных ус-

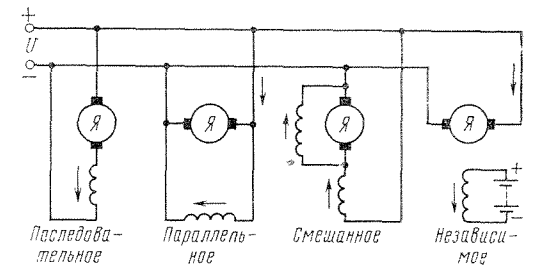


Рис. 168. Схемы возбуждения электродвигателей

ловиях тяговые электродвигатели должны обеспечить реализацию наибольшего вращающего момента. Как же этому основному требованию удовлетворяют электродвигатели различных типов?

Прежде всего, выясним режим работы тяговых электродвигателей по силе тока в обмотках якоря и возбуждения, когда тепловоз при небольшой скорости движения развивает максимальную силу тяги. Вследствие низкой частоты вращения якорей тяговых двигателей их электродвижущие силы будут также понижены. Поэтому сила тока в обмотках якорей тяговых двигателей окажется близкой к предельному значению. Итак, наибольшей силе тяги соответствует максимальный ток тяговых двигателей. В электродвигателях с последовательным возбуждением ток возбуждения прямо пропорционален току якоря и магнитный поток главных полюсов достигнет также наибольшего значения. При максимальных значениях тока якоря и магнитного потока полюсов электродвигатели реализуют наибольший вращающий момент.

В тяговом электродвигателе с параллельным возбуждением при наибольшем токе магнитный поток будет далек от наивысшего значения. Действительно, с увеличением тока напряжение тягового генератора тепловоза, питающего ток электродвигатели, уменьшается обратно пропорционально току. При больших токах напряжение генератора будет пониженным. Следовательно, ток возбуждения тяговых двигателей с параллельным возбуждением, зависящий от напряжения генератора, также будет небольшим. Поэтому окажется пониженным и магнитный поток полюсов, а значит, и вращающий момент электродвигателя.

Следовательно, первому требованию удовлетворяет электродвигатель с последовательным возбуждением.

При увеличении скорости движения тепловоза с поездом возрастает частота вращения якорей тяговых электродвигателей и их э. д. с., уменьшается ток в силовой цепи, повышается напряжение тягового генератора. Для сокращения размеров и массы генератора нужно, чтобы его напряжение и ток изменялись при работе на номинальной мощности в наименьших пределах. Поэтому свойства тягового электродвигателя должны обеспечивать возможно меньшее изменение напряжения генератора при сохранении его мощности, когда скорость движения тепловоза изменяется в заданном диапазоне. В этом состоит второе основное требование к тяговым электродвигателям.

Как было показано выше, э. д. с. тяговых двигателей прямо пропорциональна частоте вращения якоря и

магнитному потоку главных полюсов двигателя. С увеличением скорости движения тепловоза уменьшается ток в силовой цепи и ослабляется возбуждение тяговых электродвигателей последовательного возбуждения, так как через обмотки их полюсов проходит весь ток силовой цепи. При тех же условиях возбуждение тяговых двигателей параллельного возбуждения увеличивается, потому что возрастает напряжение тягового генератора. Поэтому в случае одинакового увеличения скорости движения и частоты вращения якорей тяговых двигателей тепловоза э. д. с. двигателей с последовательным возбуждением, а следовательно, и напряжение генератора возрастают меньше, чем при применении двигателей с параллельным возбуждением.

Таким образом, и второму требованию лучше удовлетворяют тяговые электродвигатели с последовательным возбуждением. Поэтому они нашли самое широкое применение на тепловозах. Такие тяговые электродвигатели обладают, кроме указанных, и другими ценными качествами. Например, они обеспечивают более равномерное распределение нагрузок на каждый двигатель в случаях некоторой разницы в диаметрах бандажей отдельных колесных пар или различий в индивидуальных характеристиках двигателей, установленных на одном тепловозе.

Поскольку электродвигатели со смешанным возбуждением по своим качествам приближаются к двигателям с параллельным возбуждением, то они также не применяются на тепловозах.

При независимом возбуждении магнитный поток можно изменять наиболее удобным образом для получения оптимальных характеристик тягового электродвигателя. Поэтому применение тяговых двигателей независимого возбуждения служит одним из путей дальнейшего улучшения тяговых характеристик тепловоза и технико-экономических показателей электропередачи. Однако в этом случае тепловоз необходимо оборудовать более сложной системой регулирования тока возбуждения тяговых электродвигателей. Поэтому тяговые двигатели независимого возбуждения еще не нашли применения на тепловозах.

УСТРОЙСТВО ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗОВ

Тяговые электродвигатели предназначены для приведения тепловоза в движение и устанавливаются непосредственно на тележках около колесных пар. Работают тяговые электродвигатели в очень неблагоприятных условиях. При движении локомотива на них попадает вода, снег, пыль и т. п. Место для установки тяговых двигателей крайне ограничено, их приходится выполнять весьма компактными. Мощность же, необходимая для движения поезда, вращающий момент, нужный для трогания с места и следования на подъемах, весьма велики. Кроме того, электродвигатель при работе нельзя осмотреть. Для проверки состояния тяговых электродвигателей тепловоз должен заходить на смотровые канавы. Поэтому тяговые электродвигатели

имеют значительные конструктивные отличия от общепромышленных электродвигателей. Их особенностями являются: высокая удельная мощность (на единицу массы), прочность и надежность, интенсивное воздушное охлаждение, способность к большим перегрузкам.

Рассмотрим конструкцию тягового электродвигателя тепловоза 2ТЭ10Л (рис. 169). Его номинальная мощность равна 305 кВт. На тележках каждой секции тепловоза по числу колесных пар установлено шесть тяговых электродвигателей (см. рис. 128).

Магнитная система двигателя состоит из станины (остова), четырех главных полюсов и четырех добавочных. В остове двигателя монтируются все остальные его части. Сердечники главных полюсов набраны из стальных листов толщиной 2 мм и стянуты между полюсными щечками с помощью заклепок (рис. 170, а). В отверстия листов запрессован стальной стержень, в который ввертывают болты, крепящие полюсы к остову. Такая конструкция обеспечивает большую прочность крепления. На главных полюсах расположены катушки обмотки последовательного возбуждения. Обмотка рассчитана на прохождение всего тока тягового электродвигателя и поэтому выполнена из шинной меди сечением 8×25 мм. Сердечники добавочных полюсов (рис. 170, б) отлиты из стали. Катушки этих полюсов изготовлены также из шинной меди сечением 6,5×28 мм. Главные и добавочные полюсы снабжены пружинными рамками для предупреждения перемещений катушек на сердечниках, приводящих к перетиранью изоляции.

На тепловозе 2ТЭ10Л, как и на других грузовых тепловозах, применена опорно-осевая подвеска тяговых электродвигателей. При таком типе подвешивания тяговый электродвигатель одной стороной опирается с помощью моторно-осевых подшипников непосредственно на ось колесной пары. Подшипники бронзовые разъемные, состоят из двух половинок-вкладышей. Вкладыши установлены в расточках приливов остова электродвигателя и крышек моторно-осевых подшипников (см. рис. 169). Крышки крепят к остову болтами. Масло для подшипников заливается в полости

крышек и подается к шейкам оси с помощью фитилей. Пружинный механизм пальстеров надежно прижимает верхние концы фитилей через окна во вкладышах подшипников к шейкам оси.

Со стороны, противоположной моторно-осевым подшипникам, остов двигателя имеет приливы, с помощью которых опирается на пружинный аппарат рамы тележки. Для осмотра внутренних деталей двигателя в его остове сделаны люки, закрываемые крышками. С торцов к остову болтами прикреплены подшипниковые щиты. Якорь тягового электродвигателя

имеет вал из высококачественной стали, которым он опирается на два роликовых подшипника, запрессованных в ступицы подшипниковых щитов. Подшипники закрыты крышками. В полости подшипников по трубкам запрессовывается смазка. Сердечник якоря набран из тонких (толщиной 0,5 мм) покрытых лаком листов электротехнической стали и зажат между нажимными шайбами. Шайбы установлены на валу с большим натягом. На вал двигателя напрессовывается уже собранный коллектор, состоящий из 216 медных пластин (см. рис. 169 и 171). В пазы сердечника якоря уложена обмотка. Обмотка — петлевая состоит из изолированных витков медного провода прямоугольного сечения $1,68 \times 6,4$ мм. Уравнительные соединения выполнены из медного провода сечением $1,68 \times 5,1$ мм. Выводы обмотки впаяны в петушки коллектора. В пазах обмотки удерживается текстолитовыми клиньями, а лобовые части укреплены бандажами из стальной проволоки или стеклоленты.

Тяговый электродвигатель оборудован четырьмя щеткодержателями. Для крепления к кронштейну остова двигателя с помощью нажимной планки и болта щеткодержатель снабжен пальцами с изоляторами (рис. 172). В каждом щеткодержателе размещены три разрезных щетки. Разрезная щетка состоит из двух отдельных щеток, объединенных резиновым амортизатором, который смягчает толчки, воспринимаемые щеткой при работе двигателя. Такие щетки надежны в эксплуатации, обеспечивают хороший постоянный контакт с рабочей поверхностью коллектора. Щетки свободно вхо-

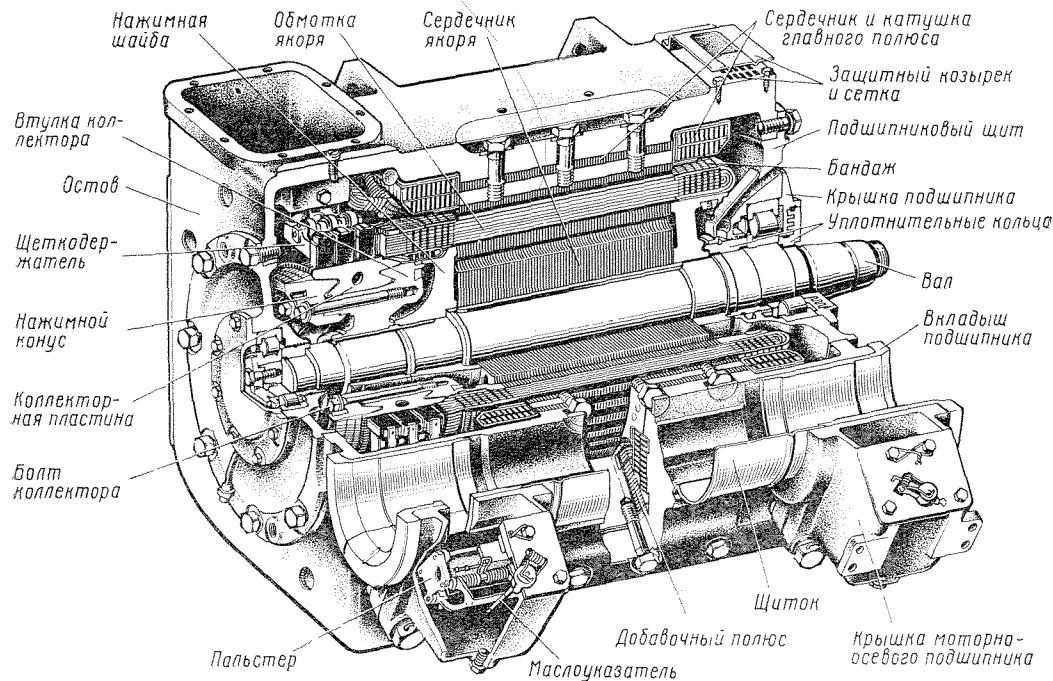


Рис. 169. Тяговый электродвигатель тепловоза 2ТЭ10Л

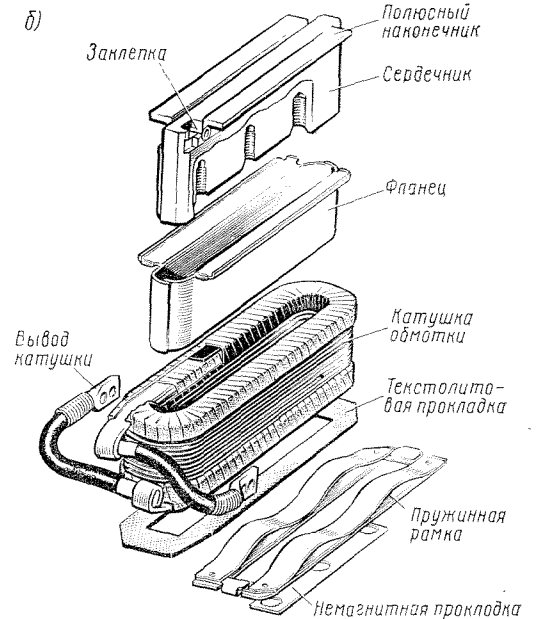
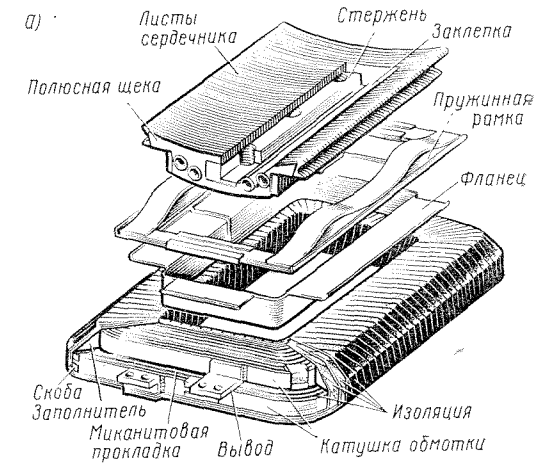


Рис. 170. Полюсы тягового электродвигателя: а — главный; б — добавочный



Рис. 171. Детали коллектора тягового электродвигателя

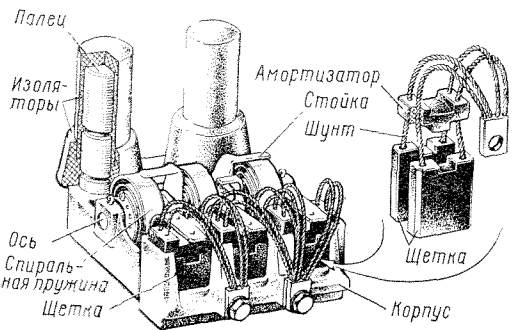


Рис. 172. Щеткодержатель тягового электродвигателя

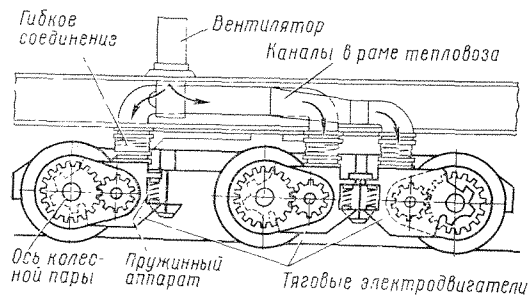


Рис. 173. Схема установки и охлаждения тяговых электродвигателей

дят в обоймы корпуса щеткодержателя и прижимаются к коллектору двигателя спиральными пружинами через амортизаторы. Для обеспечения хорошего контакта щетки тщательно притирают к коллектору, а подвод тока к ним производится по гибким медным тросикам-шунтам.

Включение тягового электродвигателя в электрическую цепь генератора тепловоза осуществляется четырьмя гибкими проводами большого поперечного сечения. По первому проводу ток подводится к двум плюсовым щеткодержателям, контактирующие с ними коллекторные пластины, обмотку якоря на минусовые щеткодержатели. От этих щеткодержателей тот же ток пропускается последовательно через четыре катушки обмотки добавочных полюсов и по второму проводу возвращается во внешнюю цепь. С помощью второй пары проводов и внутренних перемычек ток проходит через соединенные последовательно катушки главных полюсов двигателя.

Такая схема соединения обмоток позволяет менять направление тока только в катушках главных полюсов для реверсирования тяговых электродвигателей и изменения направления движения тепловоза.

Тяговый электродвигатель непосредственно приводит во вращение колесную пару через зубчатую передачу. Для этого один конец вала якоря выведен из остова (см. рис. 169) и на него в горячем состоянии напрессована шестерня. После остывания она с большой силой охватывает вал и прочно удерживается на нем. От сползания шестерня предохраняется гайкой.

Эта шестерня находится в зацеплении с зубчатым колесом колесной пары, образуя тяговую передачу.

Тяговая передача надежно закрыта кожухом для того, чтобы в нее не попадали пыль, вода и посторонние предметы. Внутри кожуха заливают смазку для шестерен.

В процессе движения тепловоза колесная пара за счет гибкости рессорного подвешивания периодически перемещается относительно рамы тележки и тягового электродвигателя. Однако благодаря моторно-осевым подшипникам расстояние между центрами шестерни тягового двигателя и зубчатого колеса колесной пары сохраняется постоянным, и их зубья не выходят из зацепления. Таким образом, объединение колесной пары и тягового электродвигателя с помощью моторно-осевых подшипников создает условия для устойчивой работы тяговой зубчатой передачи.

На пассажирских скоростных тепловозах для снижения динамических нагрузок на путь применено моторно-рамное подвешивание тяговых электродвигателей. В этом случае двигатели устанавливаются на раме тележки и не увеличивают необрессоренных масс локомотива. Однако конструкция тяговой передачи от вала электродвигателя к колесной паре значительно усложняется. Подробнее привод колесных пар рассмотрен в гл. 21.

Для охлаждения тяговых электродвигателей к ним подается атмосферный воздух специальными вентиляторами. Вентиляторы установлены на раме тепловоза и засасывают воздух снаружи через фильтры. Этот воздух от вентиляторов по нагнетательным

каналам, а затем через широкие гибкие рукава, называемые гармошками, подводится к тяговому электродвигателям (рис. 173). Далее воздух проходит через специальное окно станины двигателя, охлаждает коллекторы, щеткодержатели, проходит через двигатель параллельно его валу, отводит тепло от якоря, полюсов и выбрасывается наружу через окна с противоположной от коллектора стороны. Внутри двигателя поддерживается небольшое избыточное давление воздуха, препятствующее попаданию пыли, влаги, снега.

Устройство центробежного вентилятора показано на рис. 174. Внутри улиткообразного корпуса на валу установлено вентиляторное колесо. При вращении лопатки вентиляторного колеса придают воздуху вращательное движение. За счет центробежных сил воздух выбрасывается внутрь корпуса вентилятора. Здесь создается избыточное давление воздуха, и он про-

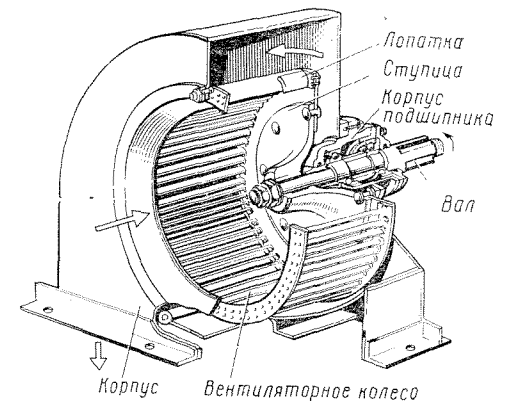


Рис. 174. Вентилятор охлаждения тяговых электродвигателей

ходит в магнетальные каналы, соединенные с корпусом вентилятора. Засасывается воздух с торца вентиляторного колеса. Путь воздуха на рис. 174 показан стрелками.

На новых отечественных тепловозах ТЭП70, ТЭП75, ТЭМ7 и 2ТЭ121 получила применение система централизованного воздухообеспечения. Воздух для охлаждения электрических машин и аппаратов подается одним мощным вентилятором после предварительной очистки. Такая система снабжения воздухом позволяет отказаться от многочисленных вентиляторов, создать мощную вентиляционную установку с высоким к. п. д., обеспечить достаточную степень очистки подаваемого воздуха.

КАК РАСШИРИТЬ ДИАПАЗОН СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОВОЗА?

Использование полной мощности тепловозных дизелей достигается регулированием напряжения тягового генератора при изменении тока, потребляемого тяговыми электродвигателями, в соответствии со скоростью движения (см. гл. 12). Тяговый генератор должен быть рассчитан прежде всего на максимальный ток силовой цепи. Но, кроме того, в целях реализации установленной мощности он должен обеспечить повышение напряжения при уменьшении тока. Для этого генератор снабжают более мощной системой возбуждения, увеличивают число проводников обмотки якоря, делают более прочной изоляцию, при этом его размеры и масса возрастают. Чем шире пределы, в которых изменя-

ются ток и напряжение генератора одной и той же мощности, тем больше его размеры. Поэтому при проектировании электрической передачи принимаются все меры, чтобы сократить диапазон их изменения, конечно, без ущерба для полного использования мощности дизеля тепловоза. Выше было сказано, что именно из этих соображений в качестве тяговых электродвигателей используют двигатели с последовательным возбуждением. Применяются и другие эффективные меры, к которым относятся перегруппировка тяговых электродвигателей и ослабление возбуждения электродвигателей.

Например, на тепловозе ТЭМ1 трогание поезда и разгон осуществляются при последовательном соединении всех тяговых электродвигателей 1—6. В этом случае, как показано на рис. 175, а, контактор К2 включен, а контакторы К1 и К3 выключены. В процессе увеличения скорости движения ток тяговых электродвигателей и, следовательно, напряжение генератора уменьшается, а напряжение увеличивается. При скорости около 11 км/ч и работе дизель-генератора на номинальном режиме напряжение генератора приближается к своей максимальной величине, составляющей примерно 850 В, и дальнейший рост его прекращается. При более высокой скорости движения мощность дизеля будет недоиспользоваться. Выход из положения нашли в переключении тяговых электродвигателей с последовательного соединения на последовательно-параллельное. Такого рода переключения тяговых электродвигателей называют перегруппировкой. Элек-

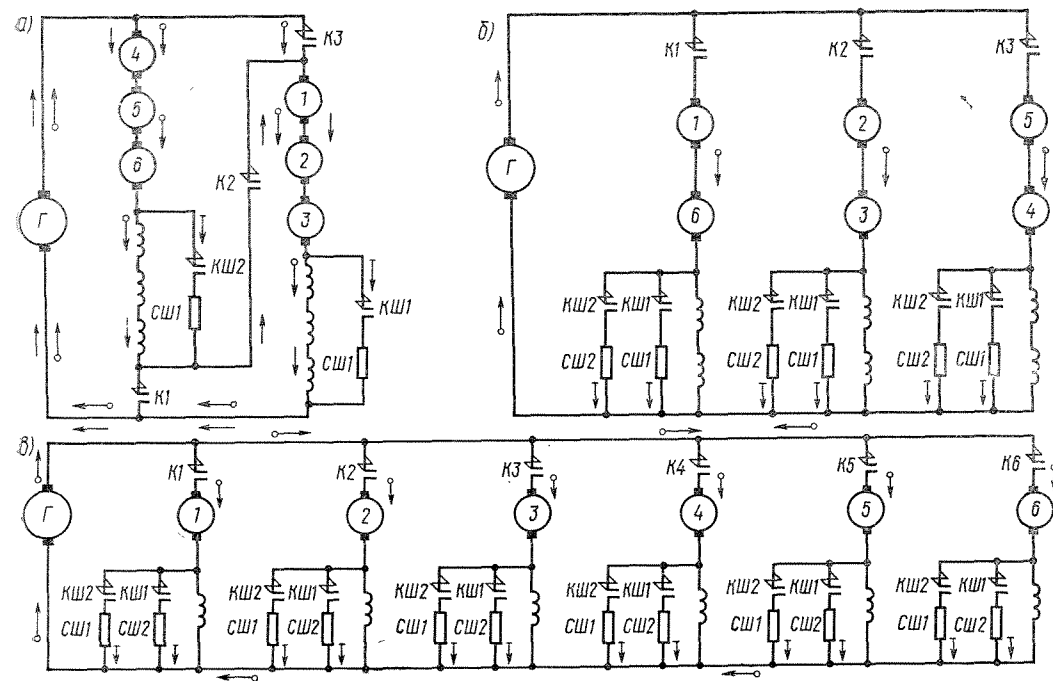


Рис. 175. Схемы соединения тяговых электродвигателей тепловозов: а — ТЭМ1 при последовательном и последовательно-параллельном соединении двигателей (см. стрелки); б — ТЭЗ; в — 2ТЭ10Д, 2ТЭ10В

тродвигатели с помощью контакторов К1 и К3 включаются в две группы, а контактор К2 отключается.

В каждой группе три двигателя соединены последовательно, а группы подключены к генератору Г параллельно. Теперь ток тягового генератора увеличивается, становясь равным сумме токов двух групп тяговых электродвигателей, а напряжение генератора снижается. Генератор вновь начнет работать в области высоких токов и низких напряжений. Дальнейший разгон поезда происходит при использовании полной мощности дизеля, так

как с уменьшением тока тяговых двигателей напряжение генератора будет возрастать до наибольшей величины.

При скорости движения около 27 км/ч вновь напряжение генератора приблизится к предельной величине, и начинается ограничение мощности тепловоза. Снятие ограничения мощности при дальнейшем увеличении скорости движения тепловоза достигается в результате ослабления возбуждения тяговых электродвигателей. Для этого с помощью контакторов КШ1 и КШ2 включаются резисторы СШ1 параллельно обмоткам возбуж-

дения электродвигателей. Теперь только часть тока двигателя проходит по обмотке возбуждения. Ослабление возбуждения тяговых электродвигателей приводит к снижению э. д. с., возникающей в обмотках якорей, увеличению тока электродвигателей и тягового генератора. Дальнейшее увеличение скорости тепловоза будет происходить с полным использованием мощности дизеля. При скорости движения тепловоза ТЭМ1 более 45 км/ч вновь начинается ограничение мощности дизеля по возбуждению генератора уже при последовательно-параллельном соединении двигателей и ослабленном возбуждении. Однако здесь больше никаких мер не принимается, так как этот маневровый тепловоз не предназначен для высоких скоростей движения с поездами.

Следует отметить, что метод расширения диапазона скоростей движения тепловоза при полном использовании мощности дизеля посредством перегруппировки тяговых двигателей имеет существенные недостатки. В процессе перегруппировки электродвигателей производятся переключения в силовой цепи тепловоза, при которых приходится резко снижать напряжение генератора, чтобы исключить большие толчки тока. Поэтому сила тяги тепловоза в период переключения тяговых двигателей резко падает, а затем снова возрастает до нормальной. Снижение силы тяги неблагоприятно сказывается на движении поезда. При ослаблении возбуждения не требуется предварительно снижать напряжение тягового генератора или отключать тяговые электродвигатели и уменьшения силы тяги не происходит.

Кроме того, электрическая схема с постоянной группировкой тяговых электродвигателей получается более простой, с меньшим количеством электрических аппаратов. Поэтому для тепловозов ТЭЗ, типов ТЭ10, ТЭП60 были выбраны схемы постоянного включения тяговых электродвигателей (без перегруппировки) и две ступени ослабления возбуждения этих электродвигателей.

На тепловозах ТЭЗ тяговые электродвигатели 1—6 соединяются в три параллельные группы с помощью контакторов *K1*, *K2* и *K3* (рис. 175, б). В каждой группе два двигателя включены последовательно. Степень ослабления возбуждения электродвигателя характеризуется величиной той части тока, которая продолжает проходить по обмотке возбуждения после включения шунтирующего резистора. Остальной ток якоря проходит по этому резистору. При скорости движения тепловоза 28 км/ч параллельно обмоткам возбуждения тяговых двигателей посредством контакторов *KШ1* включаются резисторы *СШ1* первой ступени ослабления возбуждения. По обмоткам возбуждения проходит только 48% тока якорей тяговых двигателей, увеличивается ток в силовой цепи, уменьшается напряжение генератора, что снимает ограничение мощности тепловоза.

При скорости 45 км/ч с помощью контакторов *KШ2* подключаются вторые шунтирующие резисторы *СШ2*. Теперь лишь 25% тока тягового электродвигателя проходит по обмотке возбуждения и магнитное поле двигателей еще более ослабляется. Вновь возрастает ток генератора и уменьша-

ется его напряжение. Ограничение мощности отодвигается до конструкционной скорости тепловоза. Глубина ослабления возбуждения электродвигателей лимитируется условиями обеспечения удовлетворительной коммутации.

На тепловозах 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В применена параллельная схема включения всех шести тяговых электродвигателей 1—6 с двумя ступенями ослабления возбуждения (рис. 175, в). Такая схема позволяет в случае повреждения тягового двигателя отключить его и следовать на пяти оставшихся двигателях. В депо поврежденный двигатель должен быть восстановлен или заменен. Первая ступень ослабления возбуждения тяговых электродвигателей включается при скорости движения 35—40 км/ч, вторая — при 55—60 км/ч. Глубина ослабления возбуждения двигателей на первой ступени составляет 60%, на второй — 36%. Полное использование мощности дизеля на тепловозах этих серий обеспечивается вплоть до конструкционной скорости.

Обратные переходы с отключением резисторов ослабления возбуждения при замедлении движения тепловоза (например, на подъеме) и работе дизель-генератора на номинальном режиме происходят при скоростях на 5—10 км/ч меньше, чем прямые переходы. Указанный разрыв между прямыми и обратными переходами необходим для того, чтобы исключить частые повторные переключения с одной схемы на другую (звонковую работу), которые могут привести к повреждениям аппаратуры управления и электрических машин.

Таким образом, рассмотрение работы электрической передачи тепловоза при перегруппировке тяговых двигателей, применении ослабления их возбуждения показало, что эти меры позволяют многократно использовать гиперболический участок внешней характеристики тягового генератора в широком диапазоне изменения скорости движения локомотива, реализуя номинальную мощность дизель-генератора.

В случае работы дизель-генератора на частичной мощности, устанавливаемой машинистом с помощью контроллера, также происходят изменения схемы соединения двигателей, включение резисторов ослабления возбуждения для поддержания этой мощности (уже не номинальной).

Включение контакторов для перегруппировки тяговых двигателей и ослабления возбуждения производится автоматически в зависимости от скорости движения тепловоза с помощью специальных реле перехода.

ПОЧЕМУ НА ТЕПЛОВОЗАХ НЕЛЬЗЯ ПРИМЕНЯТЬ КОНТРТОК? ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ

Что произойдет, если на ходу переключить тяговые электродвигатели для работы в противоположном направлении, или, как говорят, дать контрток? Ведь на паровозах применяют контрпар в качестве тормозного средства. Нельзя ли на тепловозах в необходимых случаях производить торможение с помощью контртока?

Рассмотрим изменения в работе электрических машин тепловоза в случае применения контртока. При нормальной работе электрической передачи локомотива электродвижущие силы тяговых электродвигателей направлены против подводимого к ним напряжения от тягового генератора, т. е. имеют противоположное направление электродвижущей силе генератора. Величина тока генератора будет прямо пропорциональна разности этих э. д. с. (см. п. 1 гл. 13).

Если на ходу произвести реверсирование тяговых электродвигателей, то изменится направление тока в их обмотках возбуждения. Легко определить по правилу правой руки, что индуктируемая ими э. д. с. также станет противоположной по направлению. Значит, теперь электродвижущие силы тяговых электродвигателей и генератора будут иметь одинаковое направление. Тяговые электродвигатели превратятся в генераторы, включенные последовательно с тяговым генератором. Ток двигателей и генератора будет пропорционален сумме их электродвижущих сил и резко возрастет. Нужно иметь еще в виду, что на тепловозах применяются тяговые электродвигатели последовательного возбуждения. Весь ток двигателей проходит по обмоткам их возбуждения. Поэтому с увеличением тока тяговых электродвигателей будет непрерывно расти их э. д. с. до тех пор, пока не наступит магнитное насыщение полюсов. Электродвигатели стремятся развивать наибольшую э. д. с. и, следовательно, создавать максимальный ток.

Величина тока в двигателях и генераторе, напряжение на их коллек-

торах быстро превысят допустимые пределы, нарушится нормальная коммутация электрических машин. Неизбежно возникнут вспышки электрической дуги на коллекторах машин, переходящие в круговой огонь, и перебросы на корпус.

Обычно в этих случаях срабатывают защитные устройства тепловоза, однако электрические машины успевают получить тяжелые повреждения. Поэтому применение контртока на тепловозах совершенно недопустимо.

Можно ли заставить тяговые электродвигатели работать в качестве генераторов и с их помощью производить торможение тепловоза? Да, можно, используя свойство обратимости электрических машин постоянного тока. Однако для этого тепловоз необходимо снабдить специальным оборудованием. Новый вид торможения должен быть предусмотрен уже при разработке самой схемы электрической передачи.

У нас в стране созданы опытные тепловозы с электродинамическим торможением. При таком торможении якоря тяговых электродвигателей отключаются от генератора и в их цепи вводятся специально установленные на тепловозе резисторы — тормозные реостаты. Электродвигатели переводятся в генераторный режим и создают тормозное усилие на колесных парах тепловоза. Вырабатываемая ими электрическая энергия поглощается в реостатах. В период торможения осуществляется независимое возбуждение тяговых электродвигателей от генератора. Изменение тормозного усилия производится путем регулирования тока возбуждения тяговых

электродвигателей с помощью контроллера машиниста, который специальной рукояткой переключается на тормозной режим.

При этом ток возбуждения тяговых электродвигателей ограничивается таким образом, чтобы э. д. с. двигателей находилась в допустимых по коммутации пределах. Благодаря ограничению э. д. с. и резисторам в цепи якорей тяговых двигателей ток их также не выходит за допустимые значения. Электродвигатели в тормозном режиме развивают большую мощность, значительно превышающую мощность дизеля. Для поглощения такого количества электрической энергии требуются специальные реостатные устройства с интенсивным принудительным охлаждением. В процессе торможения дизель продолжает работать, так как тяговый генератор используется для питания током обмоток возбуждения тяговых электродвигателей.

Применение электродинамического торможения позволяет намного реже пользоваться пневматическими тормозами. В результате уменьшается износ тормозных колодок, обеспечиваются высокие тормозные усилия, особенно при больших скоростях движения, снижается опасность юза колесных пар. Тепловозы с электродинамическим торможением за счет более устойчивого режима торможения, исключая перегрев тормозных колодок, допускают более высокие скорости движения поездов на уклонах. При этом достигается как увеличение средней скорости движения поездов, так и заметная экономия топлива.

Широкое внедрение электродинамического торможения является важ-

ным средством дальнейшего улучшения технико-экономических показателей перспективных тепловозов.

ТЯГОВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Бесколлекторные электрические двигатели переменного тока получили широкое применение в самых различных отраслях техники благодаря простоте устройства. Электродвигатели переменного тока, как и двигатели постоянного тока, представляют собой электрические машины, предназначенные для преобразования электрической энергии в механическую. Однако в способах осуществления этого принципа в электродвигателях двух типов имеются существенные различия.

В электродвигателях переменного тока используется вращающееся магнитное поле. Поместим во вращающееся поле проводник в виде замкнутой рамки на оси (рис. 176). Оси вращения магнитного потока и рамки должны совпадать. Магнитный поток, пересекая рабочие стороны рамки, будет индуцировать в них

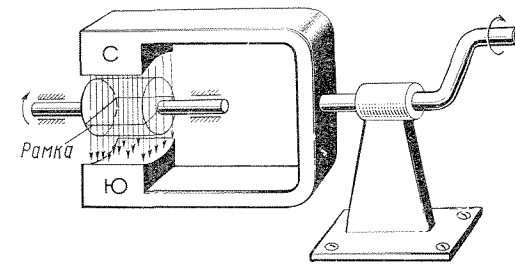


Рис. 176. Схема работы простейшего электродвигателя переменного тока

э. д. с., как в любом электрическом генераторе (см. гл. 12). Согласованная э. д. с. в рабочих сторонах приведет к возникновению электрического тока в замкнутой рамке. Этот ток взаимодействует с магнитным полем. Образуется пара сил, которая создает вращающий момент, заставляющий рамку поворачиваться вслед за магнитным полем. Таким образом, в электродвигателе переменного тока вращающийся магнитный поток полюсов статора индуцирует в замкнутых рамках, образующих витки обмотки ротора, электрический ток. Здесь ротор приводится во вращение теми же силами взаимодействия магнитного поля и тока, как и якорь в двигателях постоянного тока, но отпадает необходимость в подводе тока от внешнего источника к вращающейся обмотке, а значит, и необходимость в коллекторе. Частота вращения ротора такого электродвигателя окажется несколько меньше частоты вращения магнитного поля. Только при этом условии магнитные силовые линии будут пересекать проводники, образующие витки, и, следовательно, в витках возникнет ток, взаимодействующий с магнитным полем. Если частоты вращения поля и витков будут

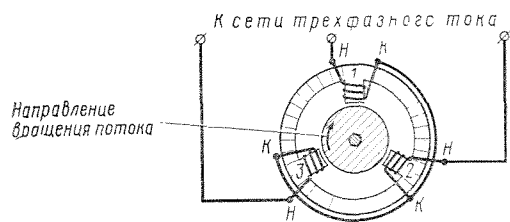


Рис. 177. Схема трехфазного асинхронного электродвигателя

одинаковыми, то магнитное поле не будет пересекать проводников, исчезнет ток в витках, являющийся причиной вращения ротора. Поэтому ротор и магнитное поле вращаются не с одинаковой частотой, или, как говорят, вращаются несинхронно (асинхронно). Электрические двигатели, работающие по рассмотренному принципу, получили название *асинхронных*. Само слово «асинхронный» образовано с помощью приставки «а», используемой в иностранных, преимущественно греческого происхождения, словах, выражающей отрицание или отсутствие какого-либо качества. В асинхронном двигателе отсутствует качество синхронного вращения магнитного поля и ротора.

Различие частоты вращения магнитного поля и ротора характеризуют скольжением. Число скольжения s представляет собой отношение разности частот вращения магнитного поля n и ротора n_1 к частоте вращения магнитного поля: $s = \frac{n - n_1}{n} 100\%$.

Рассмотренное выше устройство, обеспечивающее вращение ротора, еще не является электродвигателем, так как требует механического вращения статора. В электродвигателе вращающееся магнитное поле должно создать непосредственно электрический ток. Рассмотрим принцип работы асинхронного двигателя трехфазного тока. На полюсах стального сердечника статора кольцевой формы размещены три обмотки, смещенные последовательно на угол в 120° (рис. 177). Внутри статора рас-

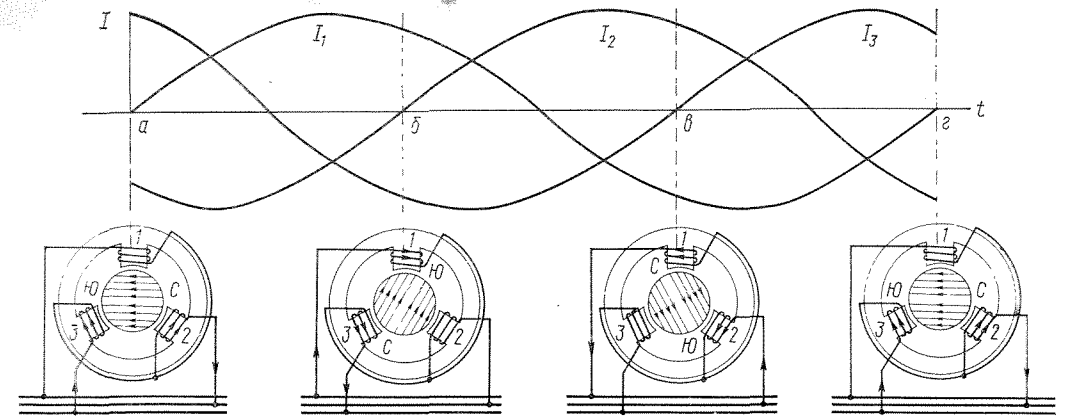


Рис. 178. Схема получения вращающегося магнитного поля в трехфазном электродвигателе

полагается ротор с обмоткой. Подключим катушки статора к источнику трехфазного электрического тока, как показано на рис. 178, и проследим процессы изменения тока I в катушках и создаваемого ими магнитного потока в зависимости от времени t . В положении a ток I_1 в I фазе равен нулю, во II фазе он имеет отрицательное значение I_2 , а в III — положительное I_3 . Воспользовавшись правилом правой руки для определения направления, создаваемого током магнитного потока, можно установить, что внутренний конец сердечника второй катушки 2 будет северным полюсом, а внутренний конец сердечника третьей катушки 3 окажется южным полюсом. Суммарный магнитный поток внутри электродвигателя направлен от северного полюса катушки 2 к южному полюсу катушки 3. Дальнейшее изменение тока в фазах постепенно меняет величину магнитного потока катушек. В положении b ток во

II фазе равен нулю. В III фазе ток изменил направление на отрицательное, и этот полюс 3 стал северным. Первый полюс 1, по катушке которого течет ток в положительном направлении, становится южным. Суммарный магнитный поток теперь направлен от третьего полюса к первому, т. е. повернулся на 120° , как это легко видеть из сравнения положений a и b на рис. 178.

В положении $в$ за счет дальнейшего изменения тока в катушках первый полюс становится северным, второй южным, в катушке третьего полюса ток отсутствует. Суммарный магнитный поток двигателя повернулся еще на угол 120° . И наконец, в положении $г$ токи в катушках по величине и направлению становятся такими же, как и в положении a . Магнитный поток еще повернулся на 120° . Таким образом, за один период изменения переменного тока магнитный поток сделал полный оборот. Почти на один оборот

(с учетом скольжения) повернется и ротор двигателя, увлекаемый магнитным потоком. Из рис. 178 можно видеть, что три полюсных обмотки асинхронного двигателя трехфазного тока создают двухполюсное магнитное поле (поле имеет один северный и один южный полюсы). В этом случае частота вращения магнитного поля равна частоте тока.

Если статор трехфазного двигателя оборудовать шестью полюсными обмотками, то они создадут два магнитных потока, т. е. четырехполюсное магнитное поле. При применении девяти полюсных обмоток образуются три магнитных потока и, следовательно, шестиполюсное магнитное поле и т. д.

Известно, что частота вращения магнитного потока в электродвигателе переменного тока зависит как от частоты тока f , так и от числа пар полюсов p и составляет

$$n = \frac{f}{p}.$$

Во избежание больших потерь энергии в электродвигателе, т. е. для повышения к. п. д. двигателя, скольжение должно быть минимальным. В двигателях трехфазного тока скольжение в зависимости от нагрузки меняется от 2—3 до 5—6%. Таким образом, частота вращения ротора асинхронного двигателя всегда близка к частоте вращения магнитного потока.

Для реверсирования двигателя переменного тока необходимо заставить вращаться в обратную сторону магнитный поток полюсов, что осуществляется изменением подключе-

ния любых двух фаз статорной обмотки.

Рассмотрим устройство электродвигателя переменного тока (рис. 179). Магнитопровод (сердечник) статора набирается из тонких штампованных листов электротехнической стали для уменьшения потерь на вихревые токи. Сердечник на внутренней поверхности имеет пазы, в которые укладываются изолированные проводники обмотки статора в виде отдельных катушек для каждой фазы. Собранный сердечник с обмоткой устанавливают в станине электродвигателя. Все начала и концы катушек обмотки статора выводят наружу для соединения с внешней цепью и обеспечения реверсирования двигателя.

Ротор двигателя имеет сердечник из штампованных листов электротехнической стали. В пазы ротора укладывается обмотка. В зависимости от типа обмотки ротора асинхронные электродвигатели разделяются на двигатели с короткозамкнутым ротором и фазным ротором. Простейшим является *короткозамкнутый ротор*. Короткозамкнутая обмотка выполняется из медных стержней, соединенных по торцам медными кольцами (рис. 180). Такого типа обмотка получила название «беличьей клетки» или «беличьего колеса». Медные стержни нет необходимости изолировать в пазах. Иногда «беличье колесо» выполняется из алюминия, заливаемого в пазы ротора.

Фазный ротор снабжен обмоткой из изолированного провода, ее концы присоединяют к контактным кольцам

ротора. Через щеточный аппарат обмотка замыкается на пусковой реостат. Пусковой реостат увеличивает сопротивление обмотки ротора. При пуске двигателя с помощью пускового реостата резко снижается сила пускового тока. Пусковой реостат позволяет осуществить плавное регулирование вращения ротора в определенных пределах.

Из опыта эксплуатации тепловозов известно, что одними из наиболее уязвимых частей тяговых двигателей являются изоляция сложной по конструкции якорной обмотки, коллектор, щетки. Нарушения изоляции якоря, повреждения и износ коллектора требуют сложного ремонта тяговых двигателей. Сколотые, разрушенные щетки следует немедленно заменить, так как это может привести к тяжелым повреждениям коллектора, обмоток двигателя. Замену щеток практически можно производить лишь в депо, притирка новых щеток по коллектору весьма трудоемка. Образуемая при износе и повреждении щеток электрографитовая токопроводящая пыль может вызвать перебросы тока между частями двигателей и их повреждения, поэтому тяговые электродвигатели постоянного тока требуют систематического ухода, очистки и продувки сжатым воздухом.

По сравнению с электродвигателями постоянного тока асинхронный двигатель трехфазного тока с короткозамкнутым ротором отличается рядом преимуществ. Действительно, в асинхронных двигателях такого типа ротор имеет простейшую конструкцию. В нем нет тяжелого коллектора,

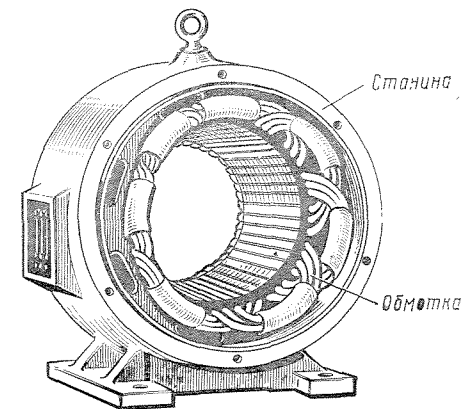


Рис. 179. Статор трехфазного асинхронного электродвигателя

сложной обмотки, которая должна быть тщательно изолирована; не имеет и капризного в эксплуатации щеточного аппарата. Кроме того, ввиду отсутствия коллектора в асинхронных двигателях не нужны устройства, облегчающие процесс коммутации, в том числе и добавочные полюсы. Максимальная частота вращения ротора не ограничивается допустимой окружной скоростью коллектора. Вращающееся магнитное поле позволяет обеспечить более высокое использование электромагнитных сил в электродвигателе. Поэтому

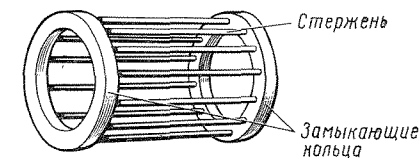


Рис. 180. Схема обмотки короткозамкнутого ротора («беличьего колеса»)

му асинхронный двигатель по сравнению с двигателем постоянного тока имеет меньшую массу, для его изготовления расходуется меньше дефицитных материалов. Снижение массы тягового двигателя является весьма важным еще и потому, что приводит к уменьшению воздействия неподдресоренных масс локомотива на железнодорожный путь. Асинхронные двигатели значительно надежнее в эксплуатации, менее трудоемки в обслуживании и ремонте. Как указывалось выше, частота вращения ротора асинхронного двигателя не может достигнуть частоты вращения магнитного потока статора. Благодаря этому асинхронные двигатели не допускают резкого повышения частоты вращения ротора при снятии механической нагрузки. В условиях применения их на тепловозах это означало бы исключение боксования колесных пар со значительным увеличением частоты их вращения. Особенно заманчивым казалось использование асинхронных тяговых двигателей на тепловозах с тяговыми генераторами переменного тока. В этом случае вырабатываемый генератором ток может быть непосред-

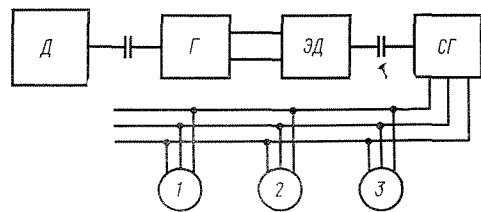


Рис. 181. Структурная схема машинного преобразователя частоты переменного тока для тепловозов

ственно направлен в асинхронные тяговые двигатели. Главное препятствие на пути внедрения тяговых асинхронных электродвигателей — это трудность регулирования частоты их вращения для изменения скорости движения тепловоза при постоянной частоте вращения и мощности дизель-генератора.

Ступенчатое регулирование частоты вращения ротора асинхронного двигателя достигается путем изменения числа пар полюсов статорной обмотки. Однако применение такого способа регулирования не обеспечивает плавного изменения силы тяги тепловоза и скорости движения, значительно усложняет электрическую схему, так как необходимо производить переключения статорных обмоток двигателей. Использование фазных роторных обмоток двигателей с реостатами во внешней цепи не только усложняет электрическое оборудование тепловоза, но и снижает его к. п. д. вследствие дополнительных потерь энергии.

Для плавного экономичного изменения силы тяги и скорости движения тепловоза с тяговыми двигателями переменного тока необходимо также плавно регулировать частоту электрического тока, подводимого к двигателям. Регулирование частоты переменного тока можно осуществить с помощью дополнительной двигатель-генераторной установки (рис. 181). В этом случае дизель-генератор Д тепловоза работает с постоянной частотой вращения. Генератор Г вырабатывает постоянный ток, который приводит в действие электрический двигатель ЭД дополнительной двига-

тель-генераторной установки. Тяговый синхронный генератор СГ переменного тока этой установки вырабатывает электрическую энергию для питания тяговых электродвигателей 1—3. Регулируя частоту вращения двигателя дополнительной установки можно изменять частоту вырабатываемого тяговым генератором тока в необходимых пределах для обеспечения полного использования мощности дизеля при изменении скорости движения локомотива и частоты вращения якорей тяговых двигателей. Однако легко видеть, что в этом случае на тепловозе потребуется установить дополнительную двигатель-генераторную установку, имеющую большую массу, трудоемкую в ремонте, и применить специальную систему ее автоматического регулирования. Поэтому разработанные проекты тепловозов с такой системой регулирования частоты переменного тока, используемого для асинхронных тяговых двигателей, не были практически реализованы.

Новые широкие возможности преобразования параметров электричес-

кого тока открывает применение полупроводниковой техники. Весьма компактные полупроводниковые приборы совместно со специальной системой управления их работой позволяют питать асинхронные тяговые двигатели электрическим током необходимой частоты в зависимости от скорости движения локомотива. Такие статические преобразователи тока значительно компактнее дополнительной двигатель-генераторной установки. В нашей стране и за рубежом разработаны полупроводниковые преобразователи тока для тепловозов.

Созданы и проходят испытания первые опытные образцы тепловозов с тяговыми электродвигателями переменного тока. Однако преобразователи тока еще дороги в изготовлении, недостаточно устойчива их работа.

Потери энергии в преобразователе несколько снижают общий коэффициент полезного действия локомотива. Все это сдерживает применение асинхронных тяговых электродвигателей на тепловозах.

АККУМУЛЯТОР — ХИМИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК ТОКА

В период пуска дизеля тяговый генератор или стартер работает в режиме двигателя, получая электрическую энергию от установленной на тепловозе аккумуляторной батареи. Кроме того, аккумуляторная батарея служит для питания током цепей управления, электрических ламп, вспомогательных электродвигателей, когда не работает дизель тепловоза, а значит, не работает и вспомогательный генератор.

Таким образом, аккумуляторная батарея является вторым после дизеля источником энергии на тепловозе. При стоянках тепловоза дизель может не работать с целью экономии топлива и снижения износа деталей.

Электрическим аккумулятором называют устройство, преобразующее электрическую энергию в химическую, которая в случае надобности может быть вновь преобразована в электрическую энергию. Процесс превращения в аккумуляторе электрической энергии в химическую называется *зарядом* аккумулятора. Обратный процесс превращения химической энергии в электрическую называется

разрядом аккумуляторов. При заряде электрическая энергия подводится к аккумулятору от постороннего источника постоянного тока; при разряде запасенная химическая энергия аккумулятора преобразуется в электрическую, и во внешней цепи, подключенной к аккумулятору, появляется ток. Поэтому аккумуляторы относятся к химическим источникам электрического тока.

Простейший электрический аккумулятор состоит из пластин, опущенных в электролит, находящийся в сосуде (рис. 182). Различают положительные и отрицательные пластины аккумулятора. Положительные пластины соединяются при заряде с плюсовым выводом источника тока, отрицательные — с минусовым выводом. При прохождении тока через пластины и электролит происходят химические процессы, в результате которых изменяется химический состав пластин и электролита. Если после этого замкнуть выводы аккумулятора на внешнюю цепь, то в электролите и пластинах начнутся обратные химические процессы. Химические составы пластин и электролита возвращаются к первоначальному состоянию, но при этом в цепи проходит электрический ток. Процессы заряда

и разряда аккумуляторов можно повторять много раз.

Аккумулятор как источник электрической энергии характеризуют следующие основные показатели: э. д. с., емкость, максимальный ток и внутреннее сопротивление. Электродвижущая сила аккумулятора зависит от его типа, степени заряженности, плотности электролита, тока разряда (нагрузки) и для широко распространенных типов аккумуляторов находится в пределах 1,4—2,2 В. *Емкостью аккумулятора* называют количество электричества, выраженное в ампер-часах (А·ч), которое может отдать полностью заряженный аккумулятор при разряде до минимально допустимого напряжения на его выводах. Емкость определяется как произведение тока в амперах на время разряда в часах этим током. Например, если аккумулятор при токе разряда 10 А может работать 10 ч, то его емкость равна $10 \text{ А} \times 10 \text{ ч} = 100 \text{ А} \cdot \text{ч}$. Емкость аккумулятора зависит от размеров пластин, длительности времени разряда, величины разрядного тока, температуры и других факторов.

Для пуска дизеля требуется создать значительный вращающий момент и необходим ток большой силы. Поэтому к аккумуляторам, применяемым для пуска дизеля, получившим название стартерных, предъявляются высокие требования по устойчивой, надежной работе при большом токе разряда. Максимальная сила тока разряда аккумуляторов при пуске тепловозных дизелей достигает 1500—2000 А. В целях снижения внутренних потерь энергии при таких

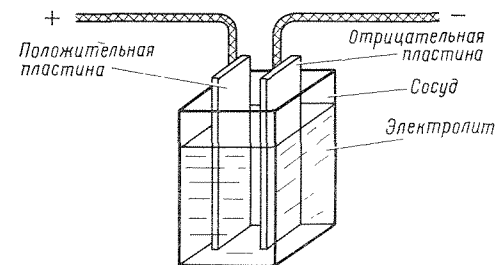


Рис. 182. Простейший аккумулятор

больших токах внутреннее сопротивление стартерных аккумуляторов делается минимальным; оно составляет сотые или тысячные доли ома.

На тепловозах применяются два типа электрических аккумуляторов — свинцовые (кислотные) и железоникелевые или кадмиевоникелевые (щелочные). Своё название аккумуляторы получили по материалу, из которого изготовлены их пластины, и используемому электролиту.

СВИНЦОВЫЙ АККУМУЛЯТОР

Пластины свинцового аккумулятора отливают из свинца. Количество энергии, которое можно накопить в аккумуляторе, пропорционально размерам поверхности его пластин, омываемой электролитом. Для увеличения этой поверхности аккумулятор имеет по нескольку положительных и отрицательных пластин. Все положительные и отрицательные пластины объединены в два отдельных полублока (рис. 183). Пластины изготавливают в виде решеток с ячейками. Ячейки заполняют пористой активной

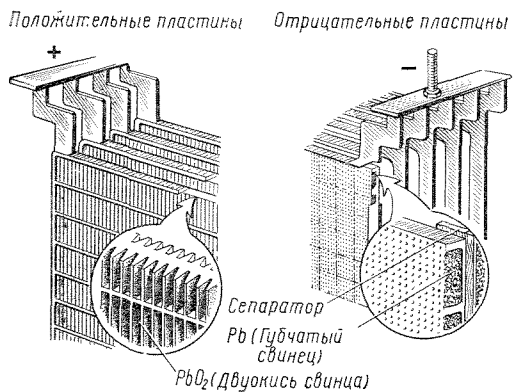


Рис. 183. Пластины свинцового аккумулятора

массой. Благодаря этому еще больше увеличивается поверхность соприкосновения пластин с электролитом.

При сборке аккумулятора после каждой отрицательной пластины вставляется положительная. По краям с двух сторон стоят отрицательные пластины, так как положительные пластины склонны к короблению. Поэтому в свинцовом аккумуляторе отрицательных пластин всегда на одну больше, чем положительных. Во избежание касания пластины в процессе сборки аккумулятора отделяют друг от друга прокладками-сепараторами. Сепараторы должны обеспечивать свободный доступ электролита к пластинам (за счет пористости), обладать высокой химической стойкостью и большой механической прочностью.

Здесь, как и во многих других областях техники, на помощь пришла химия. Были созданы синтетические аккумуляторные сепараторы — полихлорвиниловые, стекловойлочные и

ряд других. Для получения необходимой пористости в полихлорвиниловых сепараторах делается большое количество мелких отверстий. Поэтому такие сепараторы называют перфорированными. Полихлорвиниловые сепараторы могут быть микропористыми (поровинил). Хорошим материалом для сепараторов служит стекловойлок, состоящий из тончайших нитей стекла. Стекловойлок обладает наибольшей пористостью и химически инертен. Однако механическая стойкость стекловойлока мала. Сепараторы из стекловойлока успешно применяются в комбинации с сепараторами из других материалов, имеющих большую механическую прочность.

Собранный блок положительных и отрицательных аккумуляторных пластин опускают в сосуд, называемый баком или банкой. Эти сосуды изготовлены из кислотоупорных материалов, чаще всего из эбонита или специальных пластмасс. Во избежание расплескивания электролита аккумуляторная банка сверху закрыта крышкой. В крышке имеются отверстия, через которые выводятся наружу контактные штыри-выводы аккумулятора.

Электролитом в свинцовых аккумуляторах служит раствор чистой серной кислоты (ее химическая формула H_2SO_4) в дистиллированной воде. Серная кислота имеет плотность $1,83 \text{ г/см}^3$, вода — 1 г/см^3 . Поэтому плотность электролита превышает 1 г/см^3 , обычно она находится в пределах $1,2 — 1,4 \text{ г/см}^3$.

Полностью собранный и заполненный электролитом аккумулятор под-

ключают для заряда к источнику электрической энергии. Режимы заряда каждого типа аккумулятора указаны в инструкции, прилагаемой к нему. В процессе первого специального заряда нового аккумулятора, который называется *формовкой аккумулятора*, в результате электрических процессов активная масса положительных пластин превращается в перекись свинца PbO_2 , т. е. соединение свинца с кислородом, богато насыщенное последним. Активная масса отрицательных пластин переходит в чистый пористый свинец Pb , называемый губчатым. Кроме того, при этих процессах выделяется серная кислота H_2SO_4 , поэтому плотность электролита повышается.

Когда необходимо использовать энергию, накопленную в аккумуляторе, его включают в соответствующую электрическую цепь. Аккумулятор отдает энергию, вырабатываемую за счет химических процессов, в результате которых активная масса положительных и отрицательных пластин превращается в сернокислый свинец $PbSO_4$, называемый также сульфатом свинца. При этих реакциях выделяется вода, разбавляющая электролит, поэтому его плотность падает.

Электрохимические реакции, протекающие при заряде и разряде аккумулятора, описываются следующим обобщенным уравнением:

$$+2H_2SO_4 + Pb \xrightleftharpoons[\text{заряд}]{\text{разряд}} 2PbSO_4 + 2H_2O.$$

В левой части уравнения первый и третий члены обозначают химический состав активной массы положительных и отрицательных пластин заря-

женного аккумулятора, второй член — состав активной составляющей электролита (серной кислоты), в правой части первый член указывает предельный химический состав активной массы положительных и отрицательных пластин разряженного аккумулятора, а второй член — образующуюся при реакциях воду. Читая уравнение слева направо, получим процесс разряда, а справа налево — заряда аккумулятора, как это показывают стрелки.

Напряжение на зажимах аккумулятора в начале разряда составляет $2,1—2 \text{ В}$. Измерять напряжение аккумулятора нужно под нагрузкой с помощью специальной нагрузочной вилки с вольтметром. Лишь в этом случае мы определим действительное его значение. По мере разряда оно медленно снижается до $1,8—1,7 \text{ В}$. Дальнейший разряд аккумулятора должен быть прекращен, хотя при этом будет использовано лишь около $1/3$ активной массы пластин. Более глубокие разряды аккумулятора губительно отзываются на нем вследствие сульфатации пластин. Образование сульфата свинца на поверхности, в порах активной массы положительных и отрицательных пластин аккумулятора при его разряде является естественным химическим процессом, в результате которого происходит отдача электрической энергии. В первый период разряда аккумулятора образуются мелкие кристаллы сульфата свинца. Такие кристаллы не закупоривают поры в активной массе пластин. При последующем заряде аккумулятора они полностью превращаются в двуокись свинца на положительных пластинах

и губчатый свинец на отрицательных пластинах. В случае глубоких разрядов аккумуляторов, а также при систематических недозарядах, загрязнении электролита, хранении в незаряженном состоянии и вследствие некоторых других причин сульфат свинца перекристаллизовывается и приобретает крупнокристаллическое строение. Пластины сульфатируются — покрываются белым слоем крупнокристаллического сульфата свинца, который имеет плохую электропроводность. Крупные кристаллы сульфата свинца закупоривают поры в активной массе пластин. В результате прекращается доступ электролита во внутренние слои активной массы пластин, повышается внутреннее сопротивление аккумулятора, снижается его емкость. Образование крупнокристаллического сульфата, занимающего большой объем, приводит также к разбуханию, выпучиванию и выпадению активной массы пластин. При заряде аккумулятора крупнокристаллический сульфат медленно и не полностью превращается в исходную активную массу пластин. Поэтому необходим своевременный заряд аккумуляторов.

После включения на заряд напряжение на выводах аккумулятора быстро повышается с 1,7 — 1,8 до 2,1—2,2 В и затем очень медленно до 2,3 В. В конце заряда происходит повышение напряжения до 2,6 — 2,8 В и начинается «кипение» аккумулятора, т. е. бурное выделение газов (водорода и кислорода) вследствие разложения воды электрическим током. Резкое повышение напряжения и «кипение» аккумулятора свидетельствуют об окончании заряда. После от-

ключения аккумулятора от источника электрической энергии его напряжение почти сразу падает приблизительно до 2,1 В.

Выделение водорода и кислорода, хотя и менее интенсивное, происходит и при других режимах работы аккумуляторов. Известно, что водород и кислород образуют взрывчатую смесь, называемую *гремучим газом*. Поэтому категорически запрещается входить с огнем в аккумуляторные помещения.

Количество электричества, которое отдает в цепь аккумулятор при разряде, всегда меньше, чем полученное им при заряде, так как часть энергии теряется на нагревание электролита и побочные химические процессы. Отношение количества электричества в ампер-часах, отданного при разряде аккумулятора (емкости), к полученному при заряде количеству электричества называется *коэффициентом отдачи аккумулятора по емкости*. Для кислотных аккумуляторов эта величина достигает 90—95%.

Коэффициентом отдачи аккумулятора по энергии, т. е. коэффициентом полезного действия, называется отношение количества энергии в киловатт-часах, отданной при разряде, к количеству энергии, затраченной при заряде аккумулятора. К. п. д. кислотных аккумуляторов составляет 70—80%.

ЩЕЛОЧНОЙ АККУМУЛЯТОР

Щелочной аккумулятор состоит из стального никелированного сосуда, блоков положительных и отрицательных пластин (рис. 184) и электролита. В качестве электролита для этих

аккумуляторов применяется раствор щелочи — едкого кали КОН в дистиллированной воде.

Пластины аккумулятора изготовлены в виде пакетов из тонкой никелированной стали и заполнены активной массой. Стенки пакетов имеют большое количество отверстий (перфорированные) для лучшего соприкосновения активной массы с электролитом. Как и в кислотных аккумуляторах, отрицательные пластины вставлены между положительными и отделены одна от другой сепараторами. В зависимости от состава активной массы отрицательных пластин щелочные аккумуляторы разделяют на два типа: железоникелевые и кадмиево-никелевые.

В незаряженном состоянии активная масса положительных пластин состоит из гидрата закиси никеля $Ni(OH)_2$ с примесью мелкого графита, а активная масса отрицательных пластин — из гидрата закиси железа $Fe(OH)_2$ в железоникелевом аккумуляторе или гидрата закиси кадмия $Cd(OH)_2$ с примесью гидрата закиси железа в кадмиево-никелевом аккумуляторе. В процессе заряда аккумулятора происходит окисление активной массы положительных пластин, гидрат закиси никеля переходит в гидрат окиси никеля $Ni(OH)_3$. Активная масса отрицательных пластин восстанавливается в виде порошкового (губчатого) железа Fe или смеси кадмия Cd и железа в губчатом состоянии.

При разряде аккумулятора происходит переход к первоначальному составу пластин: активная масса положительных пластин превращается

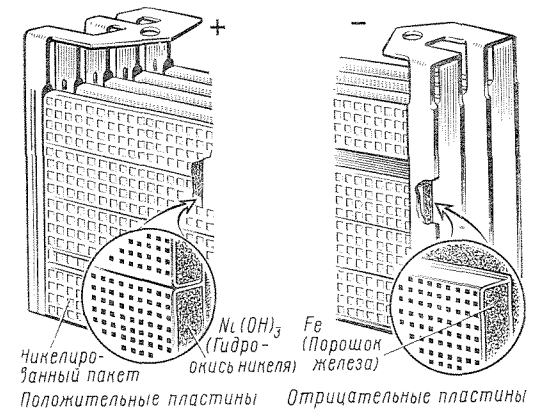
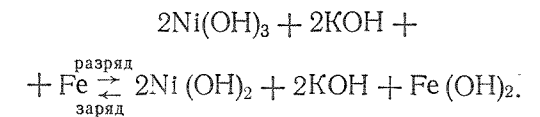


Рис. 184. Пластины щелочного аккумулятора

в гидрат закиси никеля $Ni(OH)_2$, а активная масса отрицательных пластин окисляется соответственно в гидрат закиси железа $Fe(OH)_2$ или гидраты закиси кадмия $Cd(OH)_2$ и железа $Fe(OH)_2$.

Обобщенное уравнение электрохимических реакций при разряде и заряде железоникелевого аккумулятора может быть представлено в следующей форме:



Из этого уравнения легко видеть, что при работе щелочного аккумулятора изменяется лишь химический состав его пластин. Концентрация же электролита остается неизменной, так как не происходит образования воды (в отличие от процесса разряда кислотного аккумулятора). Аналогичный вид имеет и обобщенное уравнение

электрохимических реакций в кадмие-воникелевом аккумуляторе.

Для полного использования отрицательных пластин положительные пластины щелочного аккумулятора должны содержать в два раза больше активной массы. Поэтому пакеты с активной массой положительных пластин делаются толще, чем отрицательных, и положительных пластин в аккумуляторе устанавливают на одну больше.

При заряде напряжение аккумулятора вначале быстро возрастает до 1,6 В, а затем увеличивается до 1,8—1,85 В в конце заряда. Полностью заряженный аккумулятор после отключения от источника тока имеет э. д. с., равную примерно 1,45 В, т. е. значительно ниже, чем у кислотного аккумулятора. Вследствие более высокого внутреннего сопротивления щелочного аккумулятора его напряжение при разряде составляет 1,3—1,1 В. При напряжении аккумулятора 1 — 1,1 В разряд следует прекратить.

Щелочные аккумуляторы имеют ряд преимуществ перед кислотными: большая механическая прочность, меньшая чувствительность к значительным разрядным токам, длительный срок службы и более простое обслуживание. Недостатками щелочных аккумуляторов являются низкие коэффициенты отдачи по емкости (70 — 71%) и по энергии (55—60%), малое напряжение элемента (в среднем 1,2 В вместо 2 В у кислотного аккумулятора) и повышенные габаритные размеры и масса. Кроме того, при низких наружных температурах, если не утеплить щелочные аккумуляторы, то их емкость резко снижается.

Электродвижущая сила одного кислотного или щелочного аккумулятора и, следовательно, отдаваемая им мощность весьма малы. Поэтому на тепловозах устанавливаются аккумуляторные батареи, состоящие из многих аккумуляторов, соединенных по определенной схеме.

УСТРОЙСТВО АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ТЕПЛОВОЗОВ

На тепловозах ТЭ1, ТЭ2, ТЭМ1, ТЭМ2, ТЭ3, ТЭП60 и ряде других широкое применение получили кислотные свинцовые аккумуляторные батареи типа 32ТН-450. Эта батарея состоит из 32 аккумуляторов. Буквы Т и Н означают, что она предназначена для тепловозов, а активная масса пластин нанесена путем намазывания. Емкость батареи 450 А·ч.

На рис. 185 показан аккумулятор тепловозной батареи. Пластины аккумулятора отлиты из свинцовосурьмянистого сплава. Небольшая добавка сурьмы повышает прочность пластин. Ячейки в пластинах заполнены активной массой в виде пасты. Отрицательный полублок состоит из 20 пластин, положительный — из 19. Каждый полублок имеет два вывода (контактных штыря) для соединения аккумулятора с внешней цепью.

В аккумуляторных батареях типа 32ТН-450 в качестве прокладок между пластинами применены мипластовые сепараторы, стеклянный войлок и гофрированные полихлорвиниловые дырчатые пластины (рис. 186). Гофрированные сепараторы не только разделяют пластины, но и устраняют

их вибрацию. Сверху на сепараторы укладывается предохранительный щиток, предупреждающий расплескивание электролита и попадание на пластины посторонних предметов (см. рис. 185).

Баки для тепловозных аккумуляторов изготавливаются из эбонита. Они обладают достаточной механической прочностью и хорошими электроизолирующими качествами, не разъедаются, весьма легки, дешевы. На дне бака имеются ребра, на которые ставят пластины аккумулятора (см. рис. 185). Бак закрывается эбонитовой крышкой. Места соединения крышки с сосудом тщательно уплотняются асбестовым шнуром и кислотоупорной мастикой. Отверстия для прохода через крышку штырей полублоков пластин уплотняются резиновыми кольцами. В крышке имеется также заливное отверстие, закрываемое специальной пробкой с внутренними каналами, предназначенными для выпуска газов, образующихся в аккумуляторе. Аккумуляторы по четыре монтируют в деревянных ящиках, окрашенных кислотоупорным лаком. Для удобства транспортировки ящики снабжены подвесками (рис. 187). На тепловозе ТЭ3 аккумуляторная батарея размещается вдоль дизель-генераторной установки под полом.

Все аккумуляторы тепловозной аккумуляторной батареи соединены последовательно с помощью перемычек, благодаря чему их напряжение суммируется. Номинальное напряжение батареи 32ТН-450 составляет 64 В. От третьей секции аккумуляторной батареи сделан специальный вывод, позволяющий получить напряжение

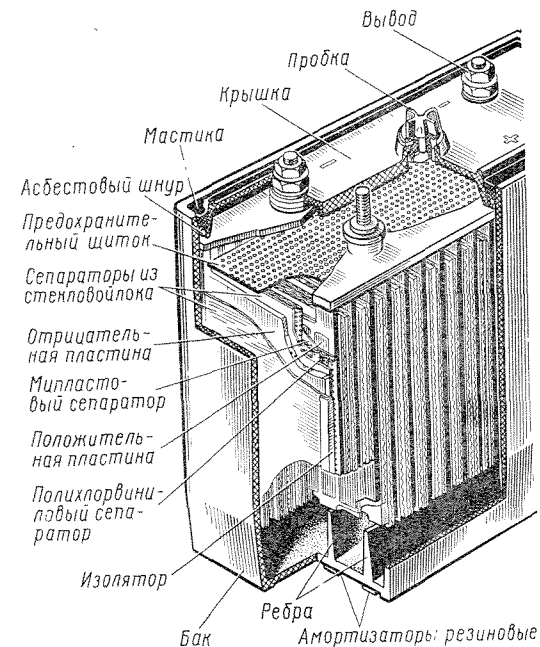


Рис. 185. Тепловозный свинцовый аккумулятор

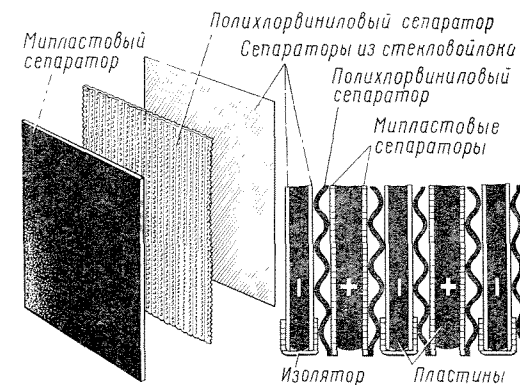


Рис. 186. Сепараторы аккумулятора

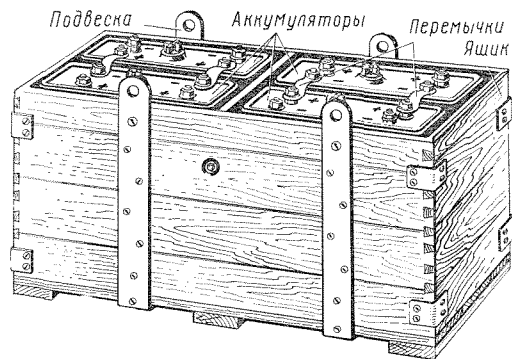


Рис. 187. Секция аккумуляторной батареи

24 В, необходимое для питания измерительных приборов локомотива. Эта аккумуляторная батарея способна при пуске дизеля давать кратковременно ток до 1700—2000 А, ее отдача по емкости составляет 80%, к.п.д. — 65%. Плотность электролита заряженной батареи поддерживается в пределах 1,24 — 1,25 г/см³, а в зимние месяцы ее целесообразно повышать до 1,26 г/см³ во избежание замерзания электролита. Дело в том, что с повышением плотности электролита резко понижается температура его замерзания.

На новых отечественных тепловозах 2ТЭ116, ТЭП70, 2ТЭ121 и др. напряжение в цепях управления и освещения повышено до 110 В. Поэтому для них изготавливают кислотные аккумуляторные батареи 48ТН-450. Количество аккумуляторов в батарее увеличено до 48, ее номинальное напряжение составляет 96 В, емкость — 450 А·ч.

В целях экономии свинца отечественной электротехнической промышленностью были проведены работы по созданию тепловозных железоникелевых щелочных аккумуляторных батарей. Первые опытные щелочные батареи для эксплуатационной проверки начали устанавливать на тепловозы еще в 1951 — 1954 гг. В результате этих работ были созданы щелочные аккумуляторные батареи типа 46ТПЖН-450 для тепловозов ТЭ3 и 46ТПЖН-550 для тепловозов ТЭ10, 2ТЭ10Л и др. Аккумуляторные батареи имеют емкость соответственно 450 и 550 А·ч. В связи с более низкой электродвижущей силой щелочных аккумуляторов их число в бата-

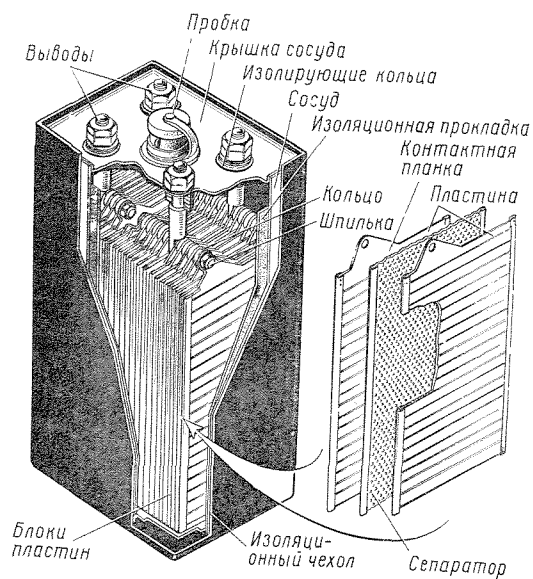


Рис. 188. Тепловозный железоникелевый аккумулятор

рее увеличено до 46 по сравнению с 32 в кислотных батареях для этих же тепловозов. Устройство железоникелевого тепловозного аккумулятора показано на рис. 188.

В каждом аккумуляторе имеется 36 положительных пластин и 34 отрицательных пластины. Положительные пластины представляют собой плоские коробки из стальной перфорированной, покрытой никелем ленты, заполненные гидроокисью никеля с добавкой измельченного графита для увеличения электропроводности. Аналогичные стальные коробки отрицательных пластин заполнены губчатым (порошковым) железом.

Отрицательные пластины вставляются между положительными и предохраняются от соприкосновения полихлорвиниловыми перфорированными сепараторами, имеющими гофрированную форму. Пластины объединены в два блока с помощью приваренных к ним контактных планок и стяжных шпилек с гайками. Каждый блок имеет по два вывода, называемых *борнами*. Собранные блоки пластины устанавливаются в стальной сосуд (бак) на ребра в днище. Сверху сосуд закрыт стальной крышкой, приваренной к его стенкам. Борны выведены наружу через отверстия в крышке и изолируются от нее винипластовыми и резиновыми кольцами, предупреждающими вытекание электролита. Сверху борны имеют резьбу и гайки для соединения перемычками с соседними аккумуляторами. Крышка снабжена заливочной горловиной, закрываемой пластмассовой пробкой с внутренними каналами для вентиляции. Элект-

ролитом служит водной раствор едкого кали с добавкой моногидрата лития, повышающего срок службы аккумуляторов. Плотность электролита составляет 1,19—1,21 г/см³ и не изменяется в процессе заряда или разряда аккумуляторной батареи. На каждый аккумулятор надевается резиновый изоляционный чехол. Аккумуляторная батарея монтируется в четырех ящиках из листовой стали и дополнительно изолируется от них деревянными брусками. На тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В аккумуляторные ящики устанавливаются в средней части кузова с обеих сторон от дизеля под полом (см. рис. 128).

Аккумуляторная батарея 46ТПЖН-550 имеет номинальное напряжение 57,5 В, допускает разрядный ток (прерывистый) до 2700 А.

Применение железоникелевых аккумуляторных батарей упростило эксплуатацию тепловозов, так как эти батареи имеют большой срок службы, высокую механическую прочность, способны выдерживать большие разрядные токи. В них отсутствуют химические процессы, выводящие из работы активную массу пластин подобно сульфатации в свинцовых аккумуляторах. Однако масса железоникелевых аккумуляторных батарей приблизительно в 1,5 раза больше, чем свинцовых тепловозных аккумуляторных батарей. Свинцовые батареи имеют и меньшие габаритные размеры.

На тепловозах после пуска дизеля заряд аккумуляторных батарей осуществляется током от вспомогательных генераторов. Величина тока заряда контролируется по амперметру.

КОНТАКТОРЫ

Электрические аппараты теплового назначения предназначены для дистанционного или автоматического управления агрегатами локомотива (дизелем, тяговым генератором, вспомогательными машинами и т. д.), контроля за их работой и защиты от недопустимых режимов работы, а также для освещения, световой и звуковой сигнализации и т. д.

Тепловозная электрическая аппаратура, как и другое оборудование, работает в очень тяжелых условиях, подвергаясь тряске, загрязнению, воздействию наружных температур, изменяющихся в широких пределах. Порча даже одного небольшого аппарата может вызвать прекращение работы всего тепловоза. Поэтому конструкция аппаратов обеспечивает высокую их надежность; для предохранения от коррозии детали окрашивают стойкими эмалями или покрывают оловом (лудят), оцинковывают. Наиболее точные и чувствительные аппараты устанавливают на амортизаторах и закрывают защитными кожухами. В эксплуатации за электрической аппаратурой необходимо тщательно ухаживать. Опыт работы тепловозов показал, что при рациональной конст-

рукции, надлежащем уходе и ремонте аппарата служит очень надежно.

Один из самых простых способов управления электрической цепью состоит в ее замыкании и размыкании. Например, когда нужно включить электрическую лампу, мы замыкаем ее электрическую цепь с помощью выключателя. Если освещение уже не нужно, то достаточно разомкнуть цепь выключателем, и лампа погаснет. Операции по замыканию и размыканию электрических цепей, переключению проводников или изменению направления тока получили название коммутации, а устройства, выполняющие эти операции, — коммутационных аппаратов.

На тепловозе замыкание и размыкание электрических цепей, в которых проходят значительные токи, осуществляются с помощью контакторов.

Важнейшей частью контактора являются его силовые (главные) контакты (рис. 189). Один из них закрепляется неподвижно, а другой устанавливается на держателе, который может поворачиваться вокруг оси. С помощью этих двух контактов непосредственно и производится замыкание и размыкание цепи тока. Управление контакторами осуществляется на расстоянии, поэтому необходим специаль-

ный привод для замыкания и размыкания контактов.

Если по катушке контактора пропустить ток, то возникающий магнитный поток создает усилие, достаточное для притяжения якоря к сердечнику катушки. Подвижный силовой контакт будет прижат к неподвижному до тех пор, пока по катушке проходит ток.

При размыкании силовых контактов между ними возникает электрическая дуга — мощный разряд электричества в воздухе. Температура электрической дуги достигает многих тысяч градусов, выделяется большое количество тепла. Дуга может расплавить контакты. Чтобы избежать повреждения контактов и других частей контактора, дуга должна быть быстро погашена. Поэтому контактор оборудован специальными дугогасительными устройствами. Часто контакторы, кроме замыкания основной цепи, должны управлять и вспомогательными цепями. Для этого контактор снабжается дополнительными меньшими контактами, называемыми блокировочными (блок-контактами).

Таким образом, контактор представляет собой электрический аппарат с дистанционным приводом, предназначенный для повторных замыканий и размыканий электрических цепей под нагрузкой. В зависимости от типа привода контакторы подразделяются на электромагнитные и электропневматические.

На рис. 190 представлен один из видов электромагнитных контакторов, который применен на тепловозах ТЭМ1, ТЭМ2, ТЭЗ, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В

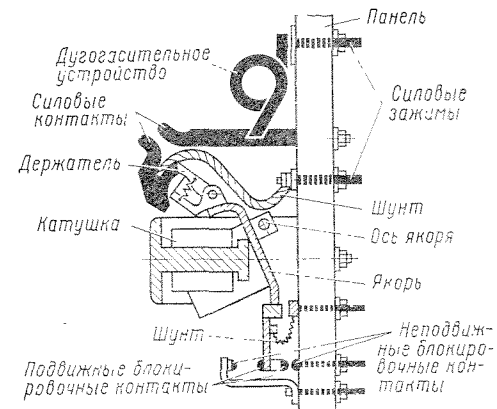


Рис. 189. Схема электромагнитного контактора

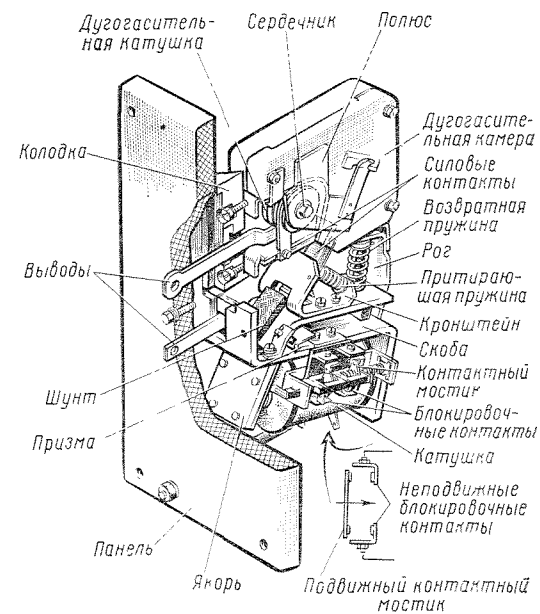


Рис. 190. Электромагнитный контактор

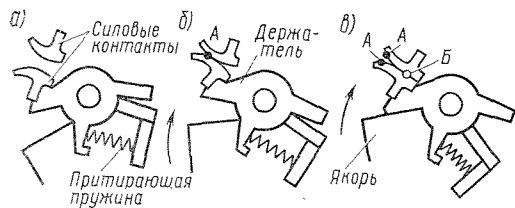


Рис. 191. Притирание контактов:
 а — положение перед замыканием; б — момент замыкания; в — рабочее положение

и других серий. Замыкание электрической цепи производят непосредственно силовые контакты. Неподвижный силовой контакт укреплен на изоляционной пластмассовой колодке. Подвижный контакт установлен на кронштейне в верхней части якоря. Ниже главных контактов находится электромагнитный привод контактора, который обеспечивает замыкание контактов. Скоба, часть которой является ярмом электромагнитного привода, изготовлена из полосовой стали и прикреплена к изоляционной панели. На скобе укреплен стальной сердечник с катушкой. Якорь реле установлен в прорези скобы и может свободно поворачиваться на опорной поверхности призмы. При обесточенной катушке якорь контактора возвратной пружиной прижат к скобе.

В нижней части скобы по обеим сторонам от катушки установлены блокировочные контакты контактора. Неподвижные блок-контакты укреплены на пластмассовом основании. Неподвижные контакты попарно замыкаются контактными мостиками. Отсюда блокировочные контакты такого типа получили название мостиковых. Прижатие мостика к непод-

вижным контактам осуществляется его пружиной. Блокировочные контакты контакторов, разомкнутые при недействующем его приводе, называются *замыкающими*; контакты, замкнутые при недействующем приводе, называются *размыкающими*. У контактора, показанного на рис.190, левые блок-контакты являются размыкающими, а правые — замыкающими.

Эти названия связаны с действием блокировочных контактов при срабатывании (включении) контактора, когда замыкающие блок-контакты замыкают цепь, а размыкающие блок-контакты размыкают цепь, которой они управляют.

Включение контактора достигается замыканием цепи катушки его электромагнитного привода.

В процессе работы контактора при прохождении тока контакты нагреваются, их поверхности окисляются. Особенно сильное окисление происходит при разрыве силовых контактов. В связи с этим растет контактное сопротивление, т. е. сопротивление в месте касания подвижного и неподвижного контактов, и условия работы контактов еще более ухудшаются, возникает опасность выхода из строя. Для уменьшения нагрева контакты изготавливают из металлов с высокой электропроводностью и теплопроводностью. Обычно используют медь, металллокерамику, иногда серебро или серебряные накладки. Уменьшение контактного сопротивления достигается разрушением пленки окислов на рабочей поверхности контактов. Для этого производится притирание контактов (рис. 191). Притирание осуществляется с помощью пружины под-

вижного контакта, которая и получила название притирающей. В тот момент, когда при включении контактора подвижный контакт достигнет неподвижного, их соприкосновение произойдет по линии А. Далее начнется процесс притирания. Якорь контактора будет продолжать поворачиваться вокруг своей оси и заставит перемещаться держатель подвижного контакта вместе с самим контактом. Подвижный контакт в это время накачивается на неподвижный, проскальзывая по его поверхности. Этот процесс называют *притиранием*. Притирание происходит до тех пор, пока якорь контактора не достигнет сердечника катушки. Теперь соприкосновение подвижного и неподвижного контактов происходит по линии Б. Вследствие притирания загрязнения стираются с рабочей поверхности контактов. Кроме того, линия соприкосновения контактов в рабочем положении контактора удалена от места их разрыва при размыкании, которое обычно получает наибольшие повреждения от электрической дуги.

Контакты контактора расположены в дугогасительной камере (см. рис. 190), изготовляемой из теплоустойчивого материала, например из асбестоцемента. С обеих сторон дугогасительную камеру охватывают стальные полюсы. Полюсы соединены стальным сердечником. На него намотана из полосовой меди дугогасительная катушка. Один вывод катушки соединен с неподвижным контактом контактора, а второй является зажимом контактора, к которому присоединяется провод, проводящий ток к контактору. Во включенном положении

контактора ток проходит следующим образом: от верхнего зажима через дугогасительную катушку, стойку, неподвижный контакт, подвижный контакт, гибкий медный шунт, нижний вывод и соединенный с ним токоотводящий провод.

Дуга, возникающая при размыкании контактов, продолжает замыкать цепь тока. Она находится между полюсами в магнитном поле, создаваемом током, который протекает по дугогасительной катушке. Сама электрическая дуга является проводником с током, и магнитное поле вытесняет ее вверх. Длина дуги увеличивается, дуга охлаждается, соприкасаясь с новыми массами воздуха, со стенками дугогасительной камеры, дугогасительным рогом, и быстро гаснет.

Контактор, показанный на рис. 190, рассчитан на длительный ток 250 А. Такие контакторы устанавливаются в цепях, соединяющих тяговый генератор с аккумуляторной батареей при пуске дизеля. На тепловозах применяются электромагнитные контакторы и других типов в зависимости от величины тока и напряжения в замыкаемых ими цепях.

Токи наибольшей величины длительное время проходят в силовой цепи тепловоза, которая соединяет тяговый генератор с тяговыми электродвигателями. Здесь устанавливают наиболее мощные контакторы. Для обеспечения требуемого нажатия контактов потребовался бы слишком громоздкий электромагнитный привод. Поэтому контакторы силовой цепи на тепловозах ТЭМ1, ТЭМ2, ТЭЗ, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, ТЭП60 и др. сна-

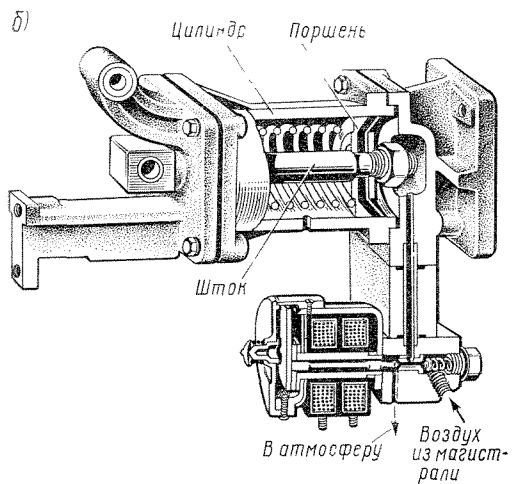
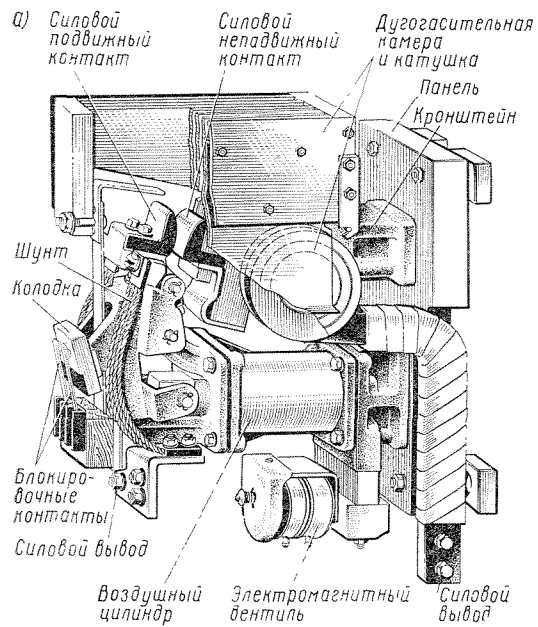


Рис. 192. Электропневматический контактор: а — общий вид; б — привод контактора

бжены электропневматическим приводом. Такие контакторы получили название электропневматических или просто пневматических (рис. 192).

Пневматический привод контактора состоит из воздушного цилиндра, в котором находится шток с поршнем. Доступом сжатого воздуха в цилиндр управляет электромагнитный вентиль. При прохождении тока через катушку вентиль срабатывает и открывает доступ воздуха из воздушной магистрали в цилиндр. Шток поворачивает рычаг контактора вокруг оси. Силовые контакты контактора замыкаются. Притирание контактов создается их пружиной. Провода цепи присоединяются к силовым выводам. Цепь замыкается через гибкий шунт, подвижный и неподвижный контакты, дугогасительную катушку и вывод катушки, являющийся вторым силовым выводом. При прекращении питания ток катушки электромагнитного вентиля воздушный цилиндр контактора сообщается с атмосферой, и пружина быстро перемещает поршень вправо, контактор выключается.

Неподвижные блокировочные контакты в виде стальных упругих пластин закреплены на изоляционной колодке. Провода каждой цепи управления подводятся к двум неподвижным блокировочным контактам. Замыкание цепи происходит с помощью медной пластинки, укрепленной на текстолитовой колодке. При включении контактора колодка перемещается вместе с рычагом.

Электропневматический контактор тепловозов 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В рассчитан на длительный ток 830 А и

максимальный кратковременный ток до 1350 А.

Сжатый воздух используется для приведения в действие и ряда других аппаратов и устройств тепловоза — механизма управления регулятором частоты вращения, реверсора, песочниц и т. д. Электромагнитные вентили, управляющие подачей сжатого воздуха, как правило, устанавливаются на самом электропневматическом аппарате, что позволяет обеспечить почти мгновенное срабатывание или его отключение, так как не приходится заполнять воздухом длинный трубопровод. При медленном размыкании контактов контактора электрическая дуга между ними будет значительно мощнее и вызовет оплавление контактов.

Электромагнитный вентиль показан на рис. 193, а. Его пневматическая часть состоит из двух клапанов: верхнего выпускного и нижнего впускного. Клапаны притерты к своим посадочным местам (седлам) во втулке, которая заправлена в корпус электромагнитного вентиля. Нижний клапан своим стержнем упирается в верхний клапан. Длина стержня выбрана с таким расчетом, чтобы оба клапана не могли быть прижаты к своим седлам одновременно. В корпусе вентиля имеются три отверстия: одно из них сообщается трубкой с магистралью сжатого воздуха, второе — с управляемым аппаратом, третье — с атмосферой. На корпусе установлен электромагнит. Якорь расположен над электромагнитной катушкой и опирается на шток выпускного клапана, вставленного в центральное отверстие сердечника катушки.

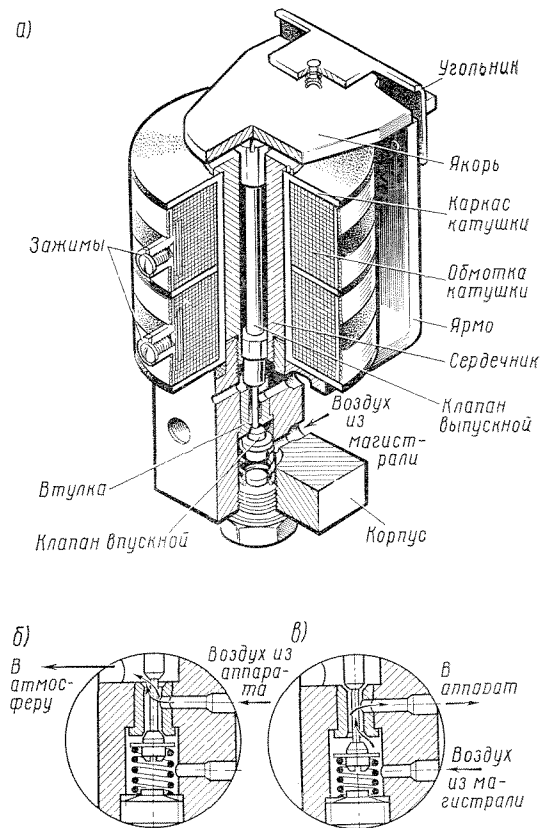


Рис. 193. Электромагнитный вентиль: а — общий вид; б — положение «Выключено»; в — положение «Включено»

В том случае, когда катушка обесточена, якорь освобожден и клапаны нижней пружины отжаты вверх (рис. 193, б). Впускной клапан при этом закрыт, выпускной открыт. Сжатый воздух не может выйти из камеры под впускным клапаном. Пневматический цилиндр управляемого аппарата сообщается через выпускной клапан с

атмосферой. Аппарат, которым управляет вентиль, выключен. Для включения аппарата замкнем цепь питания током электромагнитной катушки.

Катушка, как электрический магнит, притянет якорь, который опустит клапаны вниз. Верхний клапан сядет на свое седло, а нижний — откроется (рис. 193, в). Сжатый воздух через открывшийся впускной клапан и среднее отверстие корпуса вентиля будет поступать в пневматический ци-

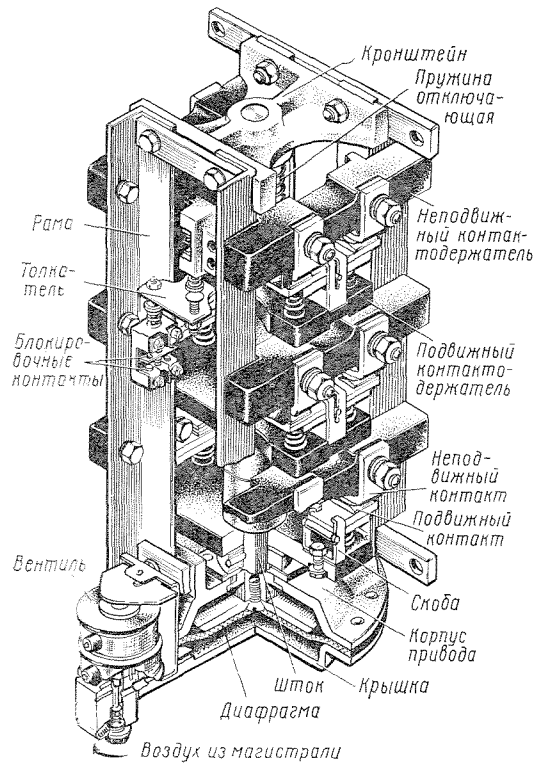


Рис. 194. Групповой электропневматический контактор

линдр аппарата. Выход же воздуха в атмосферу будет закрыт верхним клапаном. Сжатый воздух заставляет сработать управляемый вентилем аппарат.

На тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В и ТЭП60 применено параллельное включение всех шести тяговых электродвигателей в силовую цепь. При переходе на режим работы с первой ступенью ослабления возбуждения параллельно обмотке главных полюсов каждого электродвигателя включается шунтирующий резистор. Переход на вторую ступень ослабления возбуждения достигается включением второй группы шунтирующих резисторов (см. рис. 175, в). Напряжение между соединяемыми контактами в электрических цепях ослабления возбуждения тяговых электродвигателей не превышает приблизительно 20 В. В связи с небольшим напряжением между контактами здесь выгодно применить групповой контактор без дугогасительных устройств. В результате достигается значительное сокращение общей массы и размеров контакторного устройства. Так, масса группового контактора ослабления возбуждения тяговых электродвигателей тепловоза 2ТЭ10Л составляет 30 кг, а масса шести индивидуальных контакторов ослабления возбуждения, примененных на тепловозе ТЭЗ, равняется 80 кг.

Каждый групповой электропневматический контактор ослабления возбуждения (рис. 194) тепловозов 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В имеет с двух сторон шесть групп контактов. Неподвижные контакты попарно с помощью неподвижных контактодержателей укрепле-

ны на угольковых стойках рамы. Подвижные контакты мостикового типа вместе с их пружинами установлены на подвижных контактодержателях центрального штока. Контактодержатели являются изоляторами. Контакты имеют металлокерамические накладки, состоящие из серебра и окиси кадмия, которые надежно работают при более высоких температурах (до 125°C), чем медные. Кроме главных контактов, групповой контактор снабжен двумя парами блокировочных мостиковых контактов для замыкания электрических цепей управления. Перемещение контактных мостиков осуществляют толкатели, укрепленные на штоке.

Шток своим нижним концом соединен с диафрагменным приводом контактора.

При срабатывании электромагнитного вентиля открывается доступ сжатого воздуха под резиновую диафрагму привода. Диафрагма прогибается, перемещает вверх шток, подвижные контакты соединяются с соответствующими неподвижными, замыкая шесть электрических цепей. При отключении контактора электромагнитный вентиль выпускает сжатый воздух из диафрагменной камеры, шток контактора перемещается в нижнее положение под действием отключающей пружины, контакты контактора размыкаются, разрывая электрические цепи.

Каждая секция тепловозов 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В оборудована двумя групповыми контакторами для включения резисторов первой и второй ступеней ослабления возбуждения тяговых электродвигателей.

КОНТРОЛЛЕР МАШИНИСТА

Основные функции по управлению тепловозом выполняет непосредственно машинист. Главным устройством, с помощью которого осуществляется управление тепловозом, является контроллер (рис. 195). Используя рукоятки контроллера, машинист приводит в движение тепловоз, увеличивает или уменьшает мощность, развиваемую дизелем, а значит, и скорость движения тепловоза, изменяет направление его движения. Контроллер позволяет преобразовать действия машиниста в электрические сигналы. Эти сигналы по проводам передаются к контакторам, реверсору, реле и другим аппаратам, непосредственно управляющим локомотивом.

Контроллер тепловоза снабжен двумя рукоятками: главной и реверсивной. Реверсивная рукоятка может быть установлена в два крайних положения: «Вперед» и «Назад». При среднем положении реверсивной рукоятки контроллер запирается в выключенном состоянии. Главная рукоятка на тепловозах ТЭЗ имеет 17, на тепловозах 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В — 16 фиксированных положений (позиций). Первое положение соответствует холостой работе дизеля, при последующих положениях тепловоз приводится в движение. Главная рукоятка соединена с помощью зубчатого сектора и зубчатого колеса с верхним концом главного вала контроллера. Рукоятка вместе с валом может поворачиваться во втулочных подшипниках, запрессованных в крышку, верхнее и нижнее основания контроллера.

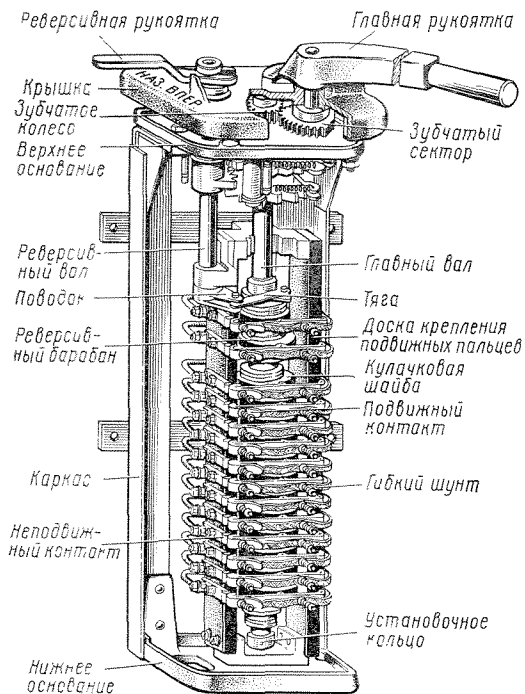


Рис. 195. Контроллер машиниста

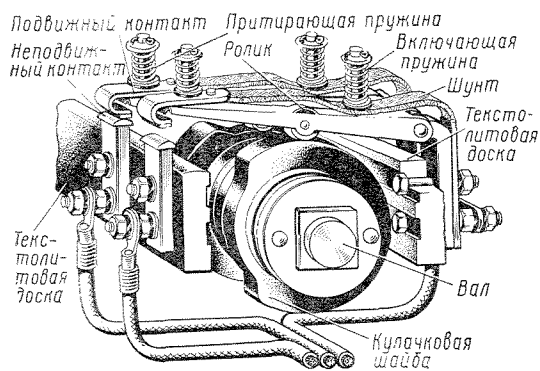


Рис. 196. Кулачковый элемент контроллера

На нижней части главного вала расположены кулачковые шайбы, которые и управляют контактами, замыкающими соответствующие электрические цепи. Замыкание цепи управления происходит при соприкосновении подвижного и неподвижного контактов (рис. 196). Неподвижные контакты укреплены на текстолитовой доске.

Параллельно на второй текстолитовой доске шарнирно на осях установлены пальцы с подвижными контактами. Палец своим роликом опирается на боковую поверхность кулачковой шайбы, имеющей один или несколько вырезов. Шайбы, изготовленные из изоляционного материала, укреплены на главном валу контроллера. Когда машинист поворачивает главную рукоятку контроллера, то вместе с валом поворачиваются и шайбы. Наконец, рукоятка поставлена в такое положение, когда ролик подвижного контакта попадает в вырез шайбы. При этом подвижный и неподвижный контакты замыкаются под действием включающей пружины. Они останутся замкнутыми при перемещении главной рукоятки на следующие позиции до тех пор, пока не окончится вырез шайбы. Таким образом, в зависимости от длины вырезов и их количества в шайбе можно осуществлять замыкание контактов на нужных позициях контроллера. Контроллер имеет необходимое число пар подвижных и неподвижных контактов в соответствии с количеством замыкаемых цепей управления.

Кроме шайб, на главном валу контроллера установлен реверсивный барабан, представляющий собой ци-

линдр с двумя шайбами, по виду аналогичными остальным шайбам (см. рис. 195). На шайбы опираются ролики двух подвижных контактов. Реверсивная рукоятка с помощью своего вала, поводка и тяги соединена с реверсивным барабаном. Барабан свободно надет на главный вал и поворачивается только реверсивной рукояткой.

Вырезы на шайбах реверсивного барабана расположены так, что при среднем положении реверсивной рукоятки оба подвижных контакта отведены от неподвижных. В каждом крайнем положении рукоятки замыкается одна пара контактов. Подается электрический сигнал, устанавливающий реверсор в положение, которое обеспечит движение тепловоза в заданном реверсивной рукояткой направлении.

В верхней части главного вала расположен фиксатор положений главной рукоятки (рис. 197). Он состоит из двух храповиков с вырезами, в которые входят ролики фиксирующих рычагов, и сектора между храповиками. Главная рукоятка устанавливается только в свои фиксированные положения, когда один из роликов входит в вырез храповика. Три положения реверсивной рукоятки фиксируются с помощью аналогичного устройства. Лишь блокировочный рычаг имеет вместо ролика простой выступ, который входит в пазы храповика, укрепленного на реверсивном валу. Этот рычаг одновременно выполняет и функции запирающего устройства контроллера. При среднем (выключенном) положении реверсивной рукоятки выступ рычага входит в не-

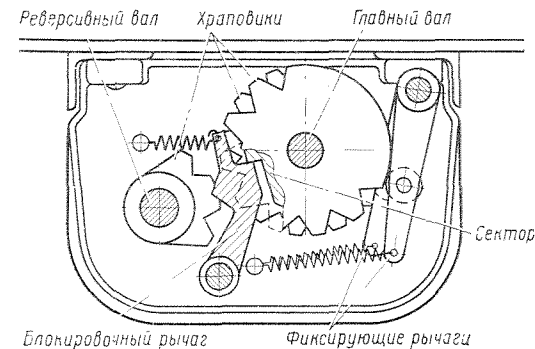


Рис. 197. Схема блокировочного и фиксирующего механизмов рукояток контроллера

глубокий паз храповика, фиксирующего положение реверсивной рукоятки. Выступ с другой стороны рычага заходит в паз сектора, фиксирующего положение главной рукоятки. При этом главная рукоятка должна обязательно находиться в положении «Холостой ход». Теперь можно снять реверсивную рукоятку и спокойно отойти от пульта управления. Если сейчас и попытаться перевести главную рукоятку в первое рабочее положение, когда тепловоз начинает двигаться, то этого не получится. Главную рукоятку удержит выступ блокировочного рычага.

После перевода реверсивной рукоятки в одно из крайних рабочих положений ее блокировочный рычаг уходит в более глубокий вырез храповика реверсивного вала. Противоположный выступ рычага выйдет из выреза сектора главного вала. Только теперь можно перевести главную рукоятку. С другой стороны, после перевода главной рукоятки в рабочее

положение нельзя повернуть реверсивную рукоятку — ее не пустит блокировочный рычаг. Он упрется в цилиндрическую поверхность сектора главного вала. Благодаря этому при случайном нажатии на реверсивную рукоятку во время движения не может произойти перевод тепловоза на обратный ход. Следовательно, такая простая механическая блокировка обеспечивает перевод главной рукоятки только при рабочем положении реверсивной рукоятки и перевод реверсивной рукоятки только после установки главной рукоятки в положение «Холостой ход».

От прикосновений к токоведущим частям, от загрязнений, повреждений контроллер защищен кожухом. На ряде новых тепловозов главная рукоятка для удобства работы машиниста выполняется в виде штурвала.

РЕВЕРСОР

Электрический аппарат, предназначенный для изменения направления движения тепловоза, называется реверсором. Чтобы изменить направление движения тепловоза, необходимо заставить якоря тяговых электродвигателей вращаться в обратную сторону. Для этого, как было показано в гл. 14, достаточно изменить направление тока в обмотках возбуждения электродвигателей. Эту работу и выполняет реверсор.

Реверсор имеет стальной шестигранный вал, поворачивающийся в бронзовых подшипниках, запрессованных в верхнем и нижнем кронштейнах (рис. 198). Вал покрыт бу-

мажно-бакелитовой изоляцией. На нем укреплены бронзовые токоведущие сегменты (барабаны). Реверсор тепловоза ТЭЗ снабжен тремя группами силовых сегментов в соответствии с числом групп тяговых электродвигателей. На боковую цилиндрическую поверхность сегментов опираются силовые контактные пальцы. Контактные пальцы с помощью пальцедержателей закреплены на боковых изолированных стойках.

Каждая группа сегментов имеет по два барабана. В свою очередь барабан состоит из двух изолированных друг от друга частей. Отдельные части сегментов соединены между собой, как показано на рис. 199. В положении реверсора, изображенном на рис. 199, а, ток проходит через плюсовые зажимы реверсора, левые верхние пальцы, барабан реверсора, правые верхние пальцы и далее по кабелю передается в обмотки возбуждения тяговых электродвигателей, откуда возвращается через нижний барабан реверсора: кабель — правые пальцы — барабан — левые пальцы — минусовые зажимы — кабель. Тепловоз движется вперед. Для изменения направления тока в обмотках возбуждения достаточно повернуть вал реверсора (рис. 199, б). При этом левые верхние и нижние пальцы хотя и передвинутся по поверхности барабанов, но останутся на прежних сегментах. Правые же пальцы переместятся через изоляционные прокладки между сегментами. Путь тока будет следующим: от плюсовых зажимов через силовые пальцы и сегмент, далее через перемычку к нижним правым пальцам, по кабелю, через обмотки возбуждения тяговых двигателей, но

уже в обратном направлении. Ток возвращается по кабелю к верхним правым пальцам, далее проходит через сегмент верхнего барабана, наклонную перемычку, сегмент нижнего барабана, пальцы, кабель и т. д. Тепловоз движется назад. Ток не может проходить, как в первом случае, от пальцев одного барабана к пальцам того же барабана, так как теперь сегменты, на которые опираются пальцы каждого барабана, разделены изоляционными прокладками. Аналогично устроены и две другие группы парных сегментов. Отдельные группы парных сегментов между собой электрических соединений не имеют.

В нижней части реверсора размещен его воздушный привод диафрагменного типа. В отличие от привода группового контактора привод реверсора выполнен с двумя *диафрагменными камерами* (рис. 200). Подачей сжатого воздуха в полость между диафрагмой и крышкой каждой камеры управляет свой электромагнитный вентиль. При срабатывании вентиля поступающий сжатый воздух давит на диафрагму, диафрагма — на шток. Подвижная система с помощью мотыля, укрепленного на штоке, поворачивает вал реверсора вместе с контактными сегментами в крайнее рабочее положение. При срабатывании второго электромагнитного вентиля (первый вентиль выключен) сжатый воздух поступает в противоположную диафрагменную камеру и заставляет вал реверсора повернуться в другое крайнее рабочее положение. Из первой диафрагменной камеры сжатый воздух ухо-

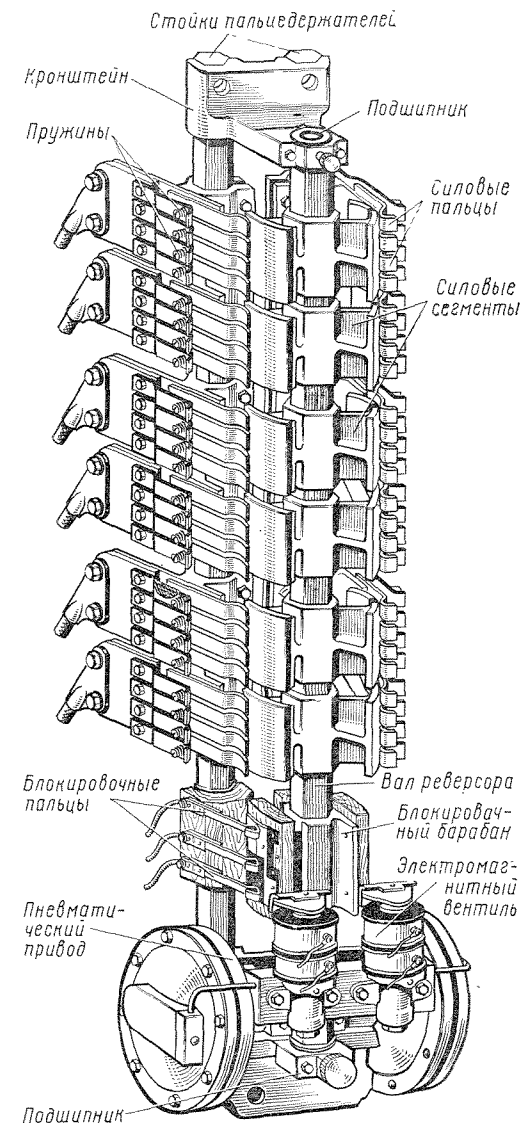


Рис. 198. Реверсор барабанного типа тепловоза ТЭЗ

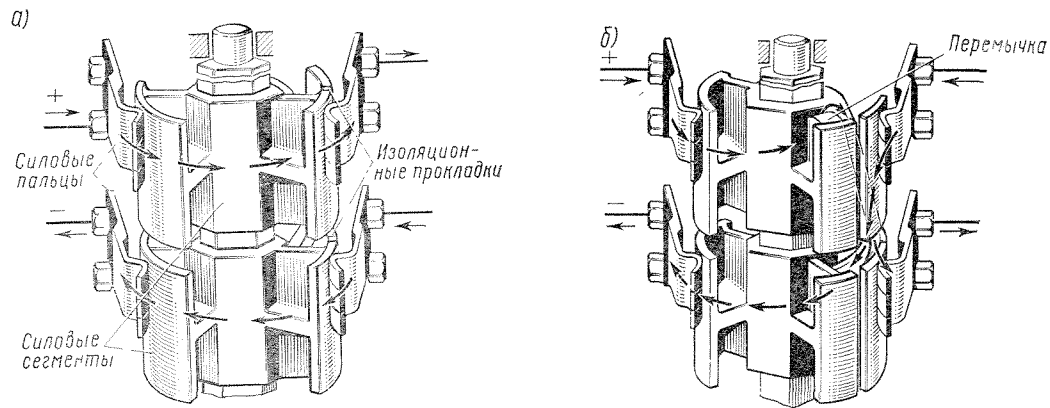


Рис. 199. Схема действия реверсора:
а — положение «Вперед»; б — положение «Назад»

дит в атмосферу через ее электромагнитный вентиль. Включение вентиля осуществляется с помощью реверсивной рукоятки контроллера машиниста.

Ниже силовых сегментов на валу реверсора укреплен блокировочный барабан (см. рис. 198). Он изготовлен из изоляционного материала и имеет медные накладки, замыкающие блокировочные пальцы реверсора.

Блокировочные контакты реверсора обеспечивают включение контактов возбуждения тягового генератора, возбуждателя и силовой цепи лишь после установки реверсора в одно из рабочих положений. Это очень важно потому, что реверсор не имеет дугогасительных устройств, а он пропускает токи высокого напряжения и большой величины. Размыкание под током вызовет электрическую дугу, которая выведет ревер-

сор из строя. Блокировочные контакты реверсора обеспечивают также при боксовании тепловоза и нажатии педали управления песочницами срабатывание только тех песочниц, которые подают песок под колеса по ходу локомотива. Реверсор снабжен защелкой, позволяющей запереть его в нейтральном положении.

На тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В и ТЭП60 в качестве реверсора применен кулачковый переключатель (рис. 201). На четырех угловых изолирующих стойках переключателя с помощью контактодержателей укреплены неподвижные контакты (пластины), которые через шунты непосредственно соединены с кабельными наконечниками проводов большого сечения силовой цепи. Подвижные контакты установлены на качающихся рычагах двух средних изолирующих стоек. Подвижные контакты гибкими соединениями связаны с

кабельными наконечниками проводов силовой цепи. Вал переключателя снабжен кулачковыми шайбами и соединен с диафрагменным приводом. Диафрагменный привод, поворачивая вал на 42° , устанавливает его в одно из двух крайних положений. Кулачковые шайбы вала при этом воздействуют на качающиеся рычаги с подвижными контактами. В каждом из крайних положений вала обеспечивается замыкание контактов реверсора для движения тепловоза «Вперед» или «Назад». В кулачковом переключателе установлено шесть независимых групп (по три с каждой стороны) неподвижных и подвижных контактов для отдельного изменения направления электрического тока в обмотках возбуждения тяговых электродвигателей.

Блокировочные контакты реверсора обеспечивают связь с цепями управления тепловоза. Дистанционное управление диафрагменным приводом переключателя осуществляется с помощью двух электромагнитных вентилях, открывающих доступ сжатого воздуха к диафрагменным камерам. Контакты реверсивного устройства переключаются только при отсутствии тока в силовой цепи тепловоза, поэтому кулачковый переключатель не оборудован дугогасительными устройствами.

Таким образом, барабанный и кулачковый реверсоры обеспечивают перемену направления вращения якорей тяговых электродвигателей за счет изменения схемы включения обмоток возбуждения двигателей. Однако барабанный реверсор более громоздкий, а на изготовление его кон-

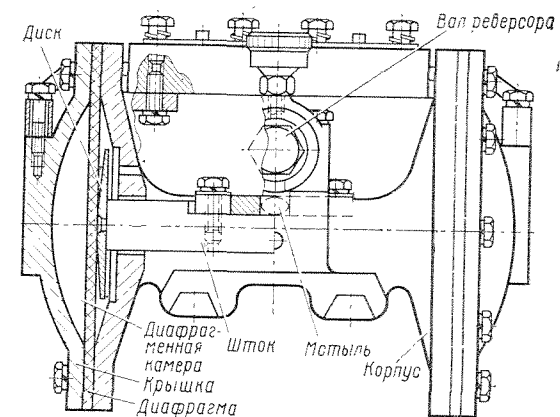


Рис. 200. Диафрагменный механизм привода реверсора

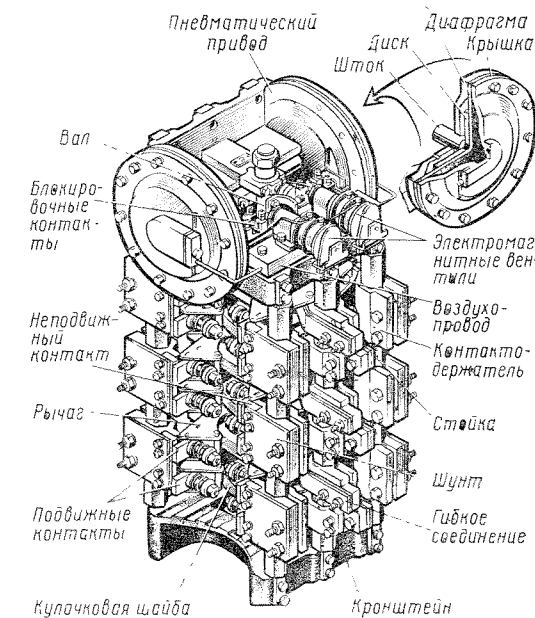


Рис. 201. Кулачковый электропневматический переключатель

тактных барабанов расходует значительное количество цветного металла. Легко также видеть, что кулачковый реверсор по принципу своего устройства близок к групповому контактору ослабления возбуждения тяговых двигателей. Различие состоит прежде всего в том, что переключение контактов в кулачковом реверсоре осуществляется путем поворота его подвижной системы, а в групповом контакторе — за счет поступательного перемещения подвижной системы в осевом направлении.

КНОПОЧНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ И ТУМБЛЕРЫ

Кнопочный выключатель тепловоза ТЭЗ смонтирован на пульте управления. В нем находится ряд кнопок, с помощью которых машинист производит пуск двигателя тепловоза, включение электродвигателей для привода вспомогательного топливно-

го насоса, маслопрокачивающего насоса, вентилятора калорифера, а также прожектора и ламп освещения приборов (рис. 202). Здесь же имеются две контрольные кнопки. Только после их включения электрическая схема приводится в рабочее положение, и тепловоз с помощью контроллера может быть приведен в движение.

Напротив каждой кнопки расположены два неподвижных стальных пальца, укрепленных на изолирующей панели. К пальцам подведены провода цепи, замыкаемой кнопкой. Головка кнопки соединена стержнем с фибровой колодкой, имеющей две выемки, в одну из которых заложена медная контактная планка. В выключенном положении кнопка фиксируется свободной выемкой колодки, куда входят концы контактных пальцев. При нажатии на кнопку колодка перемещается, пальцы входят во вторую выемку, и цепь между пальцами замыкается медной пластиной. Две кнопки кнопочного выключате-

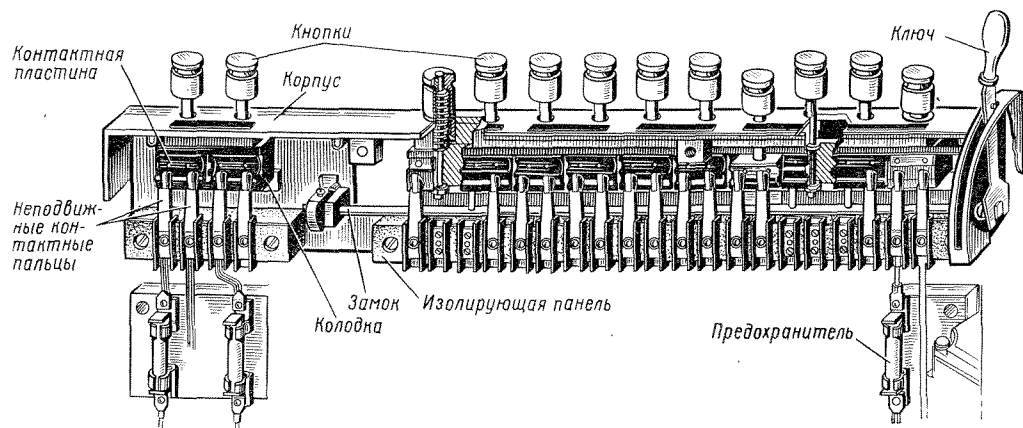


Рис. 202. Кнопочный выключатель

ля отличаются от остальных наличием возвратных пружин. Эти кнопки служат для пуска дизелей первой и второй секций тепловоза. Во включенном состоянии они удерживаются рукой только при пуске дизелей, затем возвращаются пружинами в первоначальное положение. Кнопочные выключатели двухсекционных тепловозов имеют механические замки, препятствующие в запорном положении движению фибровых колодок при попытке включить кнопку. Вал замка поворачивается с помощью ключа. После того как кнопочный выключатель закрыт, ключ может быть вынут. В цепи, замыкаемые кнопками, последовательно с ними включены плавкие предохранители для защиты от коротких замыканий (см. рис. 202).

На тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В вместо кнопочных выключателей на пульте управления в кабине машиниста установлены наборы тумблеров (выключателей) общепромышленного назначения. Одна из конструкций тумблеров показана на рис. 203. Ручное управление тумблером производится с помощью его ручки, которая посредством шарика и пружины устанавливает поворотный сектор в одно из крайних фиксированных положений. Один из контактных мостиков поворотного сектора соединяет два неподвижных контакта (расположенных в плоскости, перпендикулярной представленному на рис. 203 разрезу корпуса тумблера) и замыкает электрическую цепь, которой управляет данный тумблер. При повороте ручки тумблера эти мостиковые контакты разрывают цепь, а вторые мостико-

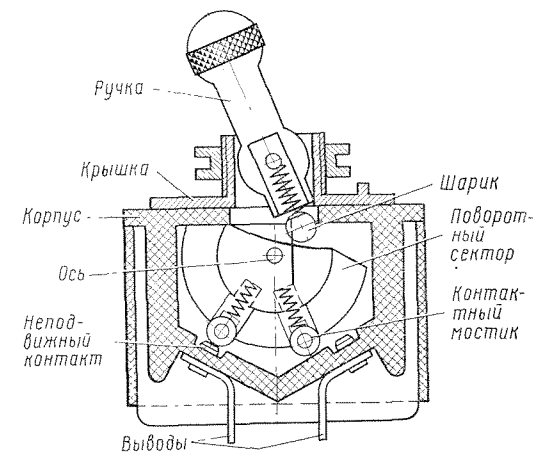


Рис. 203. Тумблер

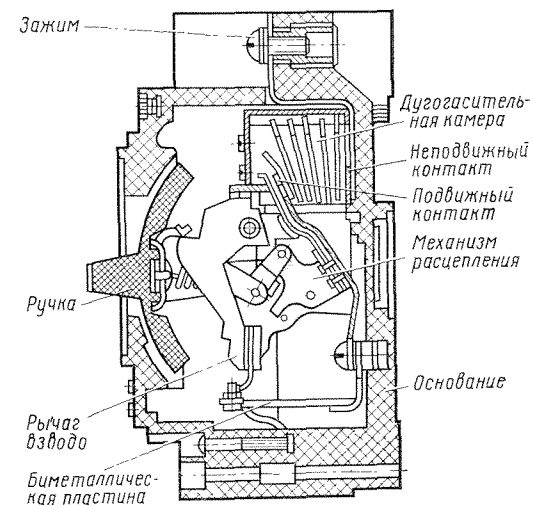


Рис. 204. Автоматический воздушный выключатель

вые контакты замыкают другую цепь управления, присоединенную ко второй паре неподвижных контактов.

На новых тепловозах ряд предохранителей с плавкими вставками в цепях управления и освещения заменен автоматическими воздушными выключателями (рис. 204). Выключатель замыкает управляемую цепь с помощью подвижного и неподвижного контактов. В выключателе ток проходит через биметаллическую пластину (инвар-сталь). В результате нагрева пластина выгибается за счет различных коэффициентов линейного расширения инвара и стали. Если ток превышает допустимый, то, изогнувшись, пластина с помощью механизма расцепления быстро отводит подвижный контакт от неподвижного, предохраняя цепь от чрезмерных нагрузок. Для замыкания цепи после устранения неисправности и остывания биметаллической пластины в течение 1 мин следует взвести механизм расцепления выключателя. Для этого ручку выключателя, соединен-

ную с рычагом взвода, нужно перевести в крайнее нижнее положение, а затем поднять в верхнее положение. Применение автоматических выключателей упрощает обслуживание тепловоза и улучшает защиту цепей управления и освещения от перегрузок. Следует отметить, что на тепловозах, кроме перечисленных, применено большое число различных рубильников, разъединителей, кнопочных выключателей, микропереключателей для управления рядом электрических цепей тепловоза вручную или от автоматических устройств. Например, установлены рубильники для включения аккумуляторной батареи, реле заземления. Двери аппаратных камер оборудованы кнопочными выключателями, предотвращающими подачу высокого напряжения в камеры при открытых дверях для предупреждения травматизма.

Управление песочницами тепловоза осуществляется с помощью ножного кнопочного выключателя с возвратной пружиной.

НАЗНАЧЕНИЕ РЕЛЕ

Развитие техники немислимо без широкого внедрения автоматических устройств, осуществляющих управление, контроль и защиту различного рода машин и агрегатов. В современных машинах многие процессы протекают очень быстро, и человек не успевает управлять ими без автоматических устройств. Эти устройства позволяют освободить людей от напряженного труда, уменьшить численность обслуживающего персонала.

Одним из широко распространенных средств автоматики является реле¹, представляющее собой прибор, который под воздействием какого-либо фактора (электрического, теплового, механического и т. д.), достигающего определенной величины, осуществляет скачкообразное изменение процесса, протекающего в управляемой им системе.

На тепловозах применяются реле, управляющие зарядом аккумуляторной батареи, переключающие тяговые электродвигатели с одной схемы соединения на другую, защищающие электрическое оборудование от токов

чрезмерной величины и замыканий на корпус тепловоза, дизель тепловоза — от недопустимо высокой температуры воды или пониженного давления смазочного масла, предотвращающие боксование колесных пар, дающие выдержку времени для разграничения отдельных процессов и т. д.

К числу наиболее простых по назначению и принципу действия относится реле управления. Это реле представляет собой небольшой контактор с различным числом замыкающих и замыкающих блокировочных контактов (рис. 205).

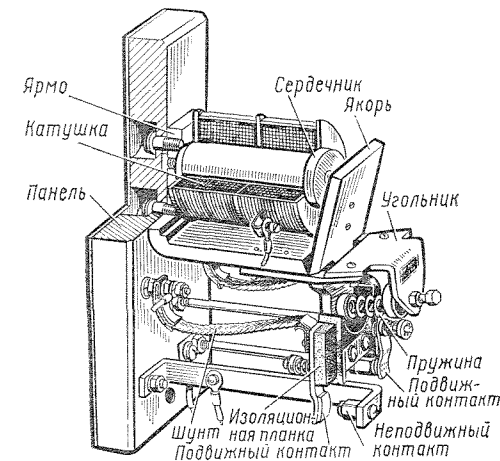


Рис. 205. Реле управления

¹ От французского слова *relayer* — сменять, заменять.

Если замкнуть электрическую цепь катушки, то намагниченный сердечник притянет якорь реле. Якорь поворачивается, обеспечивая включение замыкающих и отключение размыкающих блок-контактов. Реле управления в отличие от контакторов служат для дистанционного управления слаботочными цепями, т. е. цепями, в которых проходят небольшие токи.

На тепловозах применяется целый ряд реле управления.

Об их назначении и работе более подробно рассказано в гл. 20 при рассмотрении электрических схем управления пуском дизеля и др.

РЕЛЕ ОБРАТНОГО ТОКА

После пуска дизеля тепловоза начинает работать вспомогательный генератор. Его напряжение поддерживается постоянным с помощью регулятора напряжения. Все цепи управления тепловозом при этом могут питаться током от вспомогательного генератора, а аккумуляторная батарея должна быть подключена на заряд.

Ток от вспомогательного генератора в цепи управления тепловоза и на заряд аккумуляторной батареи проходит через специальный контактор, называемый контактором заряда батареи. Включением контактора заряда батареи управляет реле обратного тока.

Реле имеет три катушки: верхнюю — напряжения; среднюю — токовую и нижнюю — дифференциальную (встречную) (рис. 206). Все три ка-

тушки с помощью своих сердечников установлены на стальном основании, которое крепится к панели реле, изготовленной из изолирующего материала. Якорь реле, представляющий собой подвижную стальную пластину, может поворачиваться на держателе выступающей части сердечника токовой катушки. Нижний конец якоря снабжен подвижным контактом. неподвижный контакт установлен на изолирующей пластине специального кронштейна. Пружина реле прижимает якорь к сердечнику дифференциальной катушки.

На панели реле укреплены и резисторы. Катушка напряжения реле последовательно с резисторами включена на выводы вспомогательного генератора, и ток в ней пропорционален напряжению генератора. Токовая катушка соединена последовательно с якорем вспомогательного генератора и батареи. Зажимы дифференциальной катушки подключены к плюсовым выводам вспомогательного генератора и батареи. Поэтому ток в ней зависит от разности их напряжений. Если напряжение вспомогательного генератора меньше напряжения батареи, то по дифференциальной катушке проходит значительный ток и ее магнитный поток создает усилие, которое совместно с нажатием пружины удерживает якорь реле обратного тока в выключенном положении. Контакты реле разомкнуты. Контактор заряда батареи выключен. Когда напряжение вспомогательного генератора при пуске дизеля становится несколько больше (на 2—3 В) напряжения батареи, то в дифференциальной катушке меняется направ-

ление тока. В катушке напряжения ток возрастает вследствие повышения напряжения вспомогательного генератора. Магнитный поток этой катушки при ослабленном магнитном потоке дифференциальной катушки создает достаточное усилие, чтобы притянуть якорь, и реле срабатывает. Контакты реле, замыкаясь, создают цепь тока катушки контактора заряда батареи. Контактор включается. При этом через токовую катушку проходит ток нагрузки вспомогательного генератора. Размыкающие блокировочные контакты контактора заряда батареи вводят в цепь катушки напряжения реле добавочный резистор для снижения тока в ней и ее магнитного потока. Теперь реле подготовлено к отключению в случае понижения напряжения вспомогательного генератора. Однако при номинальном напряжении вспомогательного генератора реле остается включенным потому, что ослабленный магнитный поток катушки напряжения усиливается магнитным потоком токовой катушки.

Когда напряжение вспомогательного генератора снижается и становится ниже напряжения аккумуляторной батареи, то уменьшается ток в катушке напряжения и меняется направление тока в токовой катушке. Магнитный поток токовой катушки теперь дополнительно ослабляет поток катушки напряжения, и создаваемое им усилие становится недостаточным для удержания якоря. Реле отключается и разрывает цепь питания контактора заряда батареи, что приводит к его отключению.

Может быть, контактор заряда батареи можно всегда оставлять вклю-

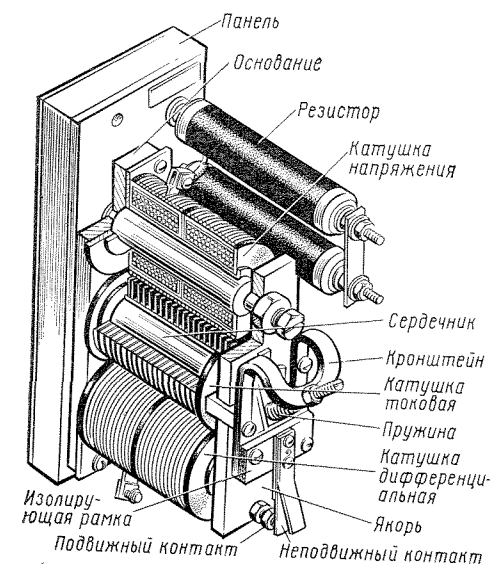


Рис. 206. Реле обратного тока

ченным? Нет, ни в коем случае нельзя. Если дизель будет остановлен, то вспомогательный генератор окажется включенным на зажимы аккумуляторной батареи. Сопротивление обмоток якоря и добавочных полюсов вспомогательного генератора мало, батарея будет разряжаться током большой величины. Это опасно и для батареи, и для вспомогательного генератора.

В последние годы на тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В контактор заряда аккумуляторной батареи заменили полупроводниковым (кремниевым) диодом, пропускающим ток лишь в одном направлении. Поэтому отпала необходимость в применении реле обратного тока. Через диод проходит значительный ток вспомогательного генератора (до 150 А), поэтому он

снабжен для охлаждения ребристым радиатором, обдуваемым воздухом. Подробно о полупроводниковых приборах рассказано в гл. 19.

РЕЛЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ (ПЕРЕХОДА)

Реле переключения автоматически управляют схемой соединения и ослабления возбуждения тяговых электродвигателей. На каждой секции тепловозов ТЭЗ, 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В установлено по два реле переключения — РП1 и РП2.

Реле переключения имеет катушки: напряжения и тока, сердечники которых укреплены на стальной пластине, установленной на панели (рис. 207). К кронштейну реле крепится изоляционная планка с неподвижными контактами. На этом же кронштейне на оси установлен якорь. Якорь по концам несет два подвижных контакта и два плунжера. Подвижные контакты гибкими проводами соединены с зажимами. При обесточенном реле его якорь пружиной прижат к токовой катушке. Контакты реле разомкнуты.

Катушка напряжения каждого реле переключения включена последовательно с резисторами на выводы тягового генератора. При таком включении по ней проходит ток, пропорциональный напряжению генератора. Токовая катушка каждого реле переключения включена параллельно одному из участков силовой цепи. Поэтому по катушке проходит ток, пропорциональный току силовой цепи, т. е. генератора.

При трогании тепловоза и в начальный период разгона ток генерато-

ра достигает максимальных величин, соответственно напряжение генератора остается относительно низким. Поэтому ток в катушке напряжения реле РП1 будет небольшим, а в токовой катушке — наибольшим. Магнитный поток токовой катушки вместе с пружиной создает усилие, удерживающее притянутым к сердечнику этой катушки нижний плунжер реле. Контакты реле остаются разомкнутыми.

По мере увеличения скорости движения тепловоза ток в силовой цепи уменьшается, а напряжение генератора увеличивается в соответствии с его внешней характеристикой. Поэтому ток в катушке напряжения реле возрастает, а в токовой — уменьшается. При заданной скорости тепловоза соотношение токов в катушках реле переключения РП1 становится таким, что усилие, создаваемое магнитным потоком катушки напряжения, преодолевает сопротивление пружины реле, а также усилие токовой катушки, притягивает верхний плунжер якоря, и реле срабатывает. Нижние контакты реле замыкают цепь катушек контакторов первой ступени ослабления возбуждения на тепловозе ТЭЗ или группового контактора на тепловозах 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В. Контакторы включаются и замыкают цепь резисторов первой ступени ослабления возбуждения тяговых электродвигателей тепловоза. В случае понижения скорости движения тепловоза (например, на подъеме) ток в катушке напряжения уменьшится настолько, что ее магнитный поток уже не сможет удержать якорь реле, токовая катушка притянет якорь, и реле отключится, восста-

навливая полное возбуждение тяговых электродвигателей.

Когда тепловоз достигает скорости, при которой должен осуществляться переход на вторую ступень ослабления возбуждения тяговых электродвигателей, срабатывает реле РП2, обеспечивая включение второй группы контакторов ослабления возбуждения на тепловозах ТЭЗ или второго группового контактора на тепловозах 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В.

В последние годы в тепловозостроении стали применять в качестве реле переключения более простое по конструкции дифференциальное реле. Реле (рис. 208) имеет также две катушки — напряжения и токовую и по принципу действия не отличается от рассмотренного выше реле переключения.

На тепловозах ТЭ1, ТЭ2, ТЭМ1 реле переключения служат для автоматического переключения тяговых электродвигателей с последовательного на последовательно-параллельное соединение и включения контакторов ослабления возбуждения тяговых электродвигателей.

Схемы включения тяговых двигателей на тепловозах были подробно рассмотрены в гл. 14.

РЕЛЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

В процессе длительной работы тепловоза изоляция токоведущих частей изнашивается. Она может разрушиться, и токоведущие части электрооборудования коснутся корпуса тепловоза, или, как говорят, замкнутся на корпус. При этом вследствие не-

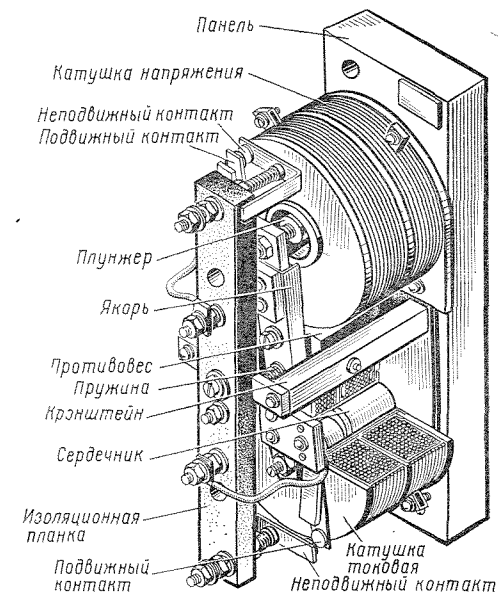


Рис. 207. Реле переключения

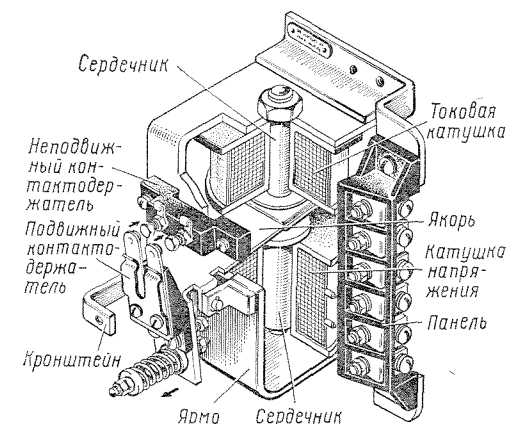


Рис. 208. Дифференциальное реле

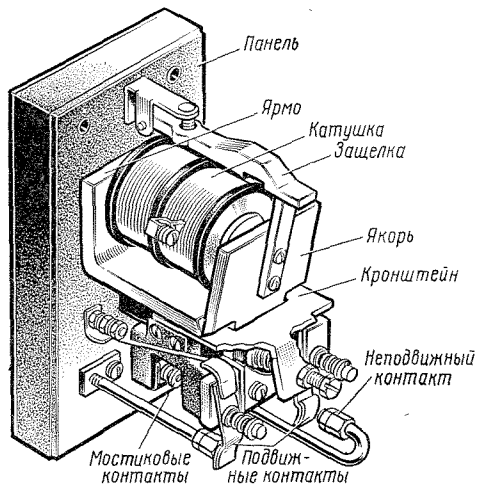


Рис. 209. Реле заземления

значительного электрического сопротивления силовой цепи создаются условия для ее короткого замыкания. Большой ток короткого замыкания весьма опасен для генератора, тяговых электродвигателей, соединительных проводов и часто ведет к тяжелым их повреждениям, пожару, угрожает жизни обслуживающего персонала.

Реле заземления обеспечивает защиту электрического оборудования силовой цепи тепловоза от замыканий на корпус.

Это реле контакторного типа (рис. 209) и по устройству похоже на реле управления. Реле имеет три группы блокировочных контактов, в том числе одну группу мостиковых. Якорь реле удерживается в отключенном положении пружиной. Катушка реле включена в силовую цепь тепловоза. Одним зажимом катушка

соединена с участком силовой цепи, который подходит к минусовым щеткам тягового генератора. Второй зажим соединен с корпусом тепловоза. Блокировочные контакты реле включены в цепь катушек контакторов, замыкающих цепи возбуждения возбудителя и тягового генератора. Если в силовой цепи нет замыканий на корпус, то катушка реле обесточена. Блокировочные контакты реле замкнуты и допускают включение контакторов возбуждения возбудителя и тягового генератора. Как только возникает замыкание силовой цепи на корпус, образуется следующий путь тока: плюсовые щетки генератора, токоведущие части силовой цепи, место замыкания на корпус, провод, соединяющий катушку реле с корпусом, катушка реле и далее на минусовые щетки тягового генератора. Когда сила тока в катушке достигнет 10 А, ее намагничивание становится достаточным, чтобы притянуть якорь. Якорь поворачивается, размыкающие блокировочные контакты разрывают цепь питания катушек контакторов возбуждения возбудителя и тягового генератора отключаются. Генератор практически прекращает вырабатывать электрическую энергию, благодаря чему предотвращаются повреждения устройств силовой цепи токами короткого замыкания.

Во включенном положении якорь реле удерживается специальной защелкой и освобождается вручную, для чего необходимо слегка поднять.

Замыкающие блокировочные контакты реле используются для сигнализации о срабатывании этого реле

на пультах управления обеих секций тепловоза.

При срабатывании реле заземления должно быть найдено и изолировано место замыкания на корпус. Срабатывание реле заземления может вызываться также пониженным сопротивлением изоляции силовой цепи при попадании воды, круговым огнем на коллекторах тяговых электрических машин и другими причинами.

РЕЛЕ БОКСОВАНИЯ

Боксование колесных пар тепловоза представляет собой крайне вредное явление. При боксовании резко снижается сила тяги локомотива, повышается износ бандажей колесных пар и рельсов, возникает искрение щеток тяговых электродвигателей и подгар их коллекторов. Якорь тягового электродвигателя боксующей колесной пары может разрушиться от действия чрезмерных центробежных сил. Естественно, что не следует допускать боксования колесных пар. Если же оно и возникло, то должно быть прекращено в кратчайший срок.

Как устранить боксование, если оно началось? Для этого нужно на короткое время быстро уменьшить ток тяговых электродвигателей. При этом уменьшится сила, с которой двигатели вращают колесные пары тепловоза, боксование прекратится. Далее нужно, не теряя времени, вновь увеличить ток и тяговое усилие тепловоза, чтобы не снижать скорости движения поезда.

Тепловозы снабжают реле боксования, которые, управляя переключе-

ниями в электрической схеме, стремятся прекратить боксование колесных пар. На каждой секции тепловозов ТЭЗ, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В устанавливаются по три реле боксования. На современных тепловозах их объединяют в блок боксования (рис. 210) и закрывают защитной крышкой. Каждое реле боксования «следит» за частотой вращения одной из трех групп тяговых электродвигателей.

Реле боксования состоит из ярма, электромагнитной катушки, поворачивающегося вокруг своей оси якоря с двумя подвижными контактами в его верхней части. Нижний конец якоря оттягивается пружиной, при этом замыкается подвижный контакт с неподвижным задним контактом.

На нижнем же конце якоря укреплен плунжер против сердечника ка-

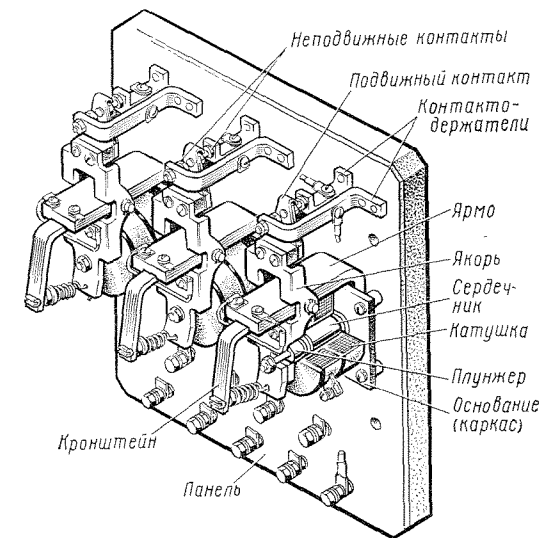


Рис. 210. Блок реле боксования

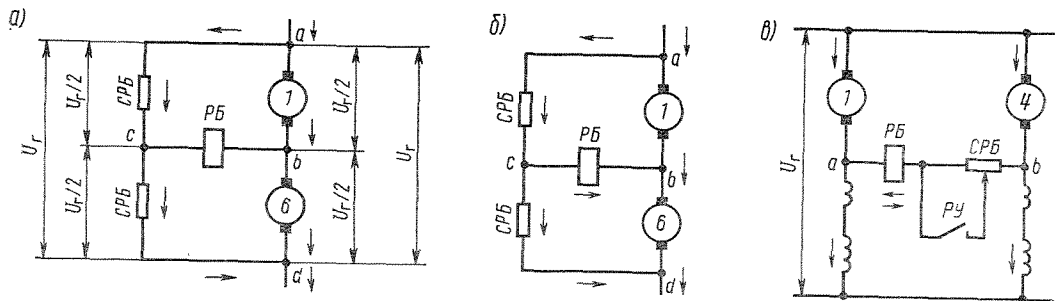


Рис. 211. Схемы включения катушки реле боксования: а — на тепловозе ТЭЗ при устойчивой работе тяговых электродвигателей; б — при боксовании первого электродвигателя на тепловозе ТЭЗ; в — на тепловозе 2ТЭ10В

тушки. При боксовании колесной пары по катушке проходит ток, ее сердечник намагничивается и притягивает плунжер. Якорь поворачивается, преодолевая натяжение пружины, подвижный контакт отходит от заднего неподвижного и замыкается с передним неподвижным контактом. В цепях управления тепловозом происходят переключения, приводящие к снижению возбуждения тягового генератора и силы тока в тяговых двигателях для прекращения боксования. Кроме того, замыкается цепь сигнального зуммера, оповещающего о боксовании.

Посмотрим, как включена катушка реле боксования и почему в ней при боксовании появляется ток?

На тепловозе ТЭЗ параллельно двум тяговым электродвигателям каждой группы, соединенным последовательно, включены два одинаковых резистора *СРБ* (рис. 211, а). Один конец катушки реле боксования *РБ* подсоединяется между тяговыми электродвигателями в точке *б*, другой — между двумя резисторами *СРБ*

в точке *с*. Напряжение, подведенное к точкам *а* и *д*, где соединяются цепи тяговых двигателей и резисторов реле боксования, падает двумя равными частями на каждом из двигателей и на каждом из резисторов. Электрические потенциалы точек подключения зажимов катушки реле боксования будут одинаковы, и по катушке реле ток не проходит.

Положение изменяется, когда одна из колесных пар начинает боксовать. Например, боксует первая колесная пара. Якорь тягового электродвигателя 1 вращается с повышенной частотой. Э. д. с. первого двигателя увеличивается, следовательно, возрастает и падение напряжения на нем. На электродвигателе 6 падение напряжения уменьшается, так как сумма падений напряжений на обоих двигателях остается равной напряжению генератора. Поэтому электрический потенциал точки *б* понижается. Цепь тока через резисторы *СРБ* остается прежней, электрический потенциал точки *с* практически не изменился. Таким образом, возникает разность

электрических потенциалов точек подключения зажимов катушки реле боксования. Через катушку потечет ток от точки с более высоким потенциалом к точке с более низким потенциалом, как показано на рис. 211, б.

При срабатывании реле боксования на тепловозе ТЭЗ его размыкающий блокировочный контакт (подвижный и задний неподвижные контакты) разрывает электрическую цепь катушки контактора возбуждения возбудителя. Контактор отключается, возбуждение возбудителя и, следовательно, тягового генератора резко уменьшается. Ток в силовой цепи снижается, что способствует прекращению боксования.

После прекращения боксования электрические потенциалы точек подключения катушки реле выравниваются, ток в катушке исчезает, реле отключается. Его размыкающий блокировочный контакт восстанавливает цепь катушки контактора возбуждения возбудителя. Контактор включается, возбудитель и генератор тепловоза получают полное возбуждение.

Замыкающий блокировочный контакт реле (подвижный и передний неподвижные контакты) управляет цепью питания звукового сигнала боксования.

Благодаря алюминиевому якорю реле боксования имеет незамкнутую магнитную систему. При срабатывании реле общий воздушный зазор в магнитной системе и, следовательно, магнитный поток в ней изменяются незначительно. Кроме того, торец плунжера имеет латунный диск, предупреждающий «прилипание» плунжера к сердечнику, т. е. удержание его

силой остаточного магнетизма. Благодаря этим мерам для отпадания якоря реле достаточно небольшого уменьшения тока в катушке. Поэтому снижение боксования колесных пар приводит к быстрому отключению реле и восстановлению мощности генератора и силы тяги локомотива.

Условия боксования после уменьшения возбуждения генератора могут сохраниться. Это приведет к повторным срабатываниям реле. Машинист должен принять меры для прекращения боксования. Следует перевести рукоятку контроллера на более низкие позиции и подать под колеса песок.

На тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В мощностью 2010 кВт (3000 л. с.) в секции применена параллельная схема включения всех тяговых электродвигателей (см. главу 14). В этом случае зажимы катушки каждого реле боксования присоединяются к минусовым выводам якорей двух тяговых электродвигателей попарно: первое реле к 1 и 4 двигателям, второе реле к 2 и 5 двигателям, третье реле к 3 и 6 двигателям.

При боксовании одной из двух колесных пар в связи с уменьшением тока и падения напряжения на обмотках главных и добавочных полюсов двигателя этой колесной пары по сравнению с двигателем небоксующей колесной пары образуется разность потенциалов точек подключения катушки реле, и по ней проходит ток, вызывающий срабатывание реле (рис. 211, в). Сработавшее реле боксования включает два реле управления, обеспечивающие необходимые

переключения в цепях возбуждения для снижения мощности тягового генератора приблизительно на 85—90%. Одновременно реле управления включает зуммер боксования. После прекращения боксования электрическая схема тепловоза производит автоматическое ступенчатое повышение мощности генератора. При этом уменьшается возможность повторного боксования колесных пар, исключаются неблагоприятные для тяговых электрических машин резкие колебания мощности. Кроме того, постепенное нагружение дизеля с высоким газотурбинным наддувом снижает дымность выпускных газов, предупреждает перегрев деталей.

РЕЛЕ ДАВЛЕНИЯ МАСЛА

Это реле служит для контроля за давлением масла, смазывающего и охлаждающего детали тепловозного дизеля. По принципу своей работы

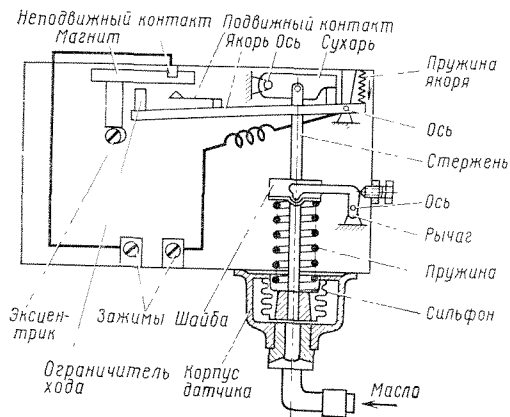


Рис. 212. Реле давления масла

реле напоминает манометр, но в отличие от манометра оно не показывает давление масла с помощью стрелки, а дает электрический сигнал при достижении определенного давления масла.

В коробке реле на оси установлен якорь (рис. 212). На якоре крепятся подвижный контакт и ограничитель хода. Пружина реле сжата и стремится повернуть якорь так, чтобы контакты реле замкнулись. Этому препятствует текстолитовый сухарь датчика давления масла. Сухарь может поворачиваться на своей оси и связан стержнем с гофрированной трубкой (сильфоном) датчика. Полость между корпусом датчика и сильфоном соединена трубкой с масляной системой двигателя. Сильфон сверху нагружен сжатой пружиной. В верхней части реле против ограничителя хода якоря размещен небольшой постоянный магнит.

При отсутствии давления масла пружина растягивает сильфон, стержень через сухарь поворачивает якорь, удерживая контакты реле разомкнутыми. По мере повышения давления масла сильфон сжимается, преодолевая нажатие пружины. Стержень поднимает сухарь, который освобождает якорь реле. Пружина поворачивает якорь, и при заданном давлении масла контакты реле замыкаются. Ограничитель хода притягивается постоянным магнитом. Когда давление масла падает, пружина растягивает сильфон, стержень через сухарь поворачивает якорь реле, размыкая контакты.

Постоянный магнит создает дополнительное усилие, удерживаю-

щее якорь реле, поэтому давление масла в момент отключения примерно на 0,0098—0,0196 МПа (0,1—0,2 кгс/см²) ниже, чем при срабатывании реле. В результате предотвращаются частые повторные срабатывания реле при давлении масла, близком к давлению включения реле (звонковая работа реле).

На тепловозах ТЭЗ, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В установлено на каждом дизеле по два реле давления масла. Блокировочные контакты первого реле включены в цепь блокировочного магнита центробежного регулятора дизеля. Реле выключается при снижении давления масла до 0,049—0,059 МПа (0,5—0,6 кгс/см²). Контакты реле размыкаются и разрывают цепь питания блокировочного магнита. Центробежный регулятор заставляет топливные насосы прекратить подачу топлива в цилиндры, и дизель останавливается. Это реле при работе дизеля действует постоянно. Второе реле давления масла выключается при снижении давления до 0,098—0,108 МПа (1—1,1 кгс/см²) на тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В и до 0,118 МПа (1,2 кгс/см²) на тепловозе ТЭЗ. Контакты реле размыкают цепь питания током катушки контактора возбуждения тягового генератора, контактор выключается и снимает возбуждение генератора. Нагрузка с генератора и дизеля снимается. Благодаря этому предупреждается перегрев деталей дизеля из-за недостаточной подачи масла.

Второе реле давления масла на тепловозах ТЭЗ действует при работе дизеля на 9—16-й позициях контроллера, а на тепловозах 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В — лишь на 12—15-й позициях контролле-

ра. Ограничение диапазона действия этого реле объясняется невозможностью поддерживать достаточно высокие давления масла при работе дизеля с пониженной частотой вращения коленчатого вала, так как при этом производительность масляного насоса также уменьшается.

Настройка реле производится с помощью регулировочного болта. Так, при ввертывании болта он поворачивает рычаг против часовой стрелки, сжимая пружину. Потребуется более высокое давление масла, чтобы преодолеть усилие пружины и обеспечить срабатывание реле.

Для упрощения конструкции и технологии изготовления контактной системы реле давления масла ее в последние годы заменили типовым микропереключателем, что не изменило принципа работы нового реле РДК-3. При этом достигается также унификация деталей с температурным реле типа ТРК-3, примененным на ряде тепловозов.

ТЕМПЕРАТУРНОЕ РЕЛЕ

Температурные реле (термореле) нашли на тепловозах широкое применение для защиты дизелей от чрезмерного повышения температуры воды, масла и автоматического управления работой холодильника. Дизель тепловоза ТЭЗ снабжен температурным реле ТРК-3, которое снимает с него нагрузку, если температура охлаждающей воды превысит предельно допустимую величину, равную 90°C. Схема реле показана на рис. 213.

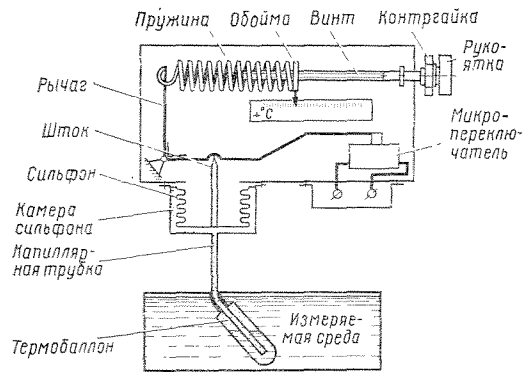


Рис. 213. Схема температурного реле

Термореле состоит из двух основных частей: датчика и исполнительного механизма, которые соединены капиллярной трубкой. Датчик представляет собой патрон, заполненный легкокипящей жидкостью. В качестве таких жидкостей используют ацетон, эфир, хлорметил и др. Датчик вводится в трубопровод с жидкостью, температура которой контролируется. По мере повышения температуры жидкости, протекающей по трубопроводу, легкокипящая жидкость в датчике испаряется и повышается давление образовавшегося насыщенного пара. Это давление по капиллярной трубке передается на сифлон исполнительного механизма. Сифлон сжимается, его шток, преодолевая усилие пружин, постепенно поворачивает рычаг реле против направления вращения часовой стрелки. Следовательно, термореле преобразует температуру жидкости в давление насыщенного пара легкокипящей жидкости и далее действует по принципу манометра. По-

этому реле такого типа получили название термоманометрических.

В тот момент времени, когда температура воды дизеля достигнет предельной величины (превысит 90°C), правый конец рычага отходит от штифта (кнопки) микропереключателя. Микропереключатель срабатывает и разрывает электрическую цепь катушки контактора возбуждения тягового генератора. Контактор замыкает цепь питания током обмотки возбуждения генератора. Нагрузка с дизель-генератора снимается, и дальнейший интенсивный нагрев охлаждающей воды предупреждается. Чтобы после охлаждения воды вновь нагрузить дизель, необходимо обязательно перевести рукоятку в нулевое положение. Благодаря этому предотвращаются большие толчки тока тягового генератора и силы тяги локомотива. Настройка термореле ТРК-3 на заданную температуру срабатывания производится с помощью регулировочного винта.

На тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В и ТЭП60 широко используются температурные термоманометрические реле типа КРД-2 с двумя термобаллонами, вставленными в трубопроводы воды и масла. Термореле отключает возбуждение тягового генератора, снимая нагрузку с дизеля, если температура воды превысит 95°C , а масла дизеля 85°C .

РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

Широкое применение реле времени нашли в системах управления тепловозами для обеспечения задан-

ной продолжительности ряда процессов, например предпусковой прокачки дизелей маслом, а также в целях разграничения времени переключения отдельных аппаратов. Для коротких выдержек времени (от 1 до 6 с) применяют электромагнитные реле времени, для более длительных выдержек (до 180 с) устанавливают электропневматические или полупроводниковые реле времени.

Электромагнитное реле времени типа РЭВ-812 имеет катушку, которая установлена на стальном сердечнике (рис. 214). Качающийся якорь реле удерживается в отключенном состоянии возвратной пружиной. В верхней части реле на изоляционных колодках установлены неподвижные контакты, а на якоре — подвижные контакты. Главной особенностью реле является применение массивного основания и демпфера, изготовленных из алюминия.

Ток, проходящий по катушке, создает магнитный поток, который преодолевает действие пружин и притягивает якорь реле к сердечнику. При включении реле спадающий ток катушки наводит э. д. с. взаимной индукции в основании и демпфере. Возникающие в них вихревые токи замедляют процесс снижения магнитного потока реле, обеспечивая задержку отпадания якоря реле. Реле РЭВ-812 создает выдержку времени в пределах 0,8 — 2,5 с, которую можно регулировать с помощью затяжки отжимной пружины или изменения толщины немагнитной прокладки якоря.

На тепловозах ТЭЗ, 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В электромагнитные реле вре-

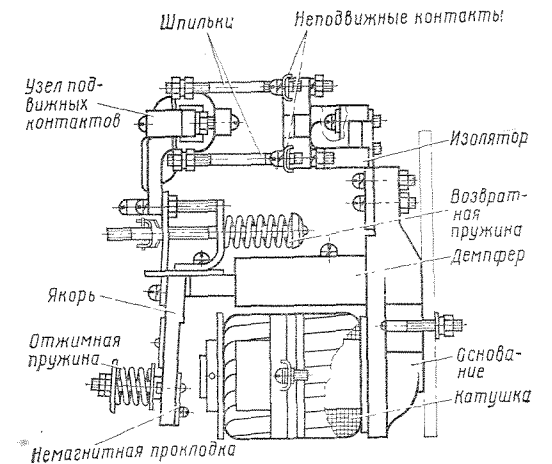


Рис. 214. Электромагнитное реле времени

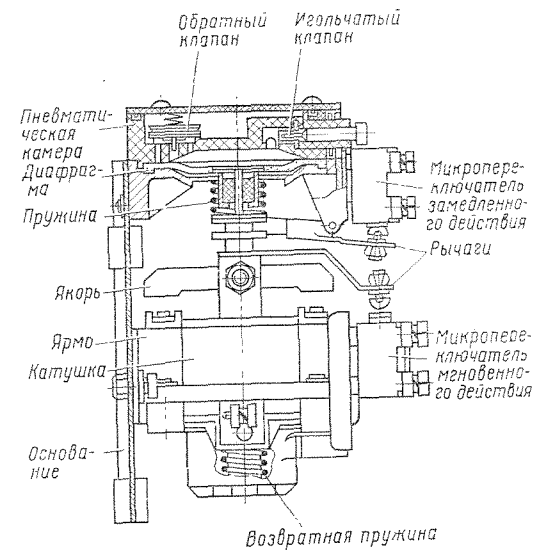


Рис. 215. Электропневматическое реле времени с двумя микропереключателями

мени устанавливаются в электрических цепях управления силовыми электропневматическими контакторами. При установке рукоятки контроллера в положение «Холостой ход» реле времени задерживает выключение силовых контакторов на 1,3—1,5 с, чтобы успело снизиться напряжение тягового генератора после снятия его возбуждения. Силовые контакторы выключаются при отсутствии тока в их цепи, в результате долговечность и надежность работы контакторов значительно повышаются. На тепловозах 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В электромагнитные реле времени применяются также для ступенчатого, постепенного восстановления мощности тягового генератора после прекращения боксования колесных пар.

Электропневматическое реле времени показано на рис. 215. В верхней части реле находится пневматическая камера с диафрагмой, игольчатым и обратным клапанами. Диафрагма соединена с верхней подвижной частью реле, которая под действием пружины диафрагмы стремится опуститься вниз. Этому препятствует нижняя подвижная часть, удерживаемая в верхнем крайнем положении с помощью более сильной возвратной пружины. Подвижные части реле воздействуют на два микропереключателя.

Электромагнитная система реле состоит из катушки, магнитного ярма и якоря. Верхним микропереключателем замедленного действия управляет пневматическая система реле, нижним микропереключателем мгновенного действия — электромагнитная система реле.

Все детали реле смонтированы на панели, которая в свою очередь крепится на амортизаторах к каркасу аппаратной камеры.

При обесточенной катушке электромагнитной системы подвижные детали реле под действием возвратной пружины находятся в крайнем верхнем положении. Если замкнуть цепь питания катушки реле, то магнитный поток втягивает якорь. Связанная с якорем нижняя подвижная часть реле опускается, сжимая возвратную пружину. Рычажок этой части переключает контакты микропереключателя мгновенного действия.

Верхняя подвижная часть реле под действием пружины начинает опускаться вниз и тянет за собой диафрагму. Над диафрагмой возникает разрежение, препятствующее ее движению. Диафрагма растягивается постепенно, по мере поступления воздуха через небольшое отверстие игольчатого клапана. Лишь в конце перемещения верхней подвижной части (до 90—50 с после включения катушки реле) ее рычажок, поворачиваясь вокруг упора, нажимает на штифт микропереключателя с выдержкой времени для переключения его контактов.

Скорость перемещения верхней подвижной части реле, а значит, и выдержка времени зависят от быстроты заполнения воздуха камеры над диафрагмой. Поэтому выдержку времени можно регулировать, изменяя положение иглы, в результате чего изменяется площадь отверстия, через которое воздух поступает в наддиафрагменную полость. При размыкании цепи катушки электро-

магнитная система реле перестает действовать, и возвратная пружина перемещает подвижные части реле в верхнее крайнее положение. Воздух из полости над диафрагмой быстро выходит через обратный клапан.

На тепловозах 2ТЭ10Л электропневматические реле времени обеспечивают прокачку масла перед пуском дизеля в течение 90 с и ограничивают время пуска дизеля (до 30 с) для предупреждения чрезмерного разряда аккумуляторной батареи.

Электропневматические реле времени широко применяются на тепловозах ТЭЗ и др. На тепловозах 2ТЭ10В находит применение более надежное полупроводниковое реле времени.

РЕГУЛЯТОР НАПЯЖЕНИЯ

Напряжение вспомогательного генератора тепловоза должно поддерживаться строго постоянным. Представим себе, что напряжение вспомогательного генератора понизилось. Тогда уменьшится возбуждение возбuditеля и тягового генератора, значит, снизится мощность тепловоза. Кроме того, аккумуляторная батарея не будет подзаряжаться, лампы дадут тусклый свет. Чрезмерное понижение напряжения вспомогательного генератора приведет к перегрузке дизеля тепловоза, перегоранию электроламп, ненормальному заряду батареи и т. д.

Якорь вспомогательного генератора приводится во вращение от колесчатого вала дизеля. По мере увеличения частоты вращения вала возрастает частота вращения якоря вспо-

могательного генератора, и его напряжение, если не принять специальных мер, будет повышаться. Напряжение генератора, кроме того, зависит и от тока его нагрузки (см. гл. 12).

Для поддержания постоянного напряжения вспомогательного генератора на тепловозах применяются регуляторы напряжения. Напряжение любого генератора зависит не только от частоты вращения, но и от возбуждения, т. е. от величины тока в обмотке главных полюсов. Регулятор напряжения автоматически изменяет величину тока возбуждения вспомогательного генератора так, что напряжение на его выводах практически остается всегда постоянным. Изменение тока возбуждения генератора достигается с помощью включения резисторов в цепь параллельной обмотки возбуждения.

Работу регулятора напряжения можно представить себе так. Включим резистор R в цепь обмотки OB возбуждения генератора $BГ$ (рис. 216). Этот резистор может закорачиваться контактами чувствительного элемента регулятора напряжения. Чувствительный элемент имеет катушку, которая включена на напряжение вспомогательного генератора. Сердечник катушки укреплен на ярме. Здесь же на оси установлен и якорь чувствительного элемента. Подвижный контакт чувствительного элемента расположен на якоре рядом с неподвижным контактом. Пружина стремится держать эти контакты замкнутыми.

При напряжении вспомогательного генератора ниже номинального ток

в катушке чувствительного элемента недостаточен, чтобы создаваемая им магнитодвижущая сила могла преодолеть натяжение пружины. Контакты чувствительного элемента замкнуты, резистор закорочен. В этом случае ток возбуждения вспомогательного генератора будет возрастать. Как только напряжение генератора несколько превысит номинальное, ток в катушке чувствительного элемента возрастет настолько, что магнитодвижущая сила становится достаточной для притяжения якоря чувствительного элемента. Контакты размыкаются, и в цепь обмотки возбуждения вспомогательного генератора вводится резистор. Величина сопротивления резистора подобрана так, что вследствие уменьшения возбуждения напряжение вспомогательного генератора обязательно начинает снижаться. Вследствие этого уменьшается и ток в катушке чувствительного элемента, сила ее магнитного притяжения становится недостаточной, пружина поворачивает якорь, контакты регулятора замыкаются, что приводит в конечном итоге к усилению возбуждения вспомогательного генератора.

Эти процессы непрерывно повторяются, якорь чувствительного элемента вибрирует, периодически замыкая контакты. Поэтому регуляторы напряжения такого типа получили название вибрационных. Напряжение вспомогательного генератора колеблется в небольших пределах около заданной номинальной величины и практически может считаться постоянным.

Вибрационными регуляторами напряжения типа СРН оборудовались первые отечественные тепловозы пос-

левоенной постройки. Реальные регуляторы отличались от изображенного на рис. 216 применением двух неподвижных контактов, между которыми вибрирует подвижный контакт. Это позволило обеспечить более тонкое ступенчатое регулирование напряжения вспомогательного генератора за счет включения различных по величине сопротивлений резисторов в цепь его обмотки возбуждения. Однако регуляторы оказались ненадежными в работе, допускали значительные колебания напряжения вспомогательного генератора. Поэтому были созданы более совершенные регуляторы напряжения типа ТРН, получившие наиболее широкое применение на магистральных и маневровых тепловозах.

Регулирование напряжения вспомогательного генератора ВГ регуляторы этого типа осуществляют с помощью многоступенчатого резистора, включенного в цепь обмотки возбуждения (рис. 217). Резисторы R_6 и R_7 регулятора напряжения имеют семь пар зажимов, оканчивающихся контактными пальцами. Эти пальцы попарно-последовательно замыкаются контактными брусом клиновидной формы, состоящим из колодки с контактными пластинами. Когда брус находится в верхнем крайнем положении, он замыкает все контактные пальцы, и регулируемый резистор оказывается целиком закороченным. Ток проходит через контактный брус, имеющий малое сопротивление, и достигает максимальной величины. В этом случае даже при наименьшей частоте вращения якоря вспомогательного генератора напряжение возрастает.

По мере опускания контактного бруса последовательно пара за парой размыкаются контактные пальцы резисторов. Когда резисторы будут введены в цепь целиком, возбуждение вспомогательного генератора понизится настолько, что даже при максимальной частоте вращения якоря его напряжение уменьшается. Контактный брус, вибрируя между контактными пальцами резисторов, поддерживает практически постоянным напряжение вспомогательного генератора. Благодаря большому количеству ступеней резисторов при размыкании каждой пары контактных пальцев имеется возможность незначительно изменять ток возбуждения. Следовательно, разрываемый ток также будет небольшим, контакты работают надежно, точность регулирования повышается.

Контактный брус приводится в движение системой электромагнитных катушек. Неподвижная катушка H регулятора напряжения ТРН вместе с сердечником установлена на ястре, которое крепится к остову регулятора. Подвижных катушек две: параллельная (катушка напряжения) — Π и последовательная (катушка тока) — T . Каркас подвижных катушек стойками соединен с контактными клиновидным брусом. Вся подвижная система подвешена на пружинах и может свободно перемещаться в вертикальном направлении.

Неподвижная катушка H последовательно с резисторами R_3, R_4, R_5 включена на выводы вспомогательного генератора. Подвижная катушка напряжения Π аналогичным образом включена на выводы вспомога-

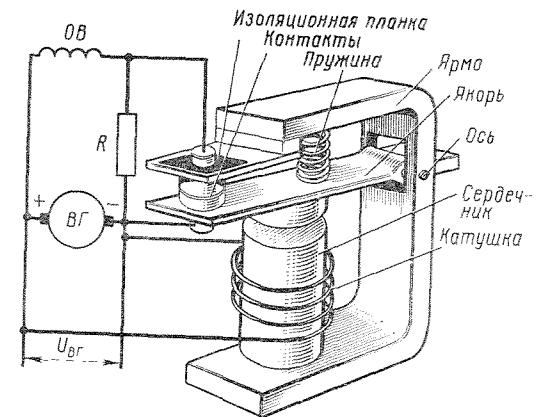


Рис. 216. Схема вибрационного регулятора напряжения

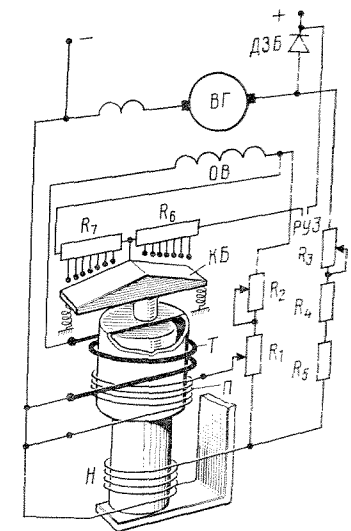


Рис. 217. Схема регулятора напряжения типа ТРН

го генератора, но в ее цепь дополнительно введена часть резистора R_1 . Имеется и вторая цепь питания током этой катушки: от плюсового вывода вспомогательного генератора через резисторы R_6 , R_7 , R_2 и верхнюю часть резистора R_1 . Подвижная токовая катушка T соединена последовательно с обмоткой возбуждения OB вспомогательного генератора $BГ$.

При прохождении тока по неподвижной H и подвижной $П$ катушкам их магнитные потоки взаимодействуют, в результате чего создается усилие, стремящееся опустить подвижную систему регулятора. Этому препятствуют пружины. Токовая катушка несколько ослабляет действие катушки напряжения, так как их магнитные потоки имеют противоположное направление.

Если напряжение вспомогательного генератора становится ниже номинального, то ток в катушках также уменьшается, ослабляется сила их взаимодействия, пружины поднимают контактный брус, замыкаются контактные пальцы, возбуждение вспомогательного генератора усиливается. При чрезмерном увеличении напряжения сила взаимодействия катушек преодолевает действие пружин, контактный брус опускается, замыкая дополнительные пары контактных пальцев, и возбуждение вспомогательного генератора ослабляется. Вибрируя, брус поддерживает напряжение вспомогательного генератора практически постоянным с почти незаметными колебаниями.

Важной особенностью регулятора напряжения типа ТРН является наличие у него специальных средств для

предотвращения значительных колебаний подвижной системы и контактного бруса, а значит, и напряжения вспомогательного генератора. При отклонении напряжения вспомогательного генератора от номинальной величины ток в катушках регулятора напряжения быстро изменяется, вызывая соответствующее перемещение контактного бруса. Напряжение же вспомогательного генератора вследствие его магнитной инерции восстанавливается значительно медленнее. Если не принято предупредительных мер, то подвижная система регулятора придет в колебательное движение от одного крайнего положения до другого. Напряжение вспомогательного генератора будет непрерывно меняться в довольно широких пределах, что является недопустимым.

В регуляторе напряжения типа ТРН колебания подвижной системы предотвращаются с помощью электрической обратной связи, в качестве которой служит цепь дополнительного питания током катушки напряжения через резистор R_2 . Вернемся к рассмотрению работы регулятора напряжения при пониженном напряжении вспомогательного генератора. Как только, восстанавливая напряжение, контактный брус замкнет первую очередную пару контактов резисторов R_6 и R_7 , сразу же уменьшится сопротивление резисторов как в цепи возбуждения вспомогательного генератора, так и в цепи дополнительного питания током катушки напряжения. Ток в катушке возрастет, усилится ее притяжение к неподвижной катушке. Тем самым предупреждается дальнейшее пе-

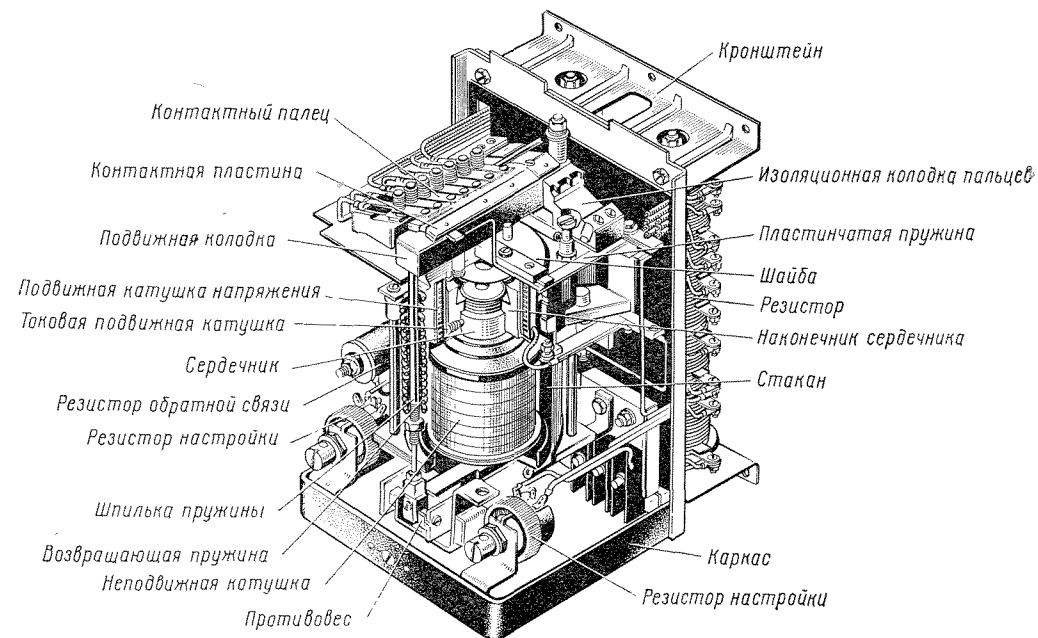


Рис. 218. Регулятор напряжения (без кожуха)

ремещение подвижной системы вверх. При повышенном напряжении вспомогательного генератора сверх номинального контактный брус разрывает очередную пару контактов, увеличивая сопротивление цепи возбуждения вспомогательного генератора. При этом одновременно уменьшается ток в катушке напряжения, ослабляется сила взаимодействия катушек регулятора напряжения и предупреждается дальнейшее перемещение подвижной системы вниз.

С увеличением частоты вращения коленчатого вала дизеля и якоря вспомогательного генератора требуется меньший по величине ток возбуждения вспомогательного генератора

для поддержания его напряжения постоянным. Снижение тока возбуждения достигается за счет последовательного увеличения количества участков резисторов R_6 и R_7 , введенных контактным брусом в цепь обмотки возбуждения вспомогательного генератора. Одновременно уменьшается величина тока, проходящего по катушке напряжения через резистор R_2 . Подвижная система регулятора напряжения будет уравниваться за счет увеличения тока в катушках, проходящего через резисторы R_3 , R_4 , R_5 , а это возможно только при условии повышения поддерживаемого напряжения вспомогательного генератора. Для того чтобы предупредить

указанное повышение напряжения, регулятор типа ТРН снабжен токовой подвижной катушкой T . Как уже отмечалось, эта катушка включена последовательно с обмоткой возбуждения вспомогательного генератора и действует навстречу катушке напряжения. При снижении тока возбуждения вспомогательного генератора уменьшается ток в катушке T , и она в меньшей мере ослабляет действие катушки напряжения. Благодаря этому суммарное взаимодействие подвижных и неподвижных катушек практически не зависит от величины тока возбуждения вспомогательного генератора. Напряжение вспомогательного генератора поддерживается постоянным с точностью до $\pm 1\%$ В при любой частоте вращения коленчатого вала дизеля.

Таким образом, высокая точность регулирования напряжения вспомогательного генератора достигается применением в регуляторе напряжения ТРН многоступенчатого сопротивления, управляющего током возбуждения и высокими динамическими качествами регулятора.

Общий вид регулятора напряжения типа ТРН со снятым защитным кожухом показан на рис. 218. Здесь хорошо видны его неподвижная и подвижная катушки, подвижная колодка с наклонными контактными пластинами, образующими контактный брус, и контактные пальцы. Резисторы R_6 и R_7 (обозначения согласно рис. 217), изменяющие ток возбуждения вспомогательного генератора, смонтиро-

ваны на задней стенке регулятора напряжения. На нижних участках их фарфоровых столбиков находятся резисторы R_4 и R_5 . Резисторы настройки (реостаты) R_2 и R_3 вынесены вперед для удобства наладки регулятора.

Подвижная система регулятора напряжения подвешена на пластинчатых пружинах. Две растянутые витые пружины через свои шпильки стремятся поднять подвижную систему в верхнее положение. В нижний конец передней шпильки упирается короткое плечо противовеса, который может поворачиваться вокруг своей оси. При резких толчках в процессе движения тепловоза противовес препятствует перемещению подвижной системы регулятора напряжения и, следовательно, предупреждает случайные колебания напряжения вспомогательного генератора.

Все части регулятора напряжения монтируются на его остоле, который крепится к каркасу аппаратной камеры с помощью кронштейнов.

Конструкция регулятора напряжения ТРН совершенствовалась: были применены конденсаторы для снижения искрения между контактными пальцами и пластиной, левый резистор (реостат) настройки заменен трубчатым резистором и т. д.

В последние годы на новых тепловозах широкое применение получили полупроводниковые регуляторы напряжения. Устройство и работа таких регуляторов рассмотрены ниже после ознакомления читателя с основами полупроводниковой техники.

ТРАНСФОРМАТОРЫ В СИСТЕМАХ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
МОЩНОСТИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

Для передачи и распределения электрической энергии с изменением напряжения в различные цепи электросхемы тепловоза используются трансформаторы. Наиболее широко их применяют в устройствах автоматического регулирования мощности дизель-генераторов.

Трансформатором называют электромагнитный аппарат, осуществляющий преобразование электрической энергии переменного тока одного напряжения в энергию переменного тока другого напряжения без изменения частоты тока.

Простейший однофазный трансформатор состоит из двух неподвижных катушек медного изолированного провода, расположенных на стальном замкнутом сердечнике (рис. 219). Одну из катушек с числом витков провода w_1 подключают к внешнему источнику переменного тока и называют ее *первичной обмоткой*. К другой катушке — *вторичной обмотке* с числом витков провода w_2 — присоединяют потребитель энергии (нагрузку). Переменный ток первичной обмотки создает в сердечнике трансформатора

изменяющийся магнитный поток. Этот поток пронизывает витки первичной и вторичной обмоток трансформатора и индуцирует в каждом из них одинаковую электродвижущую силу. Поскольку витки обмотки соединены последовательно, то ее электродвижущая сила будет прямо пропорциональна числу витков.

Соотношение электродвижущих сил обмоток трансформатора получило название коэффициента трансформации:

$$k = \frac{E_1}{E_2}.$$

При замыкании цепи вторичной обмотки выключателем в ней под действием э. д. с. взаимной индукции возникает электрический ток. Приложенное к первичной обмотке напряжение U_1 уравнивается падением напряжения в обмотке и электродвижущей силой самоиндукции E_1 . Эту э. д. с. можно рассматривать как противоэлектродвижущую силу, потому что она направлена встречно к подведенному напряжению. Электродвижущая сила взаимной индукции во вторичной обмотке E_2 равна сумме напряжения на ее выводах U_2 и внутреннего падения напряжения в ней. При разомкнутой цепи вторичной обмотки ток в первичной обмотке (ток холостого хода)

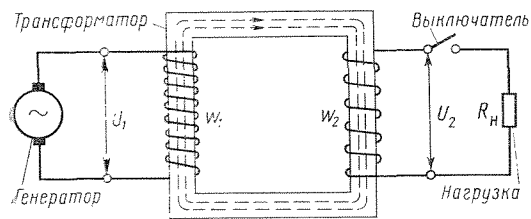


Рис. 219. Схема простейшего трансформатора

очень мал. Небольшой ток холостого хода создает весьма незначительное падение напряжения в активном сопротивлении первичной обмотки, и э. д. с. самоиндукции почти достигает величины приложенного внешнего напряжения. Напряжение на выводах вторичной обмотки при разомкнутой ее цепи равно индуцируемой в ней э. д. с. Поэтому коэффициент трансформации может быть с достаточной точностью определен при работе трансформатора на холостом ходу как отношение величин измеренных напряжений на выводах его обмоток.

Если число витков вторичной обмотки больше, чем первичной, то трансформатор называют *повышающим*, так как он повышает напряжение. Обратное соотношение числа витков обмоток характерно для понижающего трансформатора. Обмотка, соединенная с цепью более высокого напряжения, получила название обмотки высшего напряжения. Другая обмотка, соединенная с цепью более низкого напряжения, называется обмоткой низшего напряжения. Так, в повышающем трансформаторе первичная обмотка является обмоткой низшего напряжения, а вторичная — обмоткой высшего напряжения. Коэффициент трансформации обычно определяется как отношение

электродвижущей силы обмотки высшего напряжения к электродвижущей силе обмотки низшего напряжения, поэтому его величина всегда больше единицы.

При включении нагрузки во вторичной цепи создается переменный электрический ток I_2 . Ток, проходя по вторичной обмотке, приводит к некоторому размагничиванию сердечника трансформатора. В результате снижается и э. д. с. самоиндукции в первичной обмотке, увеличивается ток I_1 в первичной цепи. Чем ток больше во вторичной цепи, тем сильнее размагничивается сердечник и больше сила тока в первичной цепи.

Потери энергии в трансформаторах весьма малы, поэтому их к. п. д. достигает 97—99%. При таком высоком к. п. д. электрическая мощность, отдаваемая потребителю, лишь незначительно меньше, чем мощность, подводимая к трансформатору. Поэтому токи в обмотках трансформатора приблизительно обратно пропорциональны напряжениям на их выводах:

$$\frac{I_2}{I_1} \approx \frac{U_1}{U_2}.$$

Индуцируемая в обмотках трансформатора э. д. с., передаваемая им мощность зависят от величины создаваемого в сердечнике магнитного потока.

Для получения сильных магнитных потоков сердечники трансформаторов изготовляют замкнутыми из материалов с высокой магнитной проницаемостью, получивших название ферромагнитных. Обычно в сердечниках трансформаторов применяют листовую трансформаторную

сталь толщиной 0,2—0,5 мм для снижения потерь от вихревых токов.

Катушки обмоток трансформатора устанавливают на стержни, магнитопровод замыкают с помощью ярма. Стержни и ярмо образуют сердечник трансформатора. Сердечники выполняют стержневого или броневые типа.

В броневом трансформаторе обмотки окружены сердечником, напоминая броню.

Электродвижущую силу самоиндукции в первичной обмотке трансформатора можно непосредственно использовать для получения тока во вторичной цепи. Для этого вторичная цепь с резистором нагрузки R_n подключается на часть витков BO первичной обмотки AO (рис. 220). Такой электромагнитный аппарат с одной обмоткой получил название *автотрансформатора*. Соотношения э. д. с., напряжений и силы тока в первичной и вторичной цепях подчиняются закономерностям, справедливым для обычного трансформатора, и зависят от числа витков w_1 и w_2 в обмотке автотрансформатора. На рис. 220 показан понижающий трансформатор $U_1 > U_2$, так как в нем число витков в первичной части обмотки больше, чем во вторичной. Если же поменять точки подключения источника переменного тока и нагрузки, то этот же автотрансформатор будет работать как повышающий. Токи первичной I_1 и вторичной I_2 цепей в части обмотки BO имеют противоположное направление, и суммарный ток равен разности токов $I_2 - I_1$. Автотрансформаторы обычно применяются в случаях, когда коэффициент трансформации близок к 1. При этом суммарный ток в части обмотки BO будет

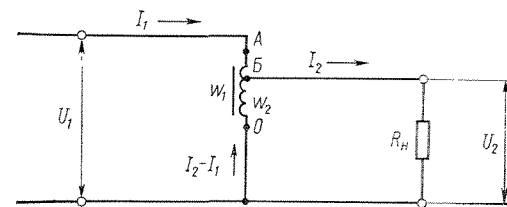


Рис. 220. Схема автотрансформатора

незначительным, и ее можно изготовить из провода малого сечения, добившись значительной экономии меди.

Трансформатор может иметь несколько вторичных обмоток, в том числе автотрансформаторных, для питания энергией различных вторичных цепей. Трехфазный ток также легко трансформировать. Трехфазные трансформаторы выполняются с тремя стержнями, на каждом из которых располагают по одной первичной и вторичной обмотке фаз.

Трансформаторы нагреваются из-за потерь энергии в них. Небольшие трансформаторы, применяемые на тепловозах, имеют воздушное охлаждение и отдают тепло непосредственно в окружающий воздух. Более мощные трансформаторы снабжают масляным охлаждением для интенсивного отвода тепла от обмоток. После подробного рассмотрения принципов работы легко разобраться в устройстве тепловозных трансформаторов.

От распределительного трансформатора на тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В и ТЭП60 получают питание цепи переменного тока измерительных трансформаторов тока и напряжения, амплитуды возбуждения возбудителя и индуктивного датчика объединенного регулятора дизеля (рис. 221).

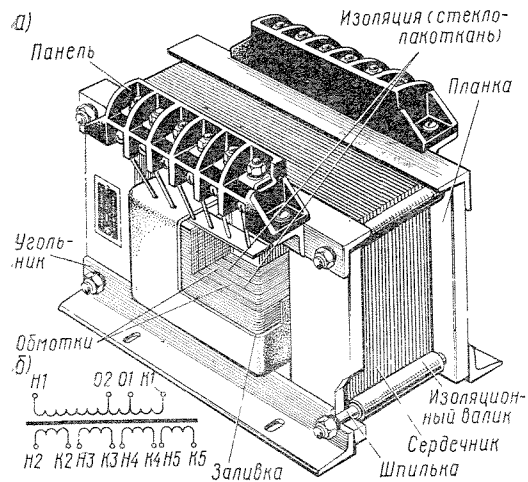


Рис. 221. Распределительный трансформатор тепловоза 2ТЭ10Л:

а — общий вид; б — электрическая схема

Сердечник трансформатора броневого типа набран из листов электро-технической стали толщиной 0,2 мм. Листы стянуты стальными шпильками и угольниками, на которые трансформатор устанавливается на тепловозе.

Трансформатор имеет первичную обмотку $N1-K1$, включающую в себя две автотрансформаторные обмотки $O1-K1$, $O2-K1$ и четыре вторичных обмотки $N2-K2$, $N3-K3$, $N4-K4$ и $N5-K5$.

Первичная обмотка получает питание от подвозбудителя тепловоза; она выполнена из 77 витков провода диаметром 1,95 мм и рассчитана на номинальный ток до 11 А при напряжении 100 В. Автотрансформаторная обмотка $O2-K1$ имеет 47 витков и используется для питания током амплитаста. Вторая автотрансформаторная обмотка $O1-K1$ и три вторичные обмотки

$N2-K2$, $N3-K3$, $N4-K5$ содержат по 40 витков провода. От них получают переменный ток четыре измерительных трансформатора постоянного тока. Последняя вторичная обмотка $N5-K5$ из 24 витков провода служит для питания током измерительного трансформатора постоянного напряжения. Кроме того, от выводов $O2-O1$ двух автотрансформаторных обмоток получает питание цепь индуктивного датчика объединенного регулятора. Поэтому средние семь витков первичной обмотки как бы образуют третью автотрансформаторную обмотку.

Вторичные обмотки распределительного трансформатора намотаны из изолированного провода диаметром 1,08 мм. Обмотки отделены одна от другой изоляцией из стеклолакоткани и снаружи защищены монолитной заливкой. В верхней части на изолирующих панелях трансформатор имеет набор зажимов, к которым присоединены выводы обмоток трансформатора.

На тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В и ТЭП60, кроме того, применяются стабилизирующий трансформатор для улучшения динамических характеристик системы возбуждения тягового генератора, а также небольшие трансформаторы в тахометрическом блоке и ряде других устройств.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ

Магнитные усилители широко применяются на отечественных тепловозах в системах регулирования мощности дизель-генераторов и в других устройствах автоматики.

Работа магнитных усилителей основана на использовании законов прохождения переменного тока в электрических цепях и физических свойств ферромагнитных материалов. Магнитный усилитель имеет сердечник, на который надеты катушки обмоток (рис. 222). Сердечник изготавливают из электротехнической стали или других ферромагнитных материалов, например из пермаллоя. Катушки $P1$ и $P2$ рабочей обмотки усилителя включены в цепь переменного тока. В обмотку управления $У1$ подводится постоянный ток. Рабочая обмотка магнитного усилителя представляет собой индуктивное сопротивление.

При описании возбудителей с расщепленными полюсами (см. гл. 13) подробно рассматривался процесс намагничивания ферромагнитных сердечников. Если вначале с увеличением магнитодвижущей силы пропорционально ей возрастает магнитный поток и магнитная индукция, то при наступлении магнитного насыщения материала сердечника практически прекращается изменение магнитной индукции, как бы ни увеличивали мы магнитодвижущую силу за счет повышения величины тока в обмотке. Явление магнитного насыщения ферромагнитных материалов использовано в магнитном усилителе.

Вследствие большого индуктивного сопротивления рабочей обмотки при отсутствии тока в обмотке управления сила тока в цепи рабочей обмотки будет весьма невелика. Если по обмотке управления пропустить постоянный ток и довести сердечник до магнитного насыщения, то переменный ток рабочих обмоток уже не будет создавать до-

полнительного изменяющегося магнитного потока. Индуктивное сопротивление рабочих обмоток резко снизится, и в соответствии с законом Ома ток, протекающий по этим обмоткам, значительно увеличится. При постепенном увеличении тока в обмотке управления также постепенно снижается переменный магнитный поток, создаваемый рабочими обмотками, и нарастает ток в цепи этих обмоток.

В магнитных усилителях устанавливаются две катушки $P1$ и $P2$ рабочей обмотки (см. рис. 222). Ими создаются согласные по направлению магнитные потоки, замыкающиеся во внешнем кольце магнитопровода усилителя. В среднем стержне с обмоткой управления магнитные потоки рабочих обмоток имеют противоположное направление, взаимокompенсируются и не индуктируют э. д. с. в обмотке управления. Появление трансформаторной э. д. с. в управляющей обмотке могло бы привести к нарушению работы цепей управления.

Обмотка управления потребляет небольшую мощность. Благодаря этому с помощью небольшого тока, затрачивая незначительную мощность, можно регулировать в широких пределах достаточно большую по величине мощность нагрузки. Отсюда такие аппараты получили свое наименование *усилителей*.

Магнитный усилитель можно рассматривать и как регулируемый резистор в цепи переменного тока, изменение сопротивления которого производится с помощью управляющего постоянного тока.

Нагрузка $R_{н}$, т. е. объект, в котором ток регулируется с помощью маг-

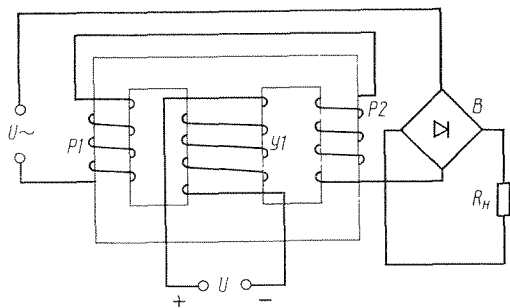


Рис. 222. Схема магнитного усилителя

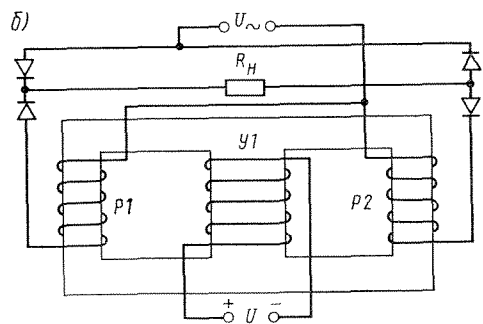
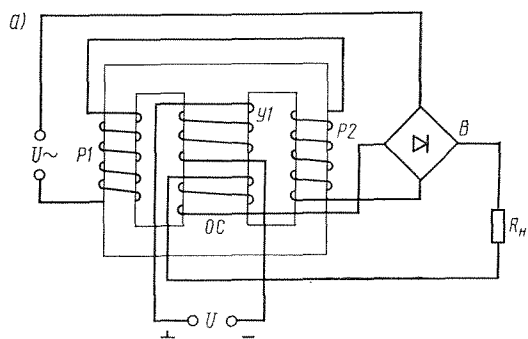


Рис. 223. Схемы магнитных усилителей с обратными связями:
а — внешней; б — внутренней

нитного усилителя, включается в цепь рабочих обмоток. Нагрузкой магнитных усилителей часто являются обмотки возбуждения генераторов. Чтобы через нагрузку проходил постоянный, а не переменный ток, в цепь включается выпрямительный мост B .

Отношение тока нагрузки к току в обмотке управления называют *коэффициентом усиления магнитного усилителя по току*, а отношение мощностей нагрузки и управления — *коэффициентом усиления по мощности*. Коэффициенты усиления обычных магнитных усилителей обычно лежат в пределах от 50 до 200.

Увеличения коэффициентов усиления магнитных усилителей достигают применением обратной связи. Схемы таких усилителей показаны на рис. 223. Усилитель оборудуется дополнительной обмоткой обратной связи OC (рис. 223, а), которая устанавливается вместе с обмоткой управления и включается последовательно с внешней нагрузкой R_H . Через обмотку обратной связи проходит уже выпрямленный выходной ток рабочих обмоток. Создаваемый ею магнитный поток усиливает магнитный поток обмотки управления $У1$. В процессе работы магнитного усилителя при увеличении тока в обмотке управления увеличивается ток рабочих обмоток и одновременно возрастает ток в обмотке обратной связи, так как она включена последовательно с нагрузкой. Поэтому обмотка обратной связи усиливает действие обмотки управления. При небольшом увеличении тока управления происходит резкое изменение тока нагрузки. В рассмотренном усилителе была применена специальная обмотка обратной

связи. Такие магнитные усилители называют *усилителями с внешней обратной связью*. В качестве обмоток обратной связи могут быть использованы и рабочие обмотки (рис. 223, б). В этом случае они как бы берут на себя дополнительную роль, а специальной обмотки обратной связи не имеется. Последовательно с каждой рабочей обмотки включается выпрямитель. Поэтому через катушки рабочих обмоток ток проходит только в одном направлении. Каждая катушка работает лишь в течение полупериода изменения величины переменного тока. В результате рабочие катушки создают магнитный поток одного направления, совпадающего с направлением магнитного потока управляющей (регулирующей) обмотки. Таким образом, рабочие обмотки усиливают действие регулировочной обмотки, увеличивая коэффициент усиления. Такая *система обратной связи* получила название *внутренней*. Внутренняя обратная связь упрощает устройство магнитного усилителя, так как не требует установки дополнительной обмотки.

Рассмотренные выше обратные связи являются *положительными*, приводящими к увеличению коэффициента усиления магнитного усилителя. Могут применяться при необходимости и отрицательные обратные связи, снижающие коэффициент усиления.

Магнитные усилители, используемые в электрических схемах тепловозов для регулирования мощности тяговых генераторов, имеют внутреннюю положительную обратную связь. Они получили название *амплистатов*.

Само слово амплистат состоит из двух частей: *ампли* — происходит от

латинского слова *amplificatio* — усиление (увеличение) и *стат* — от греческого слова *statos* — стоящий (неподвижный). Таким образом, в переводе амплистат — это статический (неподвижный, без вращающихся частей) усилитель. Коэффициент усиления по мощности магнитных усилителей с обратной связью очень велик. У тепловозных амплистатов он составляет около 50 000.

При наличии обратной связи даже в случае отсутствия тока в обмотке управления магнитный усилитель подмагничивается рабочими обмотками, и ток нагрузки достигает значительной величины. Если теперь пропускать ток по обмотке управления в том направлении, при котором создаваемый ею магнитный поток будет усиливать намагничивающее действие рабочих обмоток, то выходной ток усилителя возрастет.

Изменение направления тока в обмотке управления вызовет размагничивание усилителя и снижение выходного тока вплоть до определенной наименьшей величины. Отношение наибольшего выходного тока магнитного усилителя к наименьшему называют *кратностью выходного тока усилителя*. Большая кратность выходного тока — очень важное достоинство магнитных усилителей.

В магнитных усилителях часто применяется несколько обмоток управления. При этом ток нагрузки усилителя могут независимо регулировать ряд различных автоматических устройств. Величина тока нагрузки будет определяться алгебраической суммой магнитодвижущих сил обмоток управления.

Показанные на рис. 222 и 223 магнитные усилители работают на однофазном переменном токе. Кроме того, применяются трехфазные магнитные усилители, состоящие как бы из трех однофазных усилителей. Трехфазные магнитные усилители были использованы в электросхемах тепловозов ТЭ10 для регулирования тока в обмотке независимого возбуждения тягового генератора.

На тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В и ТЭП60 однофазные амплистаты при-

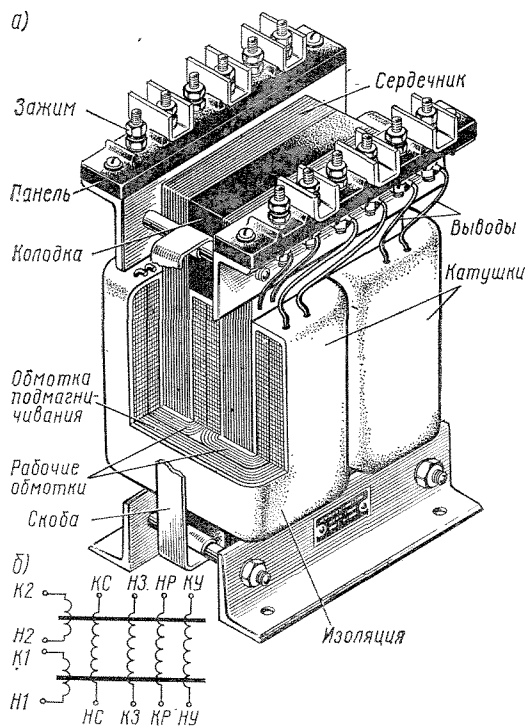


Рис. 224. Амплистат возбуждения тепловоза 2ТЭ10Л:

а — общий вид; б — электрическая схема

менены в качестве основного аппарата управления мощностью тягового генератора.

Амплистат выполнен с двумя магнитными сердечниками (магнитопроводами), набранными из листов электротехнической стали толщиной 0,35 мм (рис. 224). На каждом сердечнике расположено по одной катушке Н1-К1 и Н2-К2 рабочей обмотки. Четыре обмотки подмагничивания (управления) — задающая, управляющая, регулировочная и стабилизирующая — охватывают оба сердечника. Рабочая обмотка амплистата включена последовательно с выпрямителем в цепь питания обмотки независимого возбуждения от подвозбудителя переменного тока. Обмотки подмагничивания питаются постоянным током от источников:

задающая обмотка НЗ — КЗ — от бесконтактного тахометрического блока или тахогенератора на тепловозах первых лет постройки;

управляющая обмотка НУ — КУ — от распределительного трансформатора через трансформаторы постоянного тока и напряжения и селективный узел электрической схемы;

регулирующая обмотка НР — КР — от распределительного трансформатора через индуктивный датчик объединенного регулятора и выпрямитель;

стабилизирующая обмотка НС — КС — от стабилизирующего трансформатора через выпрямитель.

При этом задающая обмотка создает основную положительную магнитодвижущую силу подмагничивания. Регулирующая обмотка усиливает подмагничивание амплистата.

Магнитодвижущая сила управляющей обмотки направлена встречно магнитодвижущей силе задающей и регулировочной обмоток, поэтому управляющая обмотка разматывает амплистат. Стабилизирующая обмотка получает питание только при переходных процессах возбудителя для сглаживания этих процессов и повышения устойчивости работы схемы.

Следовательно, рабочие обмотки амплистата являются регулируемым индуктивным сопротивлением в цепи возбуждения возбудителя. Величина сопротивления изменяется в результате совместного действия четырех обмоток управления. Чем больше ток в задающей и регулировочной обмотках (ток уставки), тем значительнее выходной ток амплистата и выше напряжение возбудителя и тягового генератора. С увеличением тока в управляющей обмотке вследствие ее разматывающего действия уменьшается выходной ток амплистата, соответственно снижается напряжение возбудителя и тягового генератора.

При работе дизеля с заданной частотой вращения коленчатого вала напряжение тахометрического блока сохраняется постоянным, поэтому остается постоянной и магнитодвижущая сила задающей обмотки. С увеличением частоты вращения вала дизеля по позициям контроллера пропорционально повышаются выходное напряжение тахометрического блока, ток в задающей обмотке амплистата, ток возбуждения возбудителя, его напряжение и напряжение тягового генератора. Схема питания управляющей обмотки обеспечивает регу-

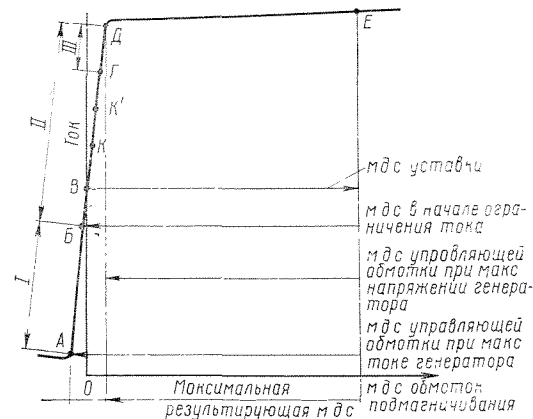


Рис. 225. Характеристика амплистата возбуждения

лирование тока в ней в зависимости от силы тока и напряжения тягового генератора с целью получения его селективной характеристики.

Ток в регулировочной обмотке амплистата изменяется с помощью индуктивного датчика объединенного регулятора частоты вращения и мощности дизеля таким образом, чтобы мощность тягового генератора сохранялась постоянной на гиперболическом участке его внешней характеристики. Следовательно, магнитный поток регулировочной обмотки корректирует суммарное подмагничивание сердечника амплистата, преобразуя линейный участок селективной характеристики тягового генератора и гиперболический. Подробнее работа индуктивного датчика регулятора рассмотрена в гл. 8.

Рабочая обмотка амплистата выполнена из 236 витков медного провода диаметром 1,35 мм. Номиналь-

ная величина напряжения питания цепи рабочей обмотки равна 60 В, ток продолжительного режима достигает 8,5 А. Обмотки управления рассчитаны на номинальный ток до 1,4 — 1,5 А, изготовлены из более тонкого медного провода диаметром 0,8 мм. Число витков задающей и управляющей обмоток равняется 500, а корректирующей регулировочной — 200. В рабочей части характеристики (рис. 225) внешний ток амплистата изменяется от 0,2 до 9 А, т.е. кратность выходного тока равна 45 и является вполне достаточной для регулирования возбуждения тягового генератора в необходимых пределах.

ТРАНСФОРМАТОРЫ ПОСТОЯННОГО НАПЯЖЕНИЯ И ТОКА

При рассмотрении работы амплистата уже отмечалось, что для образования необходимой внешней характеристики тягового генератора потребовалось осуществить взаимосвязь рабочего тока амплистата с напряжением и током генератора. В амплистате для этого служит управляющая размагничивающая обмотка. В качестве источников ее питания применены вторичные обмотки распределительного трансформатора, в цепи которых включены трансформаторы постоянного напряжения и тока. Следовательно, на них возлагается задача регулирования тока в управляющей обмотке в зависимости от напряжения и тока тягового генератора. Уже названия этих электрических аппаратов показывают, что один из них осуществляет регулирование амплистата по

величине напряжения генератора, а второй — по величине тока генератора.

По своему принципу действия трансформаторы постоянного напряжения и тока представляют собой простейшие магнитные усилители с одной рабочей и одной управляющей обмотками без обратных связей.

Трансформатор постоянного напряжения (рис. 226, а) имеет два тороидальных (круглых) сердечника, которые изготовлены из ленты пермаллоя толщиной 0,2 мм. Пермаллой представляет собой сплав железа и никеля с высокими ферромагнитными свойствами. На каждом сердечнике расположено по одной катушке рабочей обмотки; обмотка управления охватывает оба сердечника. Обмотки выполнены из медного провода диаметром 1 мм. Сердечники и обмотки залиты эпоксидным компаундом, предупреждающим попадание влаги в обмотки и обеспечивающим длительную надежную работу трансформаторов. Угольники, стянутые шпильками, служат для установки трансформатора на тепловозе. Обмотка управления трансформатора постоянного напряжения включена через резистор на выводы тягового генератора. Поэтому сила тока подмагничивания трансформатора пропорциональна напряжению генератора. Как в любом магнитном усилителе, ток в цепи рабочих обмоток пропорционален току подмагничивания и, следовательно, в данном случае пропорционален напряжению генератора. Иными словами, с увеличением напряжения тягового генератора пропорционально возрастает выходной ток

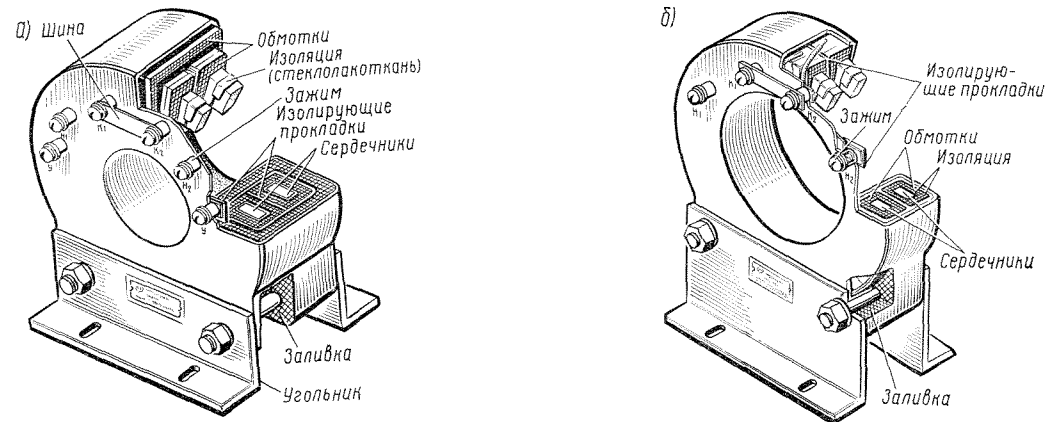


Рис. 226. Трансформаторы:
а — постоянного напряжения (ТПН); б — постоянного тока (ТПТ)

трансформатора постоянного напряжения. В цепях автоматики используются слабые токи, поэтому максимальный выходной ток трансформатора не превышает 3 А.

Трансформатор постоянного тока (рис. 226, б) по устройству напоминает трансформатор постоянного напряжения, но не имеет специальной обмотки управления. Для подмагничивания трансформатора постоянного тока через центральное отверстие его тороидального сердечника пропущены гибкие провода силовой цепи. На тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В через трансформатор постоянного тока пропущены два провода, по которым проходит ток двух тяговых электродвигателей. При увеличении тока тяговых двигателей, а следовательно, и генератора усиливается подмагничивание трансформатора постоянного тока и возрастает выходной ток его рабочей обмотки. Таким образом,

ток в рабочей цепи трансформатора пропорционален суммарному току двух тяговых электродвигателей. Максимальный ток в рабочей цепи трансформатора лишь незначительно превышает 3 А. Трансформатор постоянного тока как бы преобразует ток большой величины в силовой цепи в пропорциональный ему слабый ток для использования его в системе автоматического регулирования напряжения тягового генератора.

Суммарная масса амплистата и трансформаторов постоянного тока и напряжения составляет около 28 кг. Отсюда можно видеть, насколько легкими, компактными являются устройства переменного тока для регулирования напряжения тягового генератора. Эти устройства не имеют вращающихся трущихся частей, требующих смазки, ухода, ремонта, поэтому надежны и долговечны в эксплуатации.

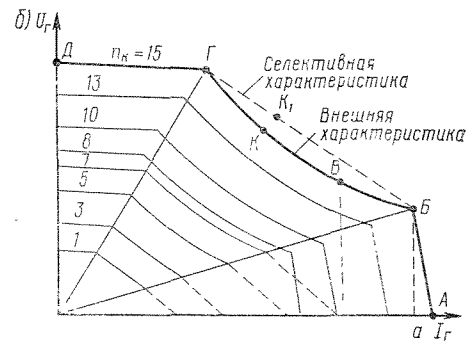
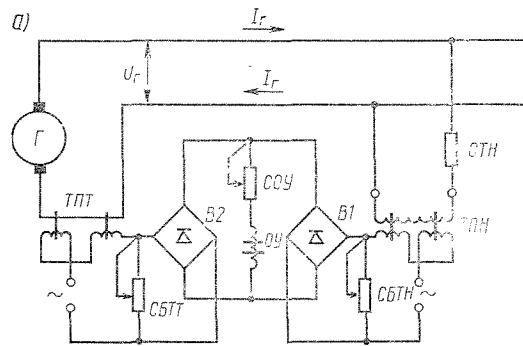


Рис. 227. Селективный узел и характеристики тягового генератора:
 а — схема узла; б — характеристики при различных позициях контроллера n_k

Рассмотрим более подробно работу измерительных трансформаторов в схеме регулирования напряжения тягового генератора. На каждой секции тепловозов 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В установлено по одному трансформатору постоянного напряжения ТПН и по четыре трансформатора постоянного тока ТПТ1—ТПТ4. Через первый трансформатор ТПТ1 пропущены провода цепей первого и четвертого тяговых двигателей, через трансформатор ТПТ2 — пятого и шестого двигателей, через трансформатор ТПТ3 — третьего и шестого двигателей и через ТПТ4 — первого и второго двигателей. Применение четырех трансформаторов постоянного тока с подмагничиванием от тока различных двигателей позволило значительно улучшить противобоксовочные свойства тепловоза. Об этом будет подробнее рассказано в гл. 20. На схеме, представленной на рис. 227, а, с целью упрощения показан один трансформатор постоянного тока и трансформатор постоянного напря-

жения. Рабочие обмотки обоих трансформаторов включены в цепь управляющей обмотки амплистата через узел электрических устройств, получивший название *селективного*, т. е. избирающего (от латинского слова *selectio* — отбор). Селективный узел имеет балластные резисторы СВТН и СВТТ, два выпрямительных моста В1 и В2, а также резистор СОУ в цепи управляющей обмотки амплистата ОУ.

Предположим, что дизель-генератор тепловоза работает на 15-й позиции контроллера. Когда ток I_r в силовой цепи мал, напряжение U_r на выводах генератора достигает максимальных значений (рис. 227, б); сила тока в цепи рабочей обмотки трансформатора постоянного напряжения будет также наибольшей. Напряжение на резисторе СВТН, выпрямленном мостом В1, подается на участок цепи, состоящей из резисторов СОУ и управляющей обмотки ОУ амплистата. В то же время вследствие малого тока в силовой цепи бу-

дут незначительными ток в цепи рабочей обмотки трансформатора ТПТ и падение напряжения на резисторе СВТТ. Выпрямительный мост В2 окажется запертым повышенным напряжением, подаваемым от моста В1; через управляющую обмотку амплистата проходит только ток цепи рабочих обмоток трансформатора ТПН. Следовательно, трансформатор ТПТ отключен от цепи питания регулирующей обмотки. Так продолжается до тех пор, пока ток тягового генератора не достигнет значения $I_{гг}$, соответствующего точке Г его внешней характеристики. На участке характеристики ДГ с увеличением тока тягового генератора напряжение на его выводах будет несколько снижаться вследствие увеличения падения напряжения во внутренней цепи генератора и влияния реакции якоря. Однако одновременно уменьшается ток в обмотке управления трансформатора ТПН, а значит, и ток в цепи управляющей обмотки амплистата. В конечном итоге возбуждение генератора несколько усиливается. Благодаря этому предупреждается заметное снижение напряжения генератора. Например, на номинальном режиме работы дизель-генератора ($n_k=15$) увеличение тока в силовой цепи почти до 3000 А приводит к уменьшению напряжения генератора лишь на 20В. При токе $I_{гг}$ генератора падение напряжения на резисторах СВТН и СВТТ становится одинаковым, выпрямительный мост В2 открывается. Управляющая обмотка амплистата получает дополнительное питание (при сохранении питания от трансформатора ТПН). Дальнейший

рост силы тока генератора вызывает усиление питания управляющей обмотки амплистата, обеспечивая снижение напряжения генератора по линейной характеристике ГВ. Этот процесс сопровождается непрерывным увеличением тока в рабочей обмотке трансформатора ТПТ и снижением тока в рабочей обмотке трансформатора ТПН. Наконец, при токе генератора $I_{гб}$, соответствующем точке Б характеристики, происходит запертие выпрямительного моста В1 напряжением, подаваемым в цепь управляющей обмотки амплистата из цепи трансформатора ТПТ через выпрямительный мост В2. На участке характеристики БА при незначительном увеличении тока генератора и, следовательно, тока в управляющей обмотке амплистата достигается требуемое снижение напряжения генератора. Рост тока генератора практически ограничивается, предупреждая его перегрузку.

Следовательно, селективный узел осуществляет избирательное питание управляющей обмотки амплистата от одного или обоих измерительных трансформаторов в зависимости от силы тока и напряжения генератора.

Характеристика генератора, получаемая с помощью только измерительных трансформаторов и селективного узла, получила название *селективной*. В области рабочих токов генератора напряжение изменяется по линейному закону, что не обеспечивает строгого постоянства мощности дизель-генератора. Внешняя характеристика генератора становится гиперболической благодаря применению регулирующей обмотки ампли-

стата и индуктивного датчика в регуляторе дизеля.

Селективный узел формирует характеристики генератора и при работе дизеля на более низких позициях контроллера n_k . Они будут проходить ниже характеристики генератора на номинальном режиме (см. рис. 227, б).

ТАХОМЕТРИЧЕСКИЙ БЛОК

Использование магнитного насыщения ферромагнитных материалов положено в основу создания ряда электрических аппаратов тепловозов, кроме магнитных усилителей. К их числу относится тахометрический блок, в котором применен насыщающийся трансформатор. В обычном

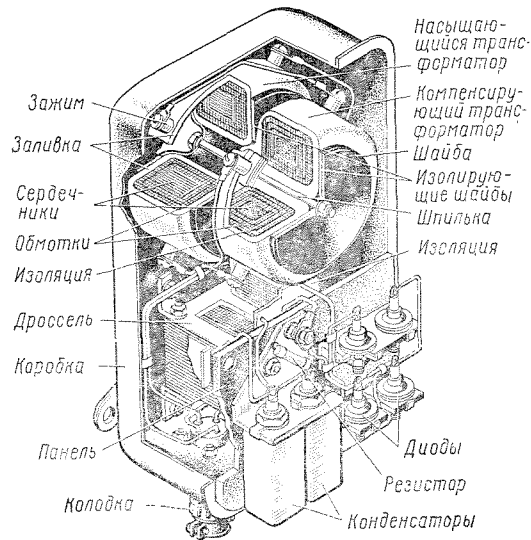


Рис. 228. Тахометрический блок

трансформаторе выходное напряжение пропорционально напряжению на первичной обмотке. В насыщающемся трансформаторе лишь при начальном возрастании тока в первичной обмотке под действием входного напряжения индуктируется ток во вторичной обмотке. Дальнейшее возрастание тока первичной обмотки не вызывает увеличения магнитного потока из-за магнитного насыщения сердечника и, следовательно, повышения напряжения на вторичной обмотке.

Таким образом, во вторичной обмотке э. д. с. будет индуктироваться импульсами. Увеличение числа этих импульсов за счет повышения частоты первичного тока приводит к прямо пропорциональному росту усредненного значения выходного напряжения трансформатора. Первичная обмотка насыщающегося трансформатора получает питание от синхронного подвозбудителя. Частота вырабатываемого им тока пропорциональна частоте вращения коленчатого вала дизеля. Поэтому выходное напряжение тахометрического блока повышается пропорционально частоте вращения вала дизеля. Кроме насыщающегося трансформатора, в тахометрическом блоке применены компенсирующий трансформатор для повышения точности работы блока, выпрямительный мост и фильтр для сглаживания пульсации выпрямленного тока (рис. 228).

Тахометрический блок заменил применявшийся ранее тахогенератор, более сложный по конструкции, требующий ухода в эксплуатации.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ВЕНТИЛИ-ДИОДЫ И СТАБИЛИТРОНЫ

В электротехнике до недавнего времени широко применялись два основных вида материалов: *проводники* и *изоляторы*. Из проводников — металлов и их сплавов — изготавливают провода, обмотки электрических машин, токоведущие части самых различных электрических машин, аппаратов и других устройств. К проводникам относятся также растворы кислот, щелочей, солей — их называют *электролитами*. Растворы кислот и щелочей, в частности, применяются в аккумуляторах, которыми оборудуется каждый тепловоз. Изоляторы в обычных условиях вообще не пропускают электрического тока. Они используются для изоляции проводов и различных токоведущих частей. К изоляторам относятся фарфор, стекло, слюда, резина и т. д. Кроме проводников и изоляторов, в природе существуют и такие вещества, которые по своей электрической проводимости занимают промежуточное положение. Это *полупроводники*. К полупроводникам принадлежат: графит, селен, германий, кремний и многие другие вещества.

Широкое изучение физических свойств полупроводников показало, что некоторые из них обладают очень ценными качествами. Однако эти свойства проявляются только в химически очень чистых полупроводниках со строгим кристаллическим строением. Получение таких полупроводниковых материалов представляет собой сложную техническую проблему. Уже налажено производство германия и кремния по достаточно низкой цене.

Ранее в полупроводниковых диодах использовался селен. Производство селеновых диодов отличается достаточной простотой.

Применение германия, кремния и некоторых других подобных материалов позволило создать многочисленные компактные полупроводниковые приборы с самыми различными свойствами: диоды, стабилитроны, транзисторы, тиристоры и т. д. На основе использования этих полупроводниковых приборов осуществлена подлинная техническая революция в радиотехнике, автоматике, вычислительной технике, приборостроении.

В электрооборудовании тепловозов нашли широкое применение полупроводниковые диоды в качестве выпрямительных и запирающих уст-

ройств. Кроме того, в электрических аппаратах систем автоматики используются полупроводниковые триоды-транзисторы и тетроды-тиристоры.

Рассмотрим основные устройства селеновых, германиевых и кремниевых полупроводников диодов.

Главная особенность диодов состоит в том, что они пропускают ток лишь в одном направлении и совсем или почти совсем не пропускают его в обратном направлении. Первое направление прохождения тока называют прямым током, противоположное — обратным током. Иными словами, электрическое сопротивление диода при прохождении прямого тока очень мало, а при обратном токе — велико. Поэтому полупроводниковые диоды используют главным образом в качестве электрических вентилях. Своё название электрический вентиль получил по аналогии с обратным клапаном (вентилем) в водяном трубопроводе. Такой клапан легко пропускает воду в «прямом» направлении. Если же направление потока воды изменится, то клапан автоматически

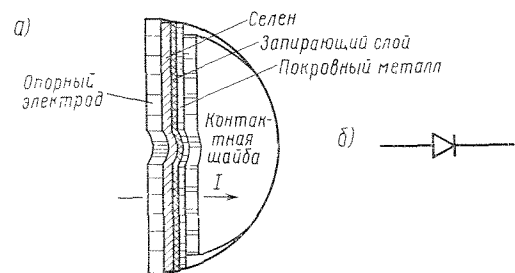


Рис. 229. Селеновый диод: а — общий вид; б — условное обозначение на электрических схемах

под действием напора воды закроется и запрет трубу. Вода в обратном направлении благодаря клапану проходить не сможет.

Стабилитроны отличаются от диодов режимом работы. Для стабилитрона нормальным рабочим режимом является электрический пробой. Благодаря этому свойству стабилитроны используются для поддержания постоянного (стабилизации) напряжения на определенных участках электрических цепей. Например, если в цепь с изменяющимся напряжением включают аппарат, рассчитанный для работы на ограниченном напряжении, то параллельно ему присоединяют стабилитрон. Рабочее напряжение аппарата должно быть равно напряжению пробоя стабилитрона. Если напряжение в цепи будет повышаться выше нормы, то происходит пробой стабилитрона, через него проходит ток и предупреждается дальнейшее повышение напряжения на зажимах стабилитрона и присоединенного к нему прибора. При этом ток пробоя стабилитрона не должен превышать определенной величины во избежание теплового пробоя, разрушающего полупроводник. Таким образом, стабилитрон напоминает плотину электростанции на реке. Она поддерживает определенный уровень воды, создавая постоянный напор на турбинах. Излишняя вода сливается через плотину, предупреждая чрезмерный рост напора при увеличении расхода воды (например, при паводке).

Селеновый диод (рис. 229) состоит из опорного электрода, на который нанесен слой селена, затем слой покровного металла, и контактной шай-

бы. Опорный электрод изготавливается из никелированной стали или алюминия. Покровным металлом является сплав олова, висмута и кадмия. Контактная шайба служит вторым электродом.

Селен принадлежит к полупроводникам с *p*-проводимостью. В процессе изготовления диода происходит диффузия кадмия в селен, образуется слой селенида кадмия, обладающий свойствами полупроводника типа *n*¹. Между селеном и этим слоем возникает *p-n* переход, являющийся запирающим слоем. После сборки производится формовка диода. Для этого через него пропускают постоянный ток в направлении, противоположном прямому току. При формовке повышается качество запирающего слоя, увеличивается его обратное сопротивление.

Селеновый диод хорошо пропускает ток от опорного электрода через селен, запирающий слой, покровный металл к контактной шайбе. В противоположном направлении сопротивление запирающего слоя в сотни раз больше, чем в прямом, поэтому обратный ток ничтожен по своей величине. Если обратное напряжение превысит допустимые пределы, то происходит пробой диода. В выпрямительных устройствах количество диодов, соединенных последовательно, берется с таким расчетом, чтобы обратное напряжение на каждом из них не превосходило допустимого значения (22—25 В). Величина прямого тока диода ограничивается нагревом.

¹ От латинских слов *positivus* — положительный и *negativus* — отрицательный.

Так, селеновые диоды выдерживают температуру не более 70—75° С. Для получения достаточно большого по величине выпрямленного тока соединяют параллельно несколько диодов.

Обычно селеновые диоды собирают в виде столбиков. Селеновый выпрямитель, применяемый на тепловозах ТЭЗ, показан на рис. 230. Столбик выпрямителя состоит из 16 диодов, соединенных по два последовательно в восемь параллельных групп. Селеновые диоды (шайбы) столбика стянуты шпилькой и укреплены на изоляционной панели с помощью угольников. Внешняя цепь подключается к зажимам, которые посредством перемычек и выводов соединены с селеновыми шайбами. На каждой секции тепловоза ТЭЗ установлены два селеновых выпрямительных столбика (выпрямителя) в электрических цепях тахогенераторов Т1 и Т2. На тепловозах ТЭЗ последних выпусков селеновые выпрямители собирались из шайб квадратной формы, число их было уменьшено до 12.

Развитие полупроводниковой техники привело к созданию более совершенных германиевых и кремниевых диодов. Эти диоды пропускают во много раз больший по величине прямой ток, чем селеновые вентили. Максимальные обратные напряжения германиевых диодов достигают 200 В, а кремниевых — 1000 В и более. Кремниевые диоды могут работать при температуре до 150—180° С. Поэтому при использовании в равных условиях масса и габариты германиевых или кремниевых диодов во много раз меньше, чем селеновых. Коэффи-

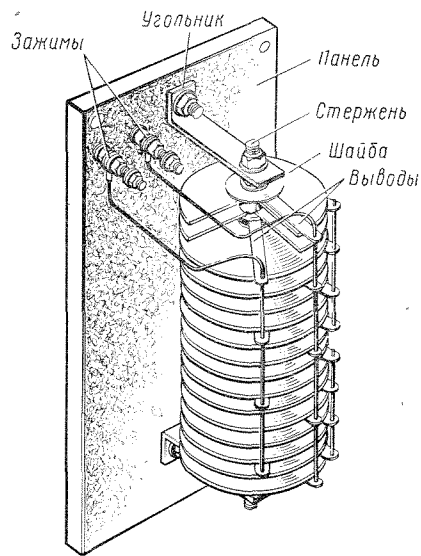


Рис. 230. Селеновый выпрямитель

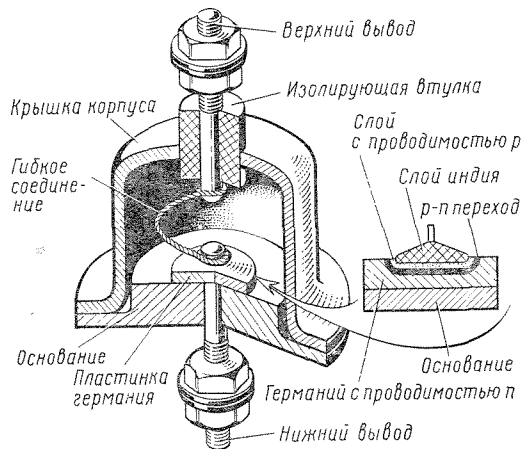


Рис. 231. Германевый диод

циент полезного действия селеновых вентилях составляет около 80%, а новых диодов — до 99%.

В германиевых и кремниевых приборах используются тщательно очищенные полупроводники с добавкой к ним незначительного (обычно менее 0,001%), строго установленного количества определенной примеси. Малое содержание примеси не изменяет исходную монокристаллическую структуру полупроводника. Однако примесь создает так называемую *примесную проводимость*, которая многократно превышает собственную проводимость чистого полупроводника и тем самым повышает эффективность его работы. Кроме того, примесь придает проводимости полупроводника определенный характер *p*- или *n*-проводимости. *Донаторные примеси* образуют избыток свободных электронов и обеспечивают *n*-проводимость полупроводника, *акцепторные примеси* захватывают электроны из кристаллической решетки полупроводника, устанавливая *p*-проводимость¹. В монокристаллическом полупроводнике *p-n* переход (запирающий слой) создается только на границе между двумя слоями с различными типами проводимости.

Примеси в полупроводники для образования *p-n* перехода добавляются сплавным или диффузионным методами. В первом случае полупроводник непосредственно сплавляется с материалом примеси, во втором — в вакуумной камере при высокой температуре происходит диффузия ато-

¹ От латинских слов *donator* — даритель и *asserptor* — получатель.

мов из паров примесного материала в полупроводник.

Устройство германиевого диода показано на рис. 231. Основной его частью является тонкая пластина, которая вырезана из монокристалла германия с донаторной примесью (сурьма или мышьяк) и имеет *n*-проводимость. В пластину вплавлена капля индия. В результате термодиффузии атомы индия проникают в германий и, будучи акцепторной примесью, образуют слой с проводимостью *p*. На границе между областями с *p*- и *n*-проводимостями возникает *p-n* переход, являющийся запирающим слоем. Площадь пластины германия зависит от силы тока, на которую рассчитывается диод. Пластины припаивают к массивному основанию, которое хорошо отводит от нее тепло во избежание перегрева. К основанию подключен нижний зажим диода. Верхний зажим связан с индиевой наплавкой гибким соединением. Германиевая пластинка защищена герметичным металлическим корпусом. Верхний зажим отделен от крышки корпуса изолирующей втулкой. Анодом является верхний зажим диода, катодом — нижний, прямой ток проходит от индия к германию.

Кремниевый диод имеет аналогичное устройство. Его основной частью является пластина, вырезанная из монокристалла кремния, с вплавленным в нее алюминиевым столбиком. Кремний имеет *n*-проводимость, которая усиливается донаторной примесью с помощью напыления сурьмянистого золота. Алюминий создает акцепторную примесь, и этот слой кремния приобретает *p*-проводимость. В

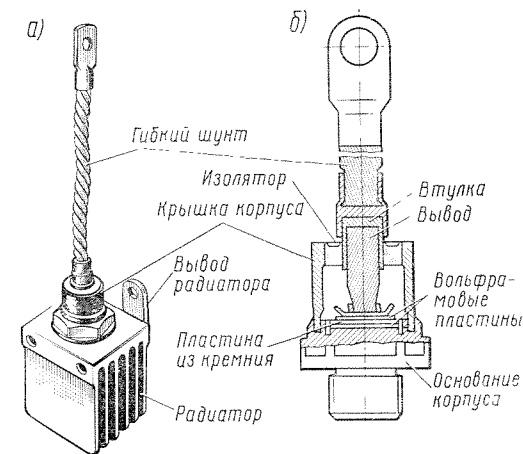


Рис. 232. Диод, оборудованный радиатором воздушного охлаждения: а — общий вид; б — продольный разрез (без радиатора)

пластине кремния образуется *p-n* переход, обладающий вентильными свойствами.

В силовых кремниевых диодах (рис. 232), рассчитанных на прохождение токов большой величины (до 1000 А), *p-n*-переход в кремниевой пластине создается диффузионным способом. В кремниевую пластину с одной стороны вводят акцепторную примесь бора, а с другой стороны — донаторную примесь фосфора. В пластине появляются зоны с *p*- и *n*-проводимостями, а на их границе возникает запирающий слой. Для защиты хрупкой кремниевой пластины от механических повреждений к ней с двух сторон припаивают вольфрамовые пластины, имеющие одинаковый с кремнием коэффициент линейного расширения. Нижняя вольфрамовая

пластина в свою очередь припаяна к основанию корпуса, а верхняя с помощью контактной чашечки вывода и втулки соединена с гибким шунтом, имеющим наконечник. От воздействия внешней среды и механических повреждений полупроводниковый элемент с внутренними выводами герметично закрыт корпусом и крышкой.

Для усиления охлаждения мощных диодов на их основание и нижнюю контактную шпильку устанавливают радиаторы, имеющие плоские металлические ребра. Благодаря этому поверхность охлаждения диода увеличивается. Чтобы еще более усилить отвод тепла, радиатор помещают в поток охлаждающего воздуха.

В цепях постоянного тока вентиль применяют как запирающее устройство и включают последовательно с участком цепи, в котором необходимо обеспечить прохождение тока лишь в одном направлении, например в цепи заряда аккумуляторной батареи от вспомогательного генератора.

ВЫПРЯМЛЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Теперь познакомимся с работой электрического вентиля в цепях переменного тока. Рассмотрим процесс выпрямления переменного тока при использовании лишь одного вентиля. Вентиль B включается последовательно с нагрузкой R_H , в которой должен быть получен постоянный ток (рис. 233, a). В качестве источника питания используем генератор, вырабатывающий переменный синусоидный ток (рис. 233, z). При положительных

значениях напряжения генератора ток i в цепи, а следовательно, и в нагрузке R_H будет изменяться прямо пропорционально этому напряжению (рис. 233, z). В течение отрицательных полупериодов напряжения генератора направление тока в цепи должно измениться на противоположное. Однако вентиль в обратном направлении ток не пропускает. Поэтому при отрицательных значениях напряжения генератора цепь окажется обесточенной.

Такие схемы выпрямления тока получили название *однополупериодных*. Выпрямленный ток будет постоянным по направлению, но пульсирующим по величине. Среднее значение тока в цепи при однополупериодном выпрямлении составляет лишь около $1/3$ максимального. В связи с этим использование мощности источника переменного тока оказывается весьма низким.

Для более рационального использования источника электрической энергии, уменьшения пульсаций тока разработаны различные двухполупериодные схемы выпрямления. На рис. 233, b показана схема выпрямления переменного тока, в которой используется трансформатор. Вторичная обмотка трансформатора имеет три вывода. К двум крайним выводам обмотки подключены вентили. Нагрузка R_H подключается ко вторым выводам вентиля и среднему выводу трансформатора. При положительных полупериодах напряжения трансформатора ток i_1 проходит через вентиль B_1 , нагрузку R_H и возвращается к среднему выводу трансформатора. Вентиль B_2 тока не пропускает. В те-

чение отрицательных полупериодов ток i_2 , равный по величине току i_1 , проходит к нагрузке через вентиль B_2 .

Таким образом, при обоих полупериодах изменения напряжения трансформатора через нагрузку проходит постоянный по направлению ток (рис. 233, e). Отсюда следует и название выпрямительной схемы такого вида — *двухполупериодная*. При использовании одного и того же источника тока применение двухполупериодной схемы выпрямления взамен однополупериодной позволяет в два раза увеличить среднюю величину тока, проходящего по нагрузке.

Наибольшее практическое распространение на тепловозах получили мостовые схемы выпрямления переменного тока (рис. 233, $в$). В этой схеме применены четыре вентиля. При положительных полупериодах напряжения трансформатора ток i_1 проходит через вентиль B_2 , нагрузку R_H , вентиль B_4 возвращается на минусовый зажим. При отрицательных полупериодах напряжения полярность изменяется и ток i_2 проходит через вентиль B_1 , нагрузку R_H , вентиль B_3 и т. д. Следовательно, мостовая схема обеспечивает двухполупериодное выпрямление переменного тока (см. рис. 233, e).

На современных тепловозах все более широкое распространение получают генераторы трехфазного тока. На тепловозах ТЭ10 и ТЭП60 первых выпусков применялись трехфазные синхронные генераторы в качестве возбудителей. Синхронными тяговыми генераторами с двумя трехфазными обмотками оборудуются новые мощные тепловозы 2ТЭ116, ТЭП70, ТЭП75

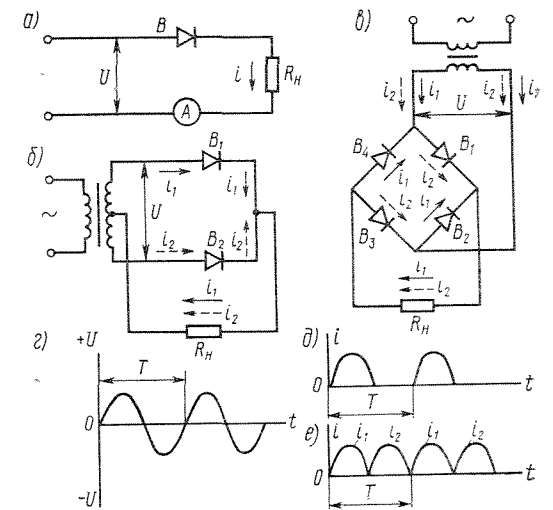


Рис. 233. Выпрямители однофазного тока: a — однополупериодный выпрямитель; $б$ — двухполупериодный выпрямитель с трансформатором; $в$ — двухполупериодный выпрямитель с мостовой схемой включения вентиля; $г$ — график напряжения источника тока; $д$ — график выпрямленного тока в однополупериодной схеме; e — то же, в двухполупериодной схеме

и др. В большинстве случаев для потребителей электрической энергии на тепловозах требуется постоянный ток. Поэтому подлежит выпрямлению и трехфазный ток.

В схеме (рис. 234) использовано шесть вентилях, образующих три группы. В каждой группе два вентиля соединяются последовательно. Концы вторичных обмоток трансформатора (или обмоток трехфазного генератора) подключаются к соединенным точкам каждой группы вентилях. Нагрузка соединяется со вторыми зажимами вентилях всех групп. В разбираемой схеме выпрямления каждая фаза вторичной обмотки трансформатора

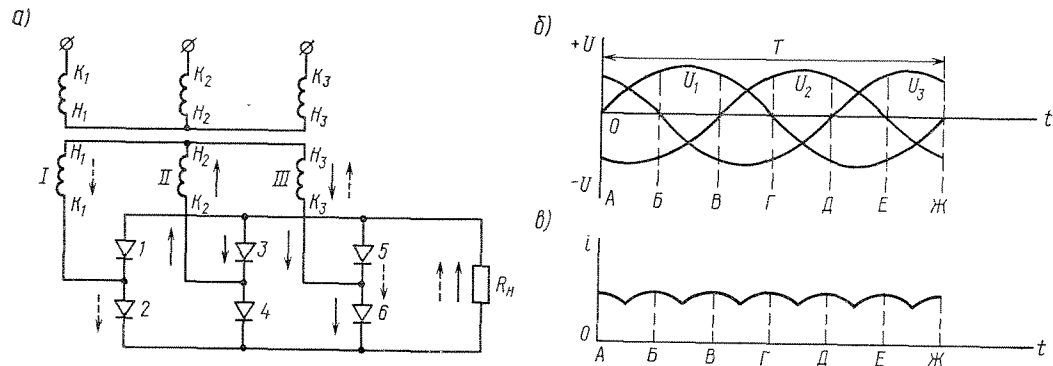


Рис. 234. Выпрямитель трехфазного тока:
 а — трехфазная мостовая выпрямительная схема; б — график напряжения источника тока;
 в — график выпрямленного тока в нагрузке

тора работает в течение одного периода изменения тока дважды.

В качестве примера рассмотрим работу третьей фазы трансформатора. Если обратиться к развернутой диаграмме трехфазного тока (см. рис. 234), то можно видеть, что в момент времени А напряжение первой фазы равно нулю, напряжение второй фазы имеет отрицательную величину, а напряжение третьей фазы положительную. Следовательно, напряжение третьей фазы алгебраически больше напряжения других фаз. Поэтому ток третьей фазы проходит выпрямитель 6, нагрузку R_n , вентиль 3, зажим K_2 , обмотку второй фазы и возвращается на зажим H_3 . При отрицательном же полупериоде напряжения третьей фазы, например в момент времени В, когда напряжение второй фазы равно нулю, а первой — имеет положительное значение, питание нагрузки осуществляется первой фазой. Ток проходит от зажима K_1 через вентиль 2, нагрузку R_n , вентиль 5, зажим K_3

и обмотку третьей фазы, но уже в противоположном направлении по сравнению с моментом времени А.

Пулсации выпрямленного напряжения в рассмотренной схеме получаются весьма небольшими, и ток нагрузки становится почти постоянным по своей величине.

ТРАНЗИСТОРЫ И ТИРИСТОРЫ

Рассмотрим устройство и работу других полупроводниковых приборов. Полупроводниковые приборы, имеющие три слоя полупроводников, разделенных двумя запирающими слоями, и три электрода, называют *триодами*, или чаще *транзисторами*¹. Один из видов транзисторов, схема которого показана на рис. 235, а, представляет собой тонкую пластину

¹ От английских слов transfer — передача и resistor — сопротивление, т. е. транзистор — передающее сопротивление.

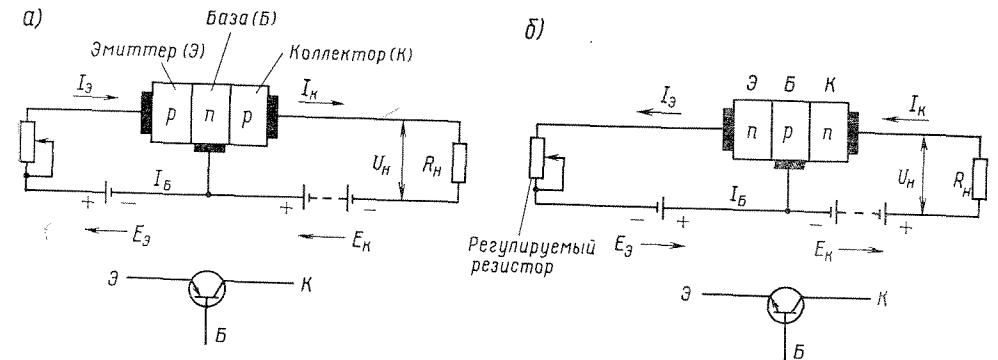


Рис. 235. Схемы транзисторов и их условные обозначения:
 а — транзистор типа *p-n-p*; б — транзистор типа *n-p-n*

монокристаллического германия с вплавленными в нее с двух сторон столбиками из индия.

В пластине германия на границе с индием образуются два *p-n* перехода, обладающих запирающими свойствами. Следовательно, германиевый триод состоит из крайних слоев с *p*-проводимостью и среднего с *n*-проводимостью. Такой прибор получил название *транзистора* типа *p-n-p*. К каждому слою присоединяют электроды — вывод для соединения с внешней цепью.

Соберем электрическую схему, показанную на рис. 235, а. Один из крайних слоев транзистора (левый) соединим с источником постоянного тока в проводящем направлении его перехода. Этот слой при работе прибора является основным источником носителей электрических зарядов и получил название *эмиттера*¹. Средний

слой германиевой пластины с *n*-проводимостью называют *базой*. Второй крайний слой транзистора соединим с другим источником постоянного тока в непроводящем направлении прилегающего к нему перехода.

Носители заряда, испускаемые эмиттером, проходят через базу, переход *p-n* и поступают в слой *коллектора*². Таким образом, коллектор является собирателем носителей заряда, обеспечивающих прохождение тока в цепи второго источника тока. При этом источник электрической энергии в цепи коллектора имеет э.д.с. E_k , которая во много раз превосходит э.д.с. E_z источника энергии в цепи эмиттера. Небольшая э.д.с. E_z вполне достаточна для создания тока необходимого значения в цепи эмиттера, так как прямое сопротивление его перехода является ничтожным. При отсутствии тока эмиттера

¹ От латинского слова emittere — испускать, излучать.

² От латинского слова collector — собирающий.

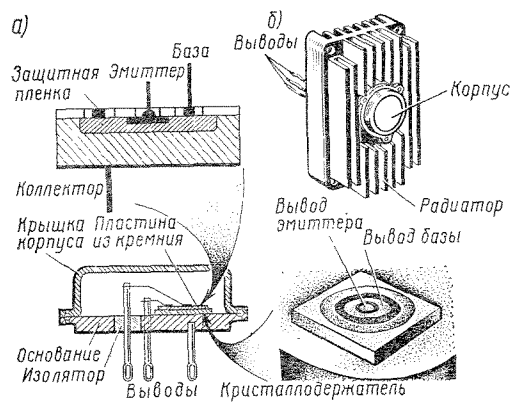


Рис. 236. Кремниевый транзистор:
а — продольный разрез; б — общий вид

практически не будет протекать ток и в цепи коллектора из-за большого обратного сопротивления перехода в ней. Если с помощью регулируемого резистора увеличивать ток I_b в цепи эмиттера, то возрастает число носителей заряда, испускаемых эмиттером, и повышается сила тока I_k в цепи коллектора. Иными словами, с увеличением тока эмиттера снижается электрическое сопротивление коллекторного перехода. Поэтому с помощью малоомощной входной цепи эмиттера легко управлять значительно более мощной выходной цепью коллектора. Электрическая мощность этих цепей пропорциональна э.д.с. их источников энергии.

В рассмотренной схеме база транзистора является общей для цепей эмиттера и коллектора, а сам транзистор представляет собой полупроводниковый усилитель мощности.

В электрических схемах находят применение и два других способа включения транзистора: с общим эмиттером и общим коллектором, в зависимости от того, какой электрод транзистора является общим для входной и выходной электрических цепей. Например, схема с общим эмиттером обеспечивает наибольшее усиление по току в выходной цепи.

Кремниевые транзисторы изготавливаются в виде триодов типа $n-p-n$. Средний слой транзистора состоит из монокристаллического кремния с p -проводимостью, два крайних слоя имеют n -проводимость. Поскольку проводящие направления переходов при этом изменились на противоположные по сравнению с транзистором типа $p-n-p$, то необходимо изменить

и полярность включения источников электроэнергии во входной и выходной цепях (рис. 235, б). Устройство мощного кремниевго транзистора показано на рис. 236.

Способы использования германиевых и кремниевых транзисторов являются одинаковыми, изменяется лишь схема их включения в электрические цепи с учетом полярности источников энергии.

Тиристором называется полупроводниковый прибор, состоящий из четырех слоев полупроводников, разделенных тремя $p-n$ переходами (рис. 237). Входной электрод тиристора называют анодом, выходной — катодом. Полупроводниковый слой, к которому присоединен электрод управляющего тока, составляет, как и в транзисторе — базу. Проводящее направление тиристора — от анода к катоду. Поэтому тиристор своим анодом соединяется с плюсовым зажимом источника тока, катод — с минусовым. При этом средний переход P_2 включен в непроводящем направлении. Тиристор, как и обычный диод, практически не пропускает ток внешней цепи, или говорят — тиристор заперт. Повышая приложенное к тиристору внешнее напряжение, можно достигнуть критического его значения, когда происходит лавинный пробой перехода и тиристор отпирается. Во внешней цепи протекает большой силы ток, ограничиваемый лишь ее сопротивлением. Для правильно сконструированного тиристора лавинный пробой и большая сила тока не представляют опасности, так как энергия, выделяющаяся в переходе P_2 , весьма мала. При изменении направления

входного напряжения на обратное происходит восстановление первоначальных свойств перехода P_2 , и тиристор запирается. Обратное напряжение делится поровну между переходами P_1 и P_3 , поэтому их пробоя не происходит, и тиристор практически не пропускает обратного тока. При подаче напряжения на управляющий электрод базы появляется ток управления, цепь которого замыкается через катод. Регулируя величину тока управления можно в широких пределах изменять значение напряжения, при котором тиристор открывается. Таким образом, тиристор является управляемым полупроводниковым вентилем.

Мощность, расходуемая в цепи управления тиристором, составляет 1—2 Вт, а мощность силовой цепи достигает нескольких сотен киловатт. Поэтому тиристор представляет собой преобразователь с высоким коэффициентом полезного действия. Тиристор обладает почти мгновенным быстроедействием, надежен при высокой частоте срабатываний. Применение тиристорных устройств для управляемого выпрямления переменного тока, преобразования постоянного тока в переменный или частоты переменного тока.

Тиристорными преобразователями оборудованы опытные тепловозы для регулирования частоты тока, питающего асинхронные тяговые электродвигатели, с целью изменения скорости движения поезда. Тиристоры широко используются в самых различных устройствах автоматики современных тепловозов.

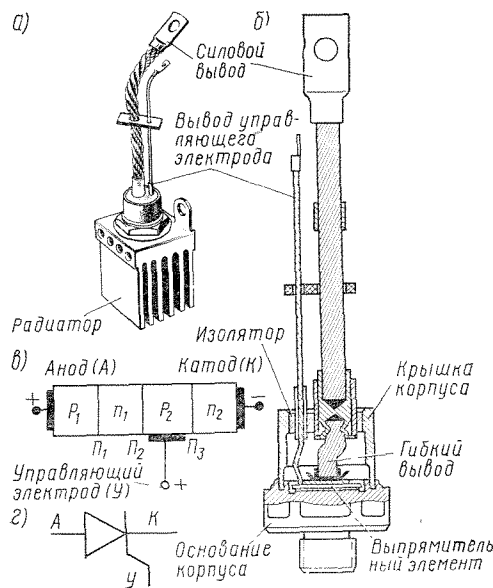


Рис. 237. Тиристор:
а — общий вид; б — продольный разрез; в — схема; г — условное обозначение

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ
РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ

Полупроводниковые регуляторы напряжения типа БРН-3В устанавливаются на тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В и ТЭП60 для автоматического регулирования напряжения вспомогательного генератора. Регулятор состоит из двух основных узлов: измерительного и регулировочного (рис. 238).

Измерительный узел регулятора дает сигнал регулируемому узлу на увеличение тока возбуждения возбудителя, если его напряжение становится ниже 75 В, и сигнал на уменьшение тока возбуждения возбудителя, когда напряжение превысит 75 В. Измерительный узел выполнен по мостовой схеме. Первое плечо моста состоит из резисторов $R1'$, $R1$ и части потенциометра $R2$, второе — из остальной части потенциометра $R2$ и резистора $R3$, третье плечо — из резистора $R4$ и четвертое — из стабилитронов $D3$ (или запасного $D6$), $D4$ и $D5$. В диагональ моста включен переход эмиттер—база транзистора $T1$. Сопротивления резисторов и двух частей потенциометра $R2$ подобраны таким образом, что если напряжение вспомогательного генератора ниже 75 В, то напряжение на зажимах стабилитрона $D3$ меньше, чем напряжение стабилизации (см. п. 2 этой главы). Стабилитрон закрыт и пропускает совершенно незначительный по величине ток. В этих условиях потенциал базы транзистора $T1$ выше потенциала эмиттера. Сопротивление транзистора велико, или, как говорят, транзистор закрыт. Рассмотрим вто-

рой случай работы измерительного узла, когда напряжение вспомогательного генератора превышает 75 В. В этих условиях напряжение на зажимах стабилитрона $D3$ становится выше напряжения стабилизации, стабилитрон пропускает достаточно большой обратный ток. Потенциал эмиттера транзистора $T1$ окажется выше потенциала базы, т. е. создаются условия открытия этого транзистора. В результате открытия транзистора $T1$ ток от вспомогательного генератора ответвляется из первого плеча моста измерительной части, проходит через эмиттер—коллектор транзистора $T1$ и далее через резистор $R5$, переходы база—эмиттер транзисторов $T2$ и $T3$, дроссель $Dp1$ на минусовый вывод генератора. При таком направлении тока транзисторы $T2$ и $T3$ открываются. Эти два транзистора включены по схеме составного транзистора для усиления выходного сигнала. Сопротивление перехода между эмиттером и коллектором транзистора $T3$ становится близким к нулевому значению.

Таким образом, в основу работы измерительного узла регулятора напряжения положено использование различных электрических характеристик проволочных резисторов и стабилитрона. Так, при увеличении напряжения вспомогательного генератора пропорционально возрастает падение напряжения на первых трех плечах моста измерительного узла. На четвертом плече (на стабилитроне $D3$) падение напряжения возрастает лишь до тех пор, пока напряжение вспомогательного генератора не превысит 75 В. После этого приложен-

ное к стабилитрону $D3$ обратное напряжение достигает величины напряжения стабилизации, стабилитрон пропускает ток и увеличение приложенного напряжения прекращается. При дальнейшем увеличении напряжения вспомогательного генератора электрический потенциал базы транзистора $T1$, соединенной с выводом стабилитрона $D3$, практически не повышается. Потенциал эмиттера транзистора, соединенного с движком потенциометра $R2$, продолжает повышаться, что и приводит к его открытию.

Транзистор $T3$ является выключателем, управляющим работой регулирующего узла регулятора напряжения, который непосредственно поддерживает постоянным напряжение вспомогательного генератора, изменяя величину тока возбуждения. Условно можно представить, что контакты этого выключателя замкнуты при напряжении вспомогательного генератора до 75 В и разомкнуты при его дальнейшем повышении.

Регулирующий узел (см. рис. 238) регулятора представляет собой мультивибратор¹. Основными его частями являются два кремниевых тиристора — силовой $T4$ и управляющий $T5$, конденсатор $C2$, стабилитроны $D14$, $D15$, $D17$ и резисторы $R6$, $R7$. Последовательно с мультивибратором включена обмотка независимого возбуждения OB вспомогательного генератора $BГ$.

Рассмотрим цикл работы мультивибратора, начав с момента, когда

¹ От латинских слов *multum* — много и *vibro* — колеблю.

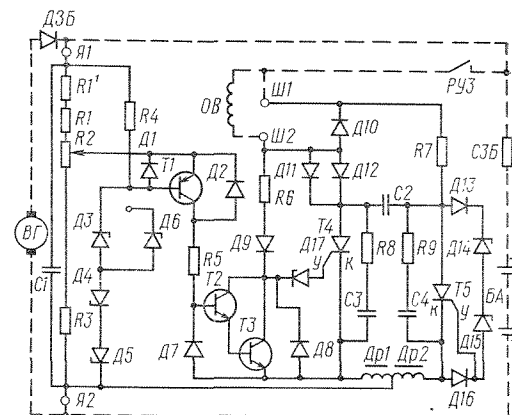


Рис. 238. Схема регулятора напряжения типа БРН-3В

конденсатор $C2$ разряжен, а тиристор $T3$ закрыт. Ток от плюса якоря вспомогательного генератора проходит через диод $D3B$ заряда аккумуляторной батареи, замкнутые контакты реле $PУ3$, обмотку возбуждения OB , резистор $R6$, диод $D9$, открывший стабилитрон $D17$, цепь управляющего электрода у тиристора $T4$ и далее через дроссель $Dp1$ возвращается на минус вспомогательного генератора. Под действием небольшого напряжения, приложенного между управляющим электродом $У$ и катодом $К$, тиристор $T4$ открывается. Через обмотку возбуждения OB возбудителя начинает проходить ток по цепи: плюс якоря вспомогательного генератора, обмотка OB , диоды $D11$, $D12$, тиристор $T4$, дроссель $Dp1$, минус якоря. В этом положении последовательно с обмоткой возбуждения не включены какие-либо элементы со значительным сопротивлением. Ток возбуждения достига-

ет наибольшей величины, напряжение вспомогательного генератора начинает расти даже при минимальной частоте вращения его якоря.

Открывшийся тиристор T_4 шунтирует цепь, состоящую из резистора R_6 , диода D_9 , стабилитрона D_{17} , вызывая закрытие этого стабилитрона. Однако снятие напряжения с управляющего электрода тиристора не приводит к его закрытию. Известно, что для закрытия тиристора необходимо еще хотя бы кратковременно приложить обратное напряжение (см. п. 2 данной главы).

Одновременно с этим процессом происходит заряд конденсатора C_2 , так как его правая обкладка соединена через резистор R_7 с плюсом якоря вспомогательного генератора, а левая обкладка — с минусом якоря через открытый тиристор T_4 .

По мере заряда напряжение на конденсаторе растет и, наконец, достигает величины, которая достаточна для открытия стабилитронов D_{14} и D_{15} . Создается цепь тока управления тиристором T_5 : после стабилитрона D_{15} через управляющий электрод $У$, катод $К$ тиристора T_5 , дроссель $Др_2$ на минус якоря вспомогательного генератора. Тиристор T_5 открывается, начинается разряд конденсатора C_2 , так как теперь его правая обкладка соединена через тиристор T_5 , дроссель $Др_2$ к минусу якоря вспомогательного генератора, как и левая обкладка.

Разрядное напряжение конденсатора C_2 подается через дроссель $Др_1$ на катод $К$ тиристора T_4 . Этот импульс обратного для тиристора T_4 напряжения запирает его. Прекращает-

ся прохождение тока по обмотке возбуждения $ОВ$ возбудителя, и напряжение на его выводах начинает падать.

Как только закрылся тиристор T_4 (при открытом тиристоре T_5), начинается перезаряд конденсатора C_2 по цепи: плюс якоря вспомогательного генератора, обмотка возбуждения $ОВ$, диоды D_{11} , D_{12} , конденсатор C_2 , тиристор T_5 , дроссель $Др_2$, минус якоря вспомогательного генератора. Теперь левая обкладка конденсатора приобретает положительный потенциал, а правая — отрицательный. Одновременно с зарядкой конденсатора растет напряжение на стабилитроне D_{17} до момента его открытия, приводящего к открытию тиристора T_4 . Вновь замыкается цепь тока через обмотку возбуждения возбудителя. Конденсатор C_2 разряжается через открывшийся резистор T_4 . Напряжение конденсатора подается через дроссели $Др_1$ и $Др_2$ на катод тиристора T_5 и закрывает его. Начинается новый цикл заряда конденсатора C_2 (правая обкладка вновь приобретает положительный потенциал) и работы мультивибратора в целом, полностью повторяющий уже рассмотренный. В результате мультивибратор находится в режиме автоколебаний с частотой около 400 Гц. Частота колебаний тока зависит от емкости конденсатора C_2 и сопротивления резистора R_7 , замедляющего заряд конденсатора.

Параметры схемы мультивибратора подобраны таким образом, чтобы продолжительность прохождения тока через обмотку возбуждения возбудителя была достаточной для повышения напряжения возбудителя более 75 В. Словом, периодическое отклю-

чение питания током обмотки возбуждения мультивибратором в режиме автоколебаний¹ не приводит к снижению напряжения возбудителя ниже 75 В.

Когда напряжение вспомогательного генератора незначительно превысит 75 В, измерительный узел регулятора, как было показано выше, открывает транзистор T_3 . Транзистор шунтирует стабилитрон D_{17} и управляющий электрод тиристора T_4 . Теперь очередного открытия тиристора T_4 не происходит, так как практически отсутствует напряжение на стабилитроне D_{17} даже при полностью перезаряженном конденсаторе C_2 . Автоколебания мультивибратора прекращаются в положении, когда закрытый тиристор T_4 не пропускает тока по обмотке возбуждения возбудителя. Напряжение возбудителя начинает падать. После его снижения несколько ниже 75 В измерительный узел закрывает транзистор T_3 , что возвращает мультивибратор в режим автоколебаний, обеспечивающий повышение напряжения возбудителя.

В результате воздействия измерительного узла на регулирующий узел (мультивибратор) напряжение вспомогательного генератора при постоянной частоте вращения якоря колеблется в пределах приблизительно 0,5 В, т. е. поддерживается практически постоянным. Частота колебаний напряжения достигает 60 Гц. В схему регулятора напряжения введен ряд дополнительных элементов, назначение которых состоит в следующем. Конденсатор C_1 сглажи-

вает колебания напряжения на входе в измерительный узел регулятора. Стабилитроны D_4 и D_5 компенсируют изменение напряжения на стабилитроне D_3 при различной температуре, т. е. они позволяют исключить влияние температуры измерительного узла на величину поддерживаемого напряжения вспомогательного генератора. Диоды D_1 и D_2 защищают транзистор T_1 от импульсов обратного напряжения при работе регулятора, а диоды D_{13} , D_{16} , D_8 и D_9 предупреждают появление обратных напряжений на переходах управляющий электрод — катод тиристора T_4 и T_5 при перезарядке конденсатора C_2 . Диод D_8 одновременно защищает от обратных напряжений и транзисторы T_2 и T_3 .

Уменьшение тока утечки транзистора T_1 достигается с помощью диода D_7 . Для гашения электромагнитной энергии, накопленной в обмотке возбуждения возбудителя, при каждом ее размыкании служит диод D_{10} , который включен на зажимы этой обмотки. Диоды D_{11} и D_{12} предупреждают самопроизвольные колебания тока в контуре обмотки $ОВ$ и конденсатора C_2 и, следовательно, потерю управляемости мультивибратора. Дроссели $Др_1$ и $Др_2$ защищают тиристоры T_4 и T_5 от чрезмерных импульсов тока при их переключениях.

Дроссели $Др_1$ и $Др_2$ снижают скорость изменения тока в тиристорах T_4 и T_5 , защищая их от коммутационных перенапряжений. Цепочки резисторов R_8 , R_9 и конденсаторов C_3 и C_4 повышают помехоустойчивость регулятора напряжения.

¹ От греческого слова *autós* — сам.

Регулировка напряжения вспомогательного генератора, поддерживаемого регулятором, осуществляется весьма просто за счет изменения положения движка потенциометра R2.

При пуске дизеля первоначально цепи регулятора напряжения и обмотки возбуждения возбуждителя получают питание током от аккумуляторной батареи. Благодаря максимальному возбуждению напряжение вспомогательного генератора быстро возрастает. Когда напряжение вспомогательного генератора становится больше напряжения аккумуляторной батареи, цепи регулятора напряжения и обмотка возбуждения переходят на

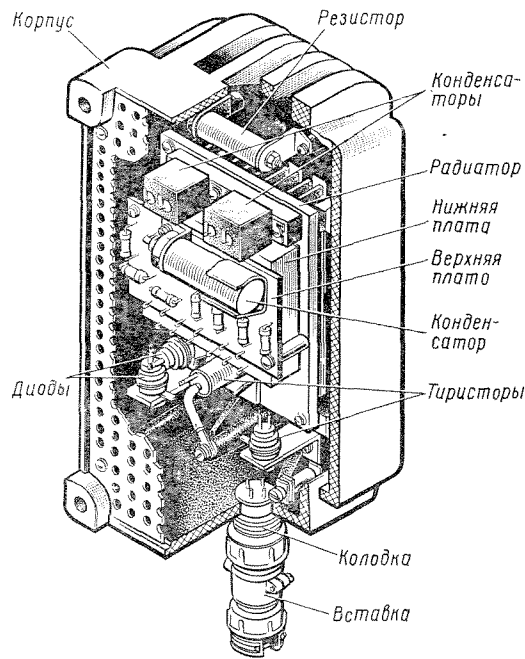


Рис. 239. Общий вид регулятора напряжения

питание током от якоря вспомогательного генератора через диод ДЗБ.

С увеличением частоты вращения коленчатого вала дизеля и механически связанного с ним якоря возбуждителя регулятор напряжения увеличивает относительную продолжительность выключения мультивибратора, т. е. снижает среднюю величину тока возбуждения возбуждителя, поддерживая напряжение на выводах возбуждителя в пределах 75 ± 1 В во всем диапазоне работы силовой установки тепловоза.

Подробное ознакомление с работой полупроводникового регулятора напряжения не только поможет читателю уяснить принцип его действия, но и позволит ознакомиться со способами применения полупроводниковых вентилях, стабилитронов, транзисторов, тиристоров в регулирующих устройствах тепловозов.

Общий вид полупроводникового регулятора напряжения показан на рис. 239. Регулятор подключается к электрическим цепям тепловоза при помощи штепсельного разъема.

Почти вся электрическая аппаратура сосредоточена в кабине машиниста и в аппаратных камерах.

Расположение электрической аппаратуры в аппаратных камерах тепловоза 2ТЭ10Л показано на рис. 240.

На передней стенке правой аппаратной камеры находятся автоматы и тумблеры электрических схем управления и освещения тепловоза, отдельные измерительные приборы.

Аппаратные камеры для удобства и быстроты доступа к электрическим аппаратам расположены на тепловозах рядом с кабиной машиниста.

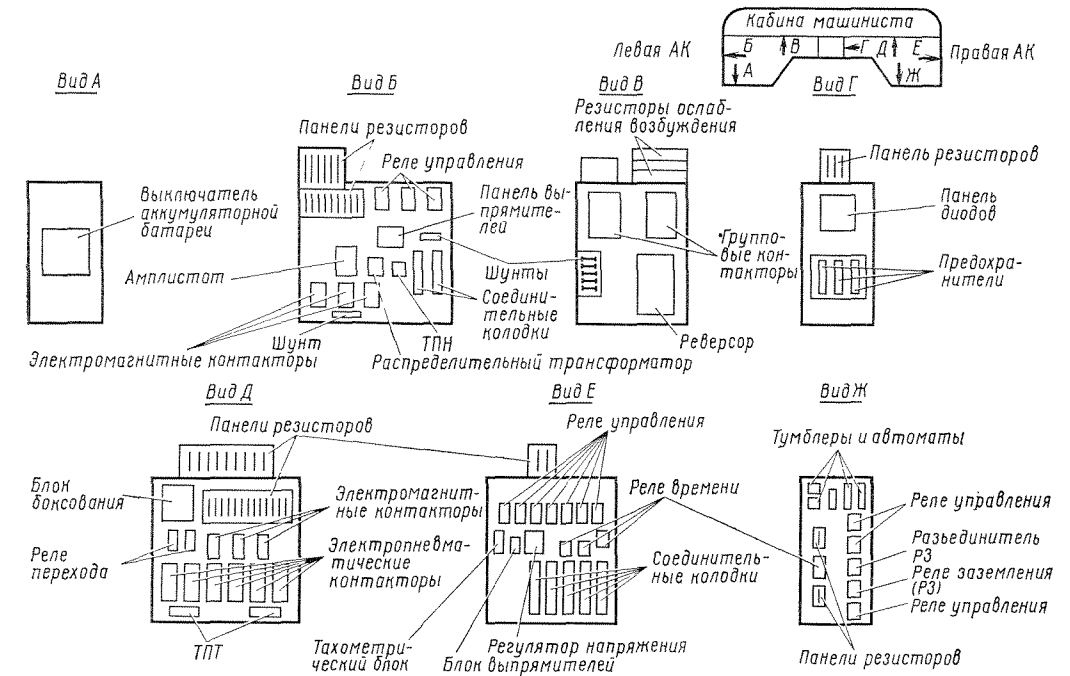


Рис. 240. Правая и левая аппаратные камеры тепловоза 2ТЭ10Л

Электрические аппараты, установленные в аппаратной камере, имеют открытые токоведущие части. Во избежание поражения электрическим током категорически запрещается входить в аппаратную камеру, когда электрооборудование находится под напряжением, независимо от его величины. Для предупреждения случаев травматизма двери аппаратных камер оборудованы выключателями. Если дверь открыта, то выключатели

разрывают цепи питания контакторов возбуждения возбуждителя и генератора. Генератор переводится на режим холостого хода, и в камеру не подается высокое напряжение.

Расположение электрооборудования в кабине машиниста показано на рис. 12. Отдельные электрические аппараты приближены к объектам управления. Например, реле масляного давления обычно устанавливаются непосредственно на дизелях.

НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ГРУППЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ТЕПЛОВОЗА

Чтобы лучше понять взаимную связь электрических машин, электрической аппаратуры и другого электрооборудования, реально существующие электрические цепи тепловоза представляют в виде схем. Знание электрических схем требуется не только для понимания работы оборудования тепловозов, управления тепловозом, но и для быстрого обнаружения появившихся в процессе эксплуатации отдельных неисправностей электрооборудования. Необходимо уметь читать схему, т. е., пользуясь условным ее графическим изображением, проследить путь прохождения тока в электрических цепях локомотива при всех режимах его работы, определить связь и взаимодействие всего электрического оборудования.

Электрические машины, аппараты и другие устройства на тепловозах соединены с помощью гибких проводов. В зависимости от силы тока нагрузки применяются провода различного поперечного сечения: от 300 мм² в силовой цепи до 1—2,5 мм² в цепях управления и автоматики. Провода выполняются из медной проволоки с

резиновой или пластмассовой изоляцией в оплетке, пропитанной консервирующими составами.

Для облегчения поиска провода, изображаемые на электрической схеме тепловоза в виде линий, пронумерованы по участкам. Отдельные участки проводов схемы управления соединены с помощью соединительных зажимов, состоящих из изолирующего основания и контактных винтов с гайками. На винты надеваются наконечники соединяемых проводов и надежно зажимаются гайками. С помощью стяжных шпилек соединительные зажимы объединяются в соединительную колодку. На тепловозах прежних выпусков широко применялись соединительные рейки с наборами контактных винтов. Соединительные колодки и рейки устанавливают главным образом в аппаратных камерах и пультах управления тепловозами.

Отсоединить отдельные электрические аппараты на тепловозах можно с помощью штепсельных разъемов общепромышленного назначения, состоящих из колодок и вставок с контактными штырями и гнездами (например, см. рис. 239).

При работе тепловозов по системе многих единиц управление всеми

секциями осуществляется с одного поста управления одним машинистом. Для взаимосвязи цепей управления и сигнализации тепловозы оборудованы межтепловозными соединениями. На раме каждой секции тепловоза около буферного бруса установлены розетки с контактными бронзовыми штырями, к которым присоединяют провода электрической схемы. Съемное межтепловозное соединение состоит из двух штепселей с гнездами, связанными проводами в виде единого жгута (рис. 241). Штепсели своими гнездами устанавливаются на штыри розеток, объединяя электрические цепи отдельных секций. Штепсели и розетки уплотняются с помощью резины для предупреждения попадания в них дождевой влаги, которая нарушает работу электрооборудования.

В цепях ослабления возбуждения тяговых электродвигателей, управления и автоматики на тепловозах применяются ленточные и проволочные резисторы. Ленточные резисторы (рис. 242, а), рассчитанные на большие нагрузки, выполнены из фехральной ленты, навитой на ребро на трубчатые ребристые изоляторы. Фехраль — это сплав железа с хромом и алюминием.

Удельное электрическое сопротивление у фехрала в 60—75 раз больше, чем у меди. Фехралаевые резисторы при работе могут без ущерба нагреваться до 750—900°С.

Трубчатые изоляторы размещены на стальных держателях, которыми крепятся к стойкам с помощью изолированных шпилек и круглых фарфоровых изоляторов. К ленте резисторов приварены выводы для соединения с проводами электрической схемы тепловозов. Тепловозные ленточные резисторы могут пропускать ток до 300 А и поглощать мощность до 2,15 кВт.

Проволочные резисторы представляют собой проволоку из материала с высоким удельным сопротивлением, намотанную на фарфоровые или керамические цилиндры (рис. 242, б). Общее сопротивление резисторов определяется подбором диаметра и длины их провода. Регулируемые резисторы снабжены охватывающими шинками и шунтирующими перемычками. Передвигая шинку (хомутик) по резистору, можно изменять его рабочее сопротивление в электрической цепи.

Резисторы на стойках крепятся к панели из изолирующего материала.

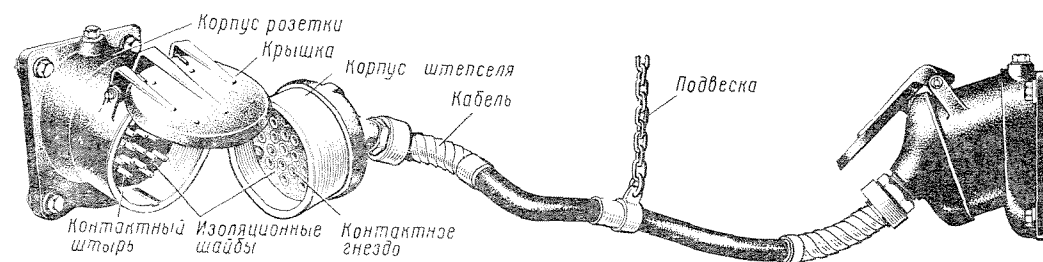


Рис. 241. Межтепловозное соединение

Эти резисторы рассчитаны на рабочий ток в пределах до 5—10 А и поглощают мощность до 350 Вт.

Условные обозначения электрических машин, трансформаторов, полупроводниковых приборов были приведены выше при описании их устройства и принципа действия.

Кроме того, в электрических схемах дизельных локомотивов используются следующие обозначения:

	контакт контактора замыкающий;
	контакт контактора размыкающий;
	контакт с гашением дуги;
	кнопка с замыкающим контактом и самовозвратом;
	кнопка с размыкающим контактом и самовозвратом;
	кнопка с двумя замыкающими контактами и самовозвратом;
	выключатель автоматический;
	контакт реле замыкающий;
	контакт реле размыкающий;
	контакт реле замыкающий с выдержкой времени при размыкании;
	контакт реле замыкающий с выдержкой времени при замыкании;
	контакт реле замыкающий с ручным возвратом;
	контакт неэлектрического реле замыкающий;
	плавкий предохранитель;

	резистор регулируемый;
	шунт;
	обмотка контактора, реле;
	обмотка реле с замедлением при отпускании;
	обмотка реле с замедлением при срабатывании;
	измерительный прибор (амперметр);
	лампа осветительная;
	лампа сигнальная;
	зуммер;
	соединение штепсельное разъемное.

Следует отметить, что размыкающие контакты реле могут также иметь выдержку времени или ручной возврат.

Все аппараты на схемах показаны в обесточенном состоянии, т. е. выключенными. Такое изображение аппаратов в схемах принято считать нормальным.

Электрические цепи тепловоза условно делят на четыре группы: силовая цепь; цепи возбуждения тягового генератора и возбuditеля; цепи управления, защиты и вспомогательного электрооборудования; цепи освещения.

Силовая цепь представляет собой схему собственно электрической передачи тепловоза. Ее дополняет цепь тягового генератора при пуске дизеля. Цепи возбуждения возбuditеля и тягового генератора служат для фор-

мирования внешней характеристики генератора, а следовательно, и тяговой характеристики локомотива. Цепи управления и вспомогательного оборудования используются для питания аппаратов управления локомотивом и контроля за работой его агрегатов, различного вспомогательного электрооборудования от аккумуляторной батареи или вспомогательного генератора. Цепи освещения служат для передачи электроэнергии к источникам света — лампам прожекторов, лампам освещения тепловоза и т. д.

Принципиальные электрические схемы позволяют понять взаимные связи устройств электрооборудования, но не поясняют их расположение на тепловозе. Поэтому узлы одного и того же электрического аппарата, имея одинаковое условное обозначение, могут находиться в самых различных местах рисунка, изображающего электрическую схему тепловоза.

Познакомимся с тепловозной электрической схемой на примере рассмотрения основных электрических цепей тепловоза 2ТЭ10Л с аппаратной системой регулирования мощности тягового генератора и особенностями машинной системы регулирования мощности применительно к тепловозу ТЭЗ. Следует иметь в виду, что процесс совершенствования локомотивов является непрерывным. Поэтому и в электрические схемы строящихся тепловозов постоянно вносятся отдельные изменения.

При описании путей прохождения электрического тока в цепях для краткости перечисляются лишь главные узлы и провода схем. Более подробные электрические схемы тепловоза

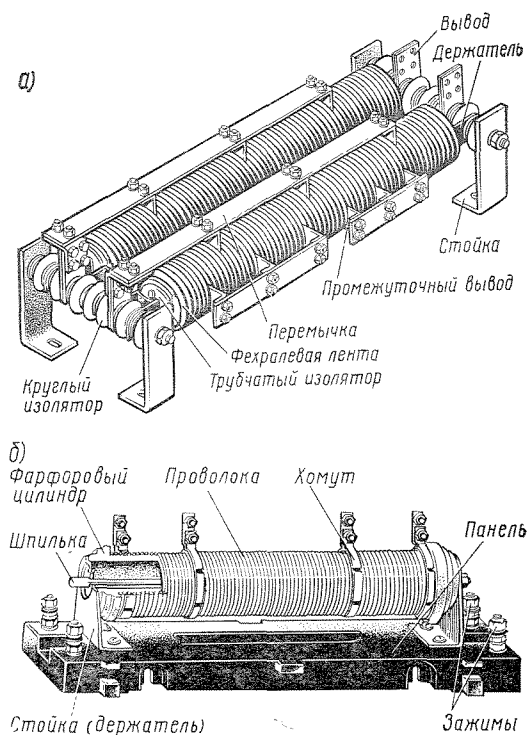


Рис. 242. Резисторы:
а — ленточные; б — проволочные

2ТЭ10Л и тепловозов других серий читатели могут найти в имеющихся руководствах и пособиях по каждому конкретному локомотиву.

СХЕМА СИЛОВОЙ ЦЕПИ ТЕПЛОВОЗА

Тяговый генератор Г каждой секции тепловоза 2ТЭ10Л питает ток шесть тяговых электродвигателей 1—6 (рис. 243).

Цепи тяговых электродвигателей замыкаются с помощью электропневматических контактов П1—П6. При работе тепловоза все электродвигатели соединены параллельно.

Изменение направления движения тепловоза производится с помощью кулачкового реверсора ПР. На рис. 243 показана схема при движении тепловоза вперед. Трогание тепловоза с места происходит при полном возбуждении тяговых электродвигателей, т. е. весь ток якоря каждого электродвигателя проходит последовательно через обмотку К—КК его главных полюсов.

Для обеспечения полного использования мощности дизель-генератора при повышении скорости движения тепловоза параллельно обмоткам возбуждения тяговых двигателей включаются резисторы. При скорости движения тепловоза 39—44 км/ч с помощью группового электропневматического контактора ВШ1 включаются резисторы СШ1 первой ступени ослабления возбуждения тяговых двигателей, и при скорости движения тепловоза 55—65 км/ч групповой контактор ВШ2 включает резисторы СШ2 второй ступени ослабления возбуждения двигателей. Часть тока си-

ловой цепи проходит по шунтирующим резисторам, минуя обмотки главных полюсов электродвигателей.

Глубина ослабления возбуждения электродвигателей на первой ступени составляет 57—63%, а на второй достигает 35—39%. Двух ступеней ослабления возбуждения тяговых электродвигателей оказывается достаточным для обеспечения полного использования мощности дизель-генератора при увеличении скорости движения тепловоза вплоть до конструкционной, равной 100 км/ч. Включением групповых электропневматических контакторов ослабления возбуждения тяговых электродвигателей управляют два реле перехода.

В силовую цепь включены катушки трех реле боксования РБ1—РБ3 и катушка реле заземления РЗ (см. рис. 243). При работе тепловоза, когда замкнуты силовые контакты контакторов П1—П6, их замыкающие блокировочные контакты включают катушку реле боксования РБ1 в цепи первого и третьего тяговых электродвигателей, катушку реле боксования РБ2 — в цепи второго и пятого двигателей, катушку реле боксования РБ3 — в цепи четвертого и шестого двигателей. При отключении неисправного тягового электродвигателя соответствующий электропневматический контактор остается выключенным, а его блокировочные контакты обеспечивают включение катушки реле в цепи другой пары исправных двигателей. Таким образом, и в этом случае все три реле боксования будут использоваться для сохранения противобоксовочных качеств тепловоза. Например, если неисправен и отклю-

чен первый тяговый электродвигатель, то замыкающий блокировочный контакт контактора П1 отключает катушку реле РБ1 от цепи первого тягового электродвигателя, а размыкающий блокировочный контакт контактора П1 и замыкающий блокировочный контакт контактора П3 включают катушку этого реле в цепи второго и третьего двигателей; провода 1112, 1111, 1103, 1102, катушка РБ1, провод 1104, резистор СРБ1, провода 1105, 1106 и 1107.

Резисторы СРБ1—СРБ3, часть которых закорачивается с помощью замыкающих контактов реле управления РУ16, предназначены для раздельной настройки реле боксования при полном и ослабленном возбуждении тяговых электродвигателей. Катушка реле заземления РЗ включена между корпусом тепловоза и минусовой частью силовой цепи. В ее цепь введены резистор СРЗ для настройки реле и отключатель ВРЗ. Принципы действия реле боксования и заземления рассмотрены выше в гл. 17. Для измерения силы тока и напряжения тягового генератора служат амперметр А1 с шунтом 104 и вольтметр VI с добавочным резистором 102.

Тяговый генератор на тепловозах с электрической передачей постоянного тока используется для пуска дизеля. Машинист с помощью дистанционной автоматической системы управления включает пусковые контакторы. От аккумуляторной батареи секции тепловоза, на которой производится пуск дизеля, замыкается цепь тока: от плюсового зажима аккумуляторной батареи, через обмотки якоря, доба-

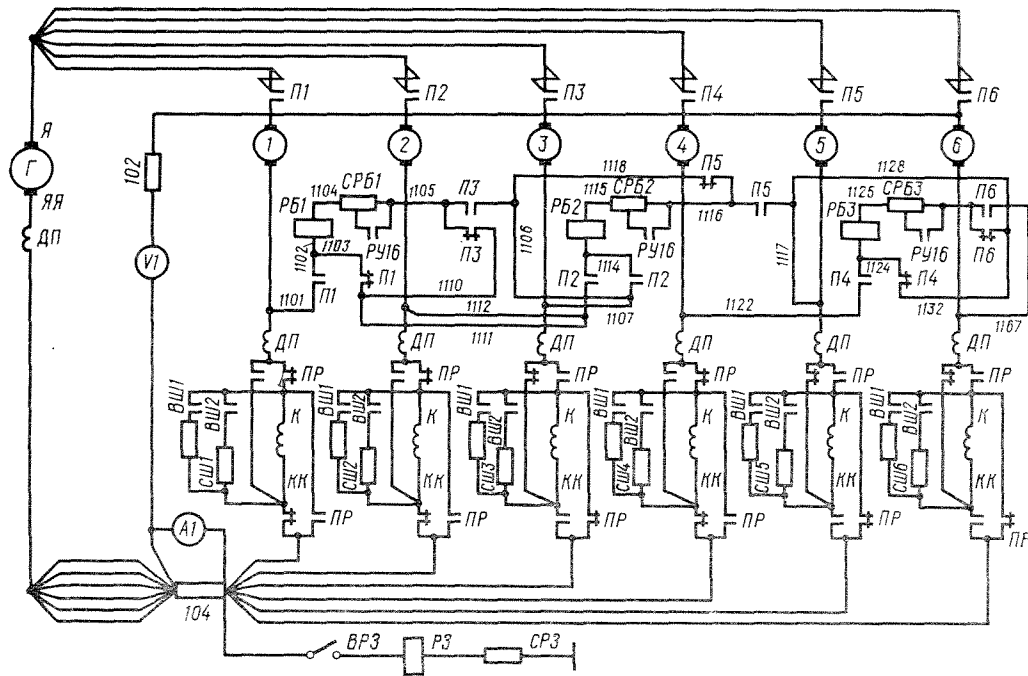


Рис. 243. Схема силовой цепи тепловоза 2ТЭ10Л

вочных полюсов, пусковую тягового генератора на минусовый зажим аккумуляторной батареи. При пуске дизеля одновременно используются аккумуляторные батареи обеих секций тепловоза для питания генератора, что повышает надежность и быстроту пуска, а также продлевает срок службы аккумуляторов, так как значительно снижаются токи разряда каждой батареи и время их работы в этом тяжелом режиме.

ЦЕПИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЯГОВОГО ГЕНЕРАТОРА И ВОЗБУДИТЕЛЯ

Тяговый генератор G тепловоза имеет независимое возбуждение. Обмотка независимого возбуждения $H-NH$ получает питание от возбудителя B (рис. 244). Цепь возбуждения тягового генератора замыкается контактором $KВ$. Параллельно контактам контактора $KВ$ включен резистор $СВГ$, способствующий плавному изменению тока в обмотке возбуждения при отключении контактора $KВ$. Благодаря этому предупреждается перенапряжение на обмотке возбуждения генератора экстратокком выключения и обгорание контактов контактора. Контактор возбуждения генератора $KВ$ включается с помощью контроллера машиниста, начиная с первой его позиции.

Возбудитель тягового генератора представляет собой электрическую машину постоянного тока. Главные полюсы возбудителя снабжены двумя обмотками возбуждения (см. гл. 13): первая обмотка возбуждения $H1-N1$

$НН1$ является основной, вторая обмотка $H2-NH2$ применена для частичного размагничивания возбудителя, а также используется как главная обмотка возбуждения возбудителя при неисправности основной системы возбуждения и аварийном режиме работы. Для возбуждения возбудителя применен синхронный подвозбудитель $СПВ$. Возбуждение синхронного подвозбудителя осуществляется с помощью обмотки полюсов $H1-N2$, получающей питание постоянным током от вспомогательного генератора $ВГ$ через резистор $СВПВ$ при включении контактора $ВВ$ возбуждения возбудителя. Контактор $ВВ$, так же как и контактор $КВ$, включается при переводе рукоятки контроллера машиниста на первую позицию.

Синхронный подвозбудитель $СПВ$ питает переменным однофазным током первичную обмотку $H1-K1$ распределительного трансформатора $Тр$. От вторичных и автотрансформаторных обмоток этого трансформатора получают энергию цепи: обмотки $H1-NH1$ независимого возбуждения возбудителя и рабочих обмоток амплистата $АВ$ (от зажимов $H1-01$); рабочих обмоток трансформаторов постоянного напряжения $ТПН$ и постоянного тока $ТПТ1-ТПТ4$ и управляющей обмотки $ОУ$ амплистата (соответственно от зажимов $H5-K5$ и $H3-K3$, $H4-K4$, $H2-K2$ и $H1-02$); индуктивного датчика $ИД$ регулятора дизеля и регулировочной обмотки $ОР$ амплистата (от зажимов $01-02$). Кроме того, синхронный подвозбудитель питает ток через тахометрический блок $БТ$ задающую обмотку $ОЗ$ амплистата.

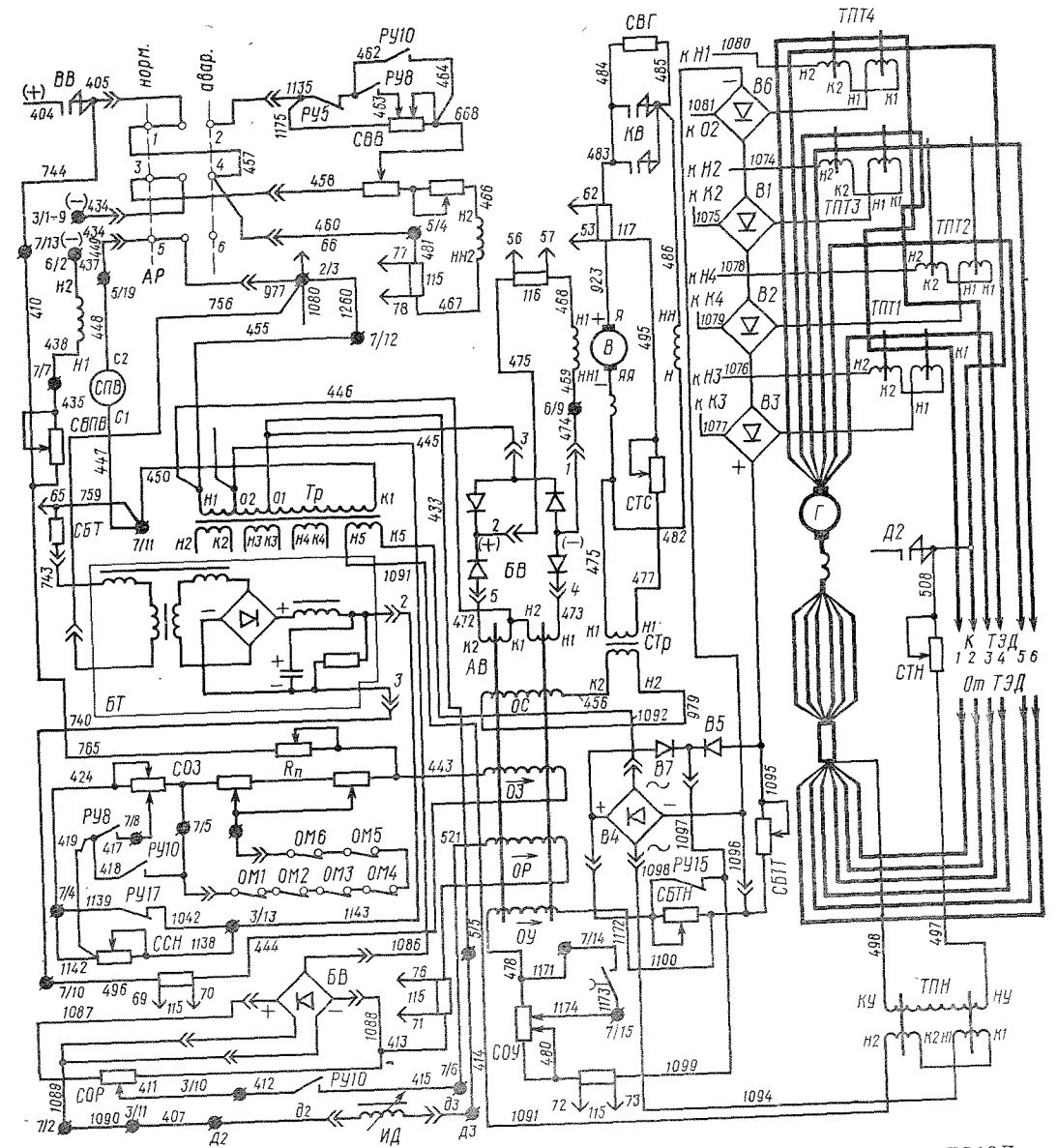


Рис. 244. Схема цепей возбуждения тягового генератора и возбудителя тепловоза 2ТЭ10.1

Размагничивающая обмотка $H2$ — $HH2$ возбудителя получает постоянный ток непосредственно от вспомогательного генератора тепловоза после включения контактора BB .

Рассмотрим эти цепи более подробно.

Цепь независимого возбуждения возбудителя и рабочих обмоток амплистата: зажим $H1$ распределительного трансформатора Tr , провод 446, рабочая обмотка амплистата $H2—K2$, провод 472, диод панели BB , провода 475, 468, обмотка возбудителя $H1—HH1$, провод 469, диод панели BB , контакт 3 штепсельного разъема, провод 445, зажим 01 . При изменении направления переменный ток течет от зажима 01 по проводу 445, через диод панели BB , контакт 2 штепсельного разъема, обмотку возбуждения возбудителя в прежнем направлении и далее через контакт 1 штепсельного разъема, диод панели BB , провод 473, рабочую обмотку $H1—K1$ амплистата к зажиму $H1$. Следовательно, в цепи возбуждения возбудителя, являющегося генератором постоянного тока, течет выпрямленный ток.

Цепь задающей обмотки $O3$ амплистата: от тахометрического блока BT через контакт 2 штепсельного разъема, провода 1143, 1142, 1139, 424, резисторы $CO3$, провод 443, обмотку $O3$, провода 444, 496, 740, контакт 3 штепсельного разъема, минусовый зажим блока BT . В этой цепи блокировочные контакты реле управления $PY8$ и $PY10$ служат для шунтирования участка резистора $CO3$ с целью ступенчатого усиления возбуждения возбудителя при наборе позиций кон-

троллера, а блокировочный контакт реле $PY17$ при боксовании тепловоза вводят в цепь задающей обмотки резистор CSH для снижения возбуждения возбудителя и, следовательно, тока в силовой цепи.

Неисправный тяговый электродвигатель тепловоза выключается из силовой цепи с помощью отключателей $OM1—OM6$. При этом отключатели вводят в цепь задающей обмотки амплистата третью ступень резистора $CO3$, обеспечивая уменьшение возбуждения возбудителя и мощности тягового генератора.

Задающая обмотка амплистата получает дополнительное питание от вспомогательного генератора по цепи: зажим контактора BB , провода 744, 410, 785, резистор R_n , обмотка $O3$ и далее провод (на схеме условно не показан), соединенный непосредственно с минусовым зажимом $6/2$ цепи вспомогательного генератора. Благодаря дополнительной составляющей ток в задающей обмотке на промежуточных позициях контроллера увеличивается, обеспечивая повышение мощности дизель-генератора до заданных значений.

Цепь рабочих обмоток $H1—K1$ и $H2—K2$ трансформатора постоянного напряжения $TПН$: зажим $H5$ распределительного трансформатора Tr , провод 1091, обмотки $H1—K1$ и $H2—K2$, выпрямительный мост $B4$ и резистор $CBTH$, провод 1092, зажим $K5$ трансформатора.

Цепь управляющей обмотки трансформатора $TПН$: плюсовый зажим тягового генератора G , кабель 2-го тягового электродвигателя, провод 508, резистор CTH , провод 497, об-

мотка $HУ—КУ$, провод 498, минусовый зажим генератора.

Цепи рабочих обмоток $H1—K1$ и $H2—K2$ трансформаторов постоянного тока $TПТ1—TПТ4$: зажимы $H3$, $H4$, $H2$, $H1$ распределительного трансформатора Tr , рабочие обмотки трансформаторов, выпрямительные мосты $B3$, $B2$, $B1$, $B6$, зажимы $K3$, $K4$, $K2$, $O2$ трансформатора Tr . Эти мосты со стороны выпрямленного тока соединены последовательно, замкнуты на балластный резистор $CBTT$ и образуют узел выделения максимального сигнала. В качестве обмоток управления через отверстия сердечников трансформаторов постоянного тока пропущены провода силовой цепи.

Управляющая обмотка амплистата $OУ$ получает питание от распределительного трансформатора Tr через селективный узел. Подробно эти цепи были рассмотрены в 18 главе при описании трансформаторов постоянного напряжения и тока.

Цепь регулировочной обмотки OP амплистата: зажим 01 распределительного трансформатора Tr , провода 433, 414, обмотка индуктивного датчика ID , провода 407, 1090, 1089, выпрямительный мост BB , провод 1087, настроечный резистор $COР$, замыкающий контакт реле $PY10$, включенный, начиная с 4-й позиции контроллера, провода 415, 521, регулировочная обмотка OP , провода 413, 1088, выпрямительный мост BB , провод 1086, зажим 02 .

Последняя обмотка управления амплистата — стабилизирующая $HC—KC$ соединена последовательно со вторичной обмоткой $H2—K2$ стабилизирующего трансформатора $СТр$

(см. рис. 244). Первичная обмотка $H1—K1$ этого трансформатора через резистор $СТС$ включена на зажимы возбудителя.

Кроме обмотки независимого возбуждения $H1—HH1$ возбудитель имеет размагничивающую обмотку $H2—HH2$, которая ограничивает возбуждение и ток генератора для плавного трогания тепловоза с места.

На исправном тепловозе аварийный переключатель возбуждения AP устанавливается в положение «Нормальный режим». В этом случае замкнуты нечетные контакты переключателя и размагничивающая обмотка получает питание от вспомогательного генератора по следующей цепи (см. рис. 244): включенный контактор BB , провод 405, контакты 1 переключателя AP , перемычка 457, провода 460, 481, 467, обмотка возбудителя $HH2—H2$, провод 466, резисторы $CBВ$, провод 458, контакт 3 переключателя, провод 434, минусовые зажимы $3/1—9$.

Если основная система возбуждения возбудителя оказалась неисправной, то машинист может перейти на резервную аварийную схему возбуждения. Для этого переключатель AP ставят в положение «Аварийный режим», замыкая его четные контакты. Теперь в обмотке возбудителя $H2—HH2$ ток проходит в обратном направлении по цепи: провод 405, контакты 2 переключателя, провода 1135, 1175, резисторы $CBВ$, провод 466, обмотка $H2—HH2$, провода 467, 481, 460, контакты 4 переключателя, провод 434, минусовые зажимы $3/1—9$. Реле $PY8$ и $PY10$ обеспечивают ступенчатое усиление возбуждения

возбудителя, шунтируя своими блокировочными контактами участки резистора *СВВ*. В случае боксования тепловоза реле *РУ5* своим размыкающим контактом вводит резистор *СВВ* в цепь обмотки *Н2—НН2*, возбуждение возбудителя и, следовательно, ток в силовой цепи снижаются.

ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕСТКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Выше мы убедились, что вся система возбуждения возбудителя выполнена таким образом, чтобы получить гиперболическую внешнюю характеристику тягового генератора в зоне рабочих нагрузок. При этом с уменьшением тока наблюдается обратное пропорциональное увеличение напряжения генератора. Однако оказывается, что такая характеристика генератора весьма неудовлетворительна в случае боксования колесных пар. Если началось боксование одной или нескольких колесных пар, то вследствие увеличения частоты вращения якорей их тяговых электродвигателей значительно повышается э. д. с. этих двигателей и уменьшается потребляемый ток. Уменьшение тока силовой цепи вызывает увеличение напряжения генератора, что способствует не только дальнейшему развитию боксования, но и может вызвать боксование остальных колесных пар. Действительно, с повышением напряжения генератора будет возрастать ток в двигателях небоксующих колесных пар, увеличивая их вращающий момент.

Применение четырех трансформаторов постоянного тока и узла выделения максимального сигнала, состоящего из четырех последовательно соединенных выпрямительных мостов (см. рис. 244), позволило получить жесткие динамические характеристики тягового генератора. Характеристика названа *жесткой* потому, что при боксовании отдельных колесных пар тепловоза изменение тока генератора не влияет на его напряжение. Но такая характеристика реализуется только при боксовании отдельных колесных пар, поэтому она получила еще наименование и *динамической*. Жесткая динамическая характеристика генератора значительно улучшает противобоксовочные свойства локомотива.

Рассмотрим более подробно способ получения жестких динамических характеристик. При работе тепловоза без боксования колесных пар значения токов тяговых электродвигателей будут несколько различными из-за незначительных отличий их характеристик. Трансформатор постоянного тока, подмагничивающийся наибольшим суммарным током пары тяговых электродвигателей, будет давать более сильный ток и в цепи рабочих обмоток по сравнению с тремя остальными трансформаторами. Благодаря последовательному соединению выпрямительных мостов *В1*, *В2*, *В3* и *В6* только трансформатор, имеющий наибольший ток в рабочих обмотках, будет питать через селективный узел цепь управляющей обмотки амплистата. Если начнется боксование колесных пар, приводящее к снижению тока подмагничивания других трансфор-

маторов постоянного тока, то напряжение генератора не изменится, так как оно поддерживается лишь одним трансформатором постоянного тока небоксующих колесных пар. При боксовании колесных пар, двигатели которых связаны с рассматриваемым трансформатором постоянного тока, ток в его рабочих обмотках уменьшится вследствие снижения подмагничивания. Управляющую обмотку амплистата будет питать током один из трех других трансформаторов постоянного тока с наибольшим током в рабочих обмотках. А это будет трансформатор, связанный с тяговыми двигателями небоксующих колесных пар. Таким образом, ток в управляющей обмотке амплистата практически не изменится, останется прежним и напряжение тягового генератора. Так электрическая схема обеспечивает постоянство напряжения тягового генератора; если началось боксование отдельных колесных пар тепловоза, создавая благоприятные условия для прекращения этого явления с помощью реле боксования.

ЦЕПИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ВОЗБУДИТЕЛЯ В СИСТЕМАХ МАШИННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ГЕНЕРАТОРА

Для уяснения особенностей работы машинных систем регулирования мощности рассмотрим цепи возбуждения возбудителя электрической схемы тепловоза ТЭЗ. Основное возбуждение возбудителя создается с помощью трех обмоток главных полюсов — независимой, параллельной и последова-

тельной (рис. 245). Обмотка *НВ—ННВ* независимого возбуждения возбудителя *В* получает питание от вспомогательного генератора *ВГ* при включенном контакторе *ВВ* возбуждения возбудителя: провод *407*, предохранитель *107*, диод *ДЗБ* заряда батареи, провода *404*, *419*, замкнутые контакты контактора *ВВ*, провод *730*, резисторы *СП*, *СВВ*, обмотка *НВ—ННВ*, провода *445*×*2*, *300*, *408*. С помощью резисторов *СП* и *СВВ* устанавливаются необходимый ток независимого возбуждения возбудителя и заданная мощность тягового генератора. При переводе главной рукоятки контроллера на 2-ю позицию срабатывает реле *РУ8*, его замыкающий контакт между проводами *734* и *732* закорачивает резистор *СП*. Поэтому со 2-й позиции контроллера значительно увеличиваются возбуждение возбудителя и генератора, величина тока в силовой цепи и сила тяги тепловоза. Реле управления *РУ1* включается на 16-й позиции контроллера и своим размыкающим контактом между проводами *773* и *774* вводит в цепь независимого возбуждения возбудителя участок резистора *СВВ*. Дело в том, что на этом режиме работы тепловоза приводится в действие система дополнительного регулирования мощности дизель-генератора, предусматривающая добавочное намагничивание полюсов возбудителя с помощью его регулировочной обмотки *Р—РР*. Суммарная магнитодвижущая сила обмоток возбудителя доводится до необходимой величины путем снижения тока в независимой обмотке.

При отключении отдельных неисправных тяговых двигателей выключо-

чение одного из рубильников $OM1-6$, $OM2-3$ или $OM4-5$ позволяет ввести в цепь независимой обмотки участка резистора $СВВ$, обеспечивая снижение возбуждения и мощности генератора для предупреждения перегрузки работающих тяговых электродвигателей.

Параллельная обмотка $ШВ-ШШВ$ возбуждителя включена на зажимы возбуждителя и питается током, вырабатываемым возбуждителем, через регулировочный резистор $СВВ$. Замыкающий контакт между проводами 931 и 930 реле управления $РУ1$ шунтирует участок резистора $СВВ$ для корректировки мощности генератора при 16-м положении контроллера.

Последовательная обмотка $КВ-ККВ$ возбуждителя соединена последовательно с обмоткой $ЯВ-ЯЯВ$ его якоря. Через последовательную обмотку проходит весь ток возбуждителя. Дифференциальная обмотка $О-ОО$ возбуждителя включена параллельно участку силовой цепи, состоящему из кабелей и обмотки добавочных полюсов $ДП$ тягового генератора. Поэтому по дифференциальной обмотке возбуждения возбуждителя проходит часть тока тягового генератора. При увеличении тока в силовой цепи прямо пропорционально ему увеличивается ток в дифференциальной обмотке, размагничивающей возбуждителя. Следовательно, с увеличением тока

генератора будет усиливаться размагничивание возбуждителя, понижаться его напряжение и напряжение генератора. Благодаря этому мощность тягового генератора, равная произведению его тока на напряжение, поддерживается близкой к постоянной.

Регулировочная обмотка возбуждителя $Р-РР$ и тахогенератор $Т1$ позволяют более полно использовать мощность дизеля тепловоза независимо от изменения температуры обмоток электрических машин и от величины мощности, потребляемой вспомогательными механизмами. Регулировочная обмотка включена в цепь тахогенератора $Т1$ и вспомогательного генератора $ВГ$. Ток в ней зависит от разности напряжений этих генераторов. При максимальной частоте вращения вала дизеля напряжение тахогенератора больше напряжения вспомогательного генератора и ток тахогенератора проходит по регулировочной обмотке. В этом случае возбуждение возбуждителя и тягового генератора достигает номинальной величины, реализуется наибольшая мощность дизеля. В случае уменьшения частоты вращения коленчатого вала и якоря тахогенератора вследствие включения дополнительных нагрузок или других причин снизится напряжение тахогенератора, уменьшится ток в регулировочной обмотке. Это приведет к некоторому размагничиванию возбуждителя и уменьшению возбуждения и мощности тягового генератора. Существенное снижение частоты вращения коленчатого вала будет предотвращено.

Тахогенератор имеет независимое возбуждение. Его обмотка возбужде-

ния $Т1-ТТ1$ питается током от вспомогательного генератора. Тахогенератор $Т1$ настроен для работы только при номинальной частоте вращения вала дизеля, а на всех других положениях контроллера машиниста он не участвует в процессе регулирования мощности генератора.

Обмотка $М-ММ$ ограничения тока, расположенная на полюсах возбуждителя, и тахогенератор $Т2$ поддерживают в период трогания и разгона тепловоза максимально допустимый ток тягового генератора, тем самым они обеспечивают быстрый разгон поезда, предотвращают боксование колес и предупреждают перегрузку генератора и тяговых электродвигателей чрезмерным током.

Обмотки ограничения тока и якоря тахогенератора $Т2$ включены параллельно следующему участку силовой цепи: барабан и пальцы реверсора $РР$, обмотки возбуждения 1-го и 6-го тяговых электродвигателей 1 и 6 , шунт амперметра 104 и обмотка добавочных полюсов $ДП$ тягового генератора. Электродвижущая сила тахогенератора $Т2$ направлена навстречу падению напряжения на указанном участке силовой цепи. При достижении предельного тока в силовой цепи падение напряжения на этом ее участке становится больше э. д. с. тахогенератора, и по обмотке пойдет ток. Создаваемый ограничительной обмоткой магнитный поток будет размагничивать возбуждителя. Благодаря этому уменьшается возбуждение генератора и практически предотвращается дальнейшее увеличение тока в силовой цепи. При таком токе будет происходить разгон тепловоза.

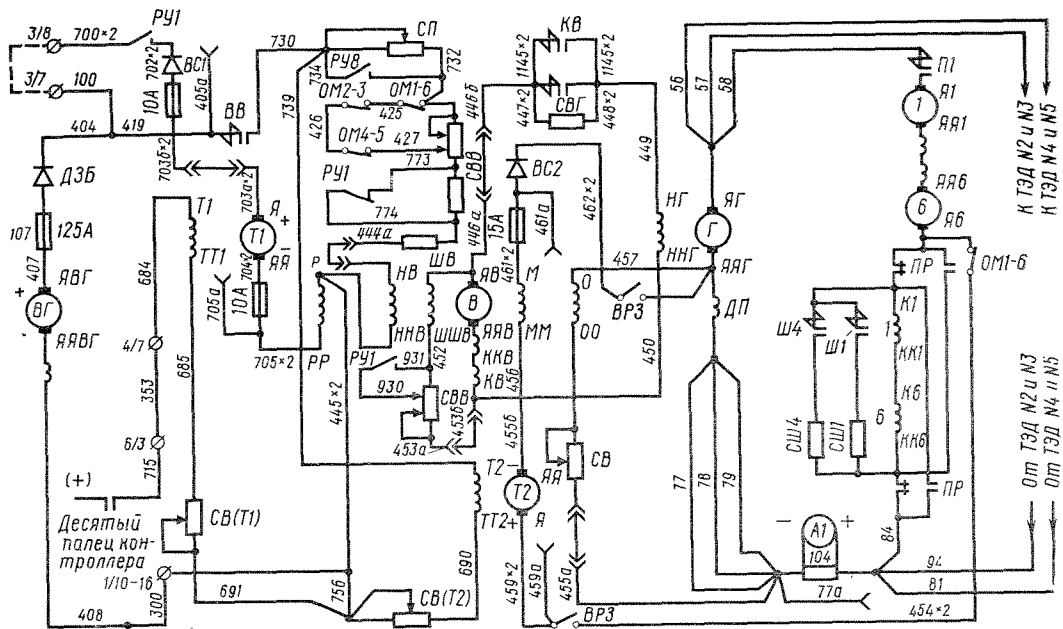


Рис. 245. Схема цепей возбуждения возбуждителя тепловоза ТЭ3

Прохождение тока по ограничительной обмотке возбуждателя в обратном направлении преобразуется выпрямителем ВС2. Обмотка независимого возбуждения Т2—ТТ2 тахогенератора Т2 питается током вспомогательного генератора.

ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЗОМ И ЗАЩИТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

При изучении цепей управления тепловозом и защиты оборудования следует иметь в виду, что принято левые концы всех проводов этих цепей изображать присоединенными к положительному зажиму аккумуляторной батареи или вспомогательного генератора. Правые концы проводов соединяются с отрицательными зажимами этих источников электрической энергии. В соответствии с направлением прохождения тока от плюсовых зажимов к минусовым рассмотрены схем производятся слева направо.

Управление тепловозом машинист начинает с пуска дизеля. Перед пуском, кроме общей проверки исправности, экипировки тепловоза, должны быть подготовлены к работе электрические цепи управления. Для этого на тепловозах 2ТЭ10Л или 2ТЭ10В необходимо включить рубильники аккумуляторных батарей, автоматы «Управление дизелем», «Работа дизеля», «Топливный насос», «Жалюзи», «Пожарная сигнализация» и «Управление», поставить переключатель режимов ПкР в положение, соответствующее односекционной или двухсекционной работе, вставить и повернуть в рабочее положение замковый ключ

КЗ (или на тепловозах 2ТЭ10В вставить рукоятку блокировки тормоза ВУ). Главная рукоятка контроллера должна находиться на нулевой позиции.

Теперь можно приступить к пуску дизеля. Рассмотрим пуск дизеля при односекционной работе тепловоза 2ТЭ10Л. Прежде всего включают тумблер «Топливный насос», который замыкает цепи катушки реле управления РУ3 и электромагнитного вентиля ВП9 механизма выключения пяти топливных насосов правого ряда при работе дизеля на холостом ходу и 1-й позиции контроллера машиниста (рис. 246). Они получают питание по следующей цепи: плюсовые зажимы 1/1—4, замкнутые контакты переключателя ПкР, замковый ключ КЗ (контакты 11—9), автомат «Топливный насос» 46, провода 354, 355, 358, размыкающий контакт реле управления РУ7, катушка реле РУ3 и на минусовый зажим батареи. Параллельно от зажима реле РУ7 по проводу 343, размыкающим контактам реле РУ8, РУ6, проводам 1291, 996, К18 ток проходит через катушку вентиля ВП9 и возвращается на минусовый зажим батареи.

Сработав, реле РУ3 замыкает цепи электродвигателя топливоподкачивающего насоса ТН1 и электромагнитного вентиля ВП6. Ток проходит от плюсового зажима 1/1—4, по проводу 224, через автомат «Управление дизелем» 45, замкнутый контакт РУ3, далее по проводу 225, через автомат «Топливный насос» 46 обмотки якоря и возбуждения электродвигателя ТН1 на минусовый зажим батареи. Параллельно ток про-

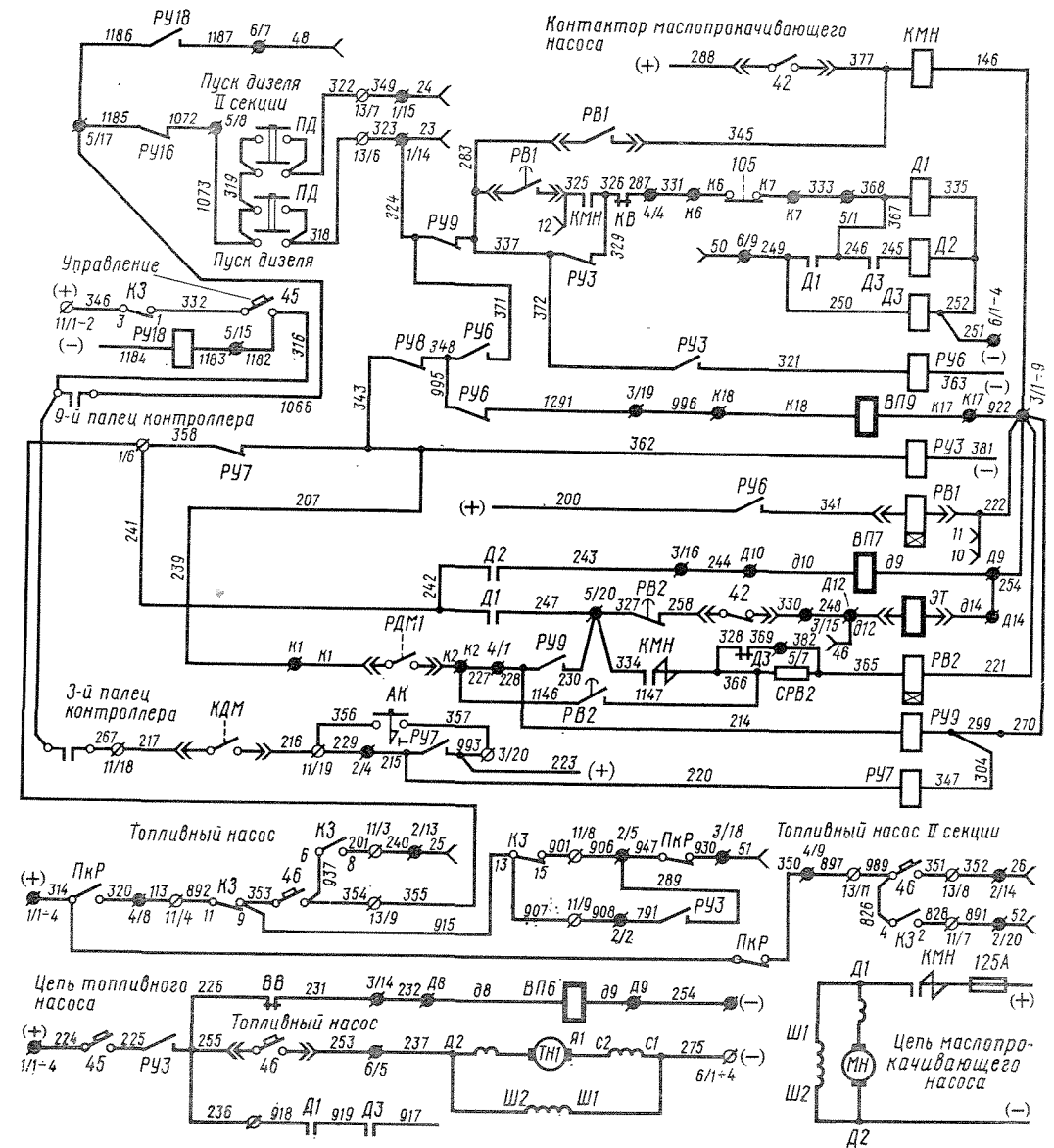


Рис. 246. Электрическая схема управления пуском дизеля

ходит от зажима контакта реле *РУЗ* по проводу *226*, через размыкающий блокировочный контакт контактора *ВВ* возбуждения возбудителя, по проводам *231*, *232*, *28*, через катушку вентиля *ВП6* и далее на минусовые зажимы батареи.

Электродвигатель *ТН1* осуществляет привод топливоподкачивающего насоса, который подает дизельное топливо к топливным насосам высокого давления. Вентиль *ВП6* открывает доступ сжатого воздуха в цилиндр механизма отключения левого ряда топливных насосов при работе дизеля без нагрузки. Работающие топливные насосы будут подавать повышенные порции топлива. При этом улучшается распыливание топлива форсунками, повышается полнота сгорания топлива. Если топливо не сгорает полностью, то часть его смешивается с маслом, что приводит к ухудшению качества масла и преждевременной его замене.

Теперь для пуска дизеля достаточно кратковременно нажать на кнопку *ПД* «Пуск дизеля». При этом замыкается цепь: плюсовый зажим *11/1—2*, контакты *3—1* замкового ключа *КЗ*, автомат «Управление» *45*, провод *316*, замкнутый на нулевой позиции 9-й палец контроллера машиниста, провода *1066*, *1185*, размыкающий контакт реле управления *РУ16*, кнопка «Пуск дизеля», размыкающий контакт *РУ9*, провода *337*, *372*, теперь уже замкнутый контакт реле *РУЗ*, катушка реле *РУ6*, минус батареи. Если главная рукоятка контроллера машиниста не будет находиться на нулевой позиции, то 9-е контактные пальцы контролле-

ра окажутся разомкнутыми и пуск дизеля станет невозможным.

Реле *РУ6* срабатывает и своим первым замыкающим контактом между проводами *200* и *341* образует цепь катушки реле времени *РВ1*, а вторым замыкающим контактом между проводами *348* и *371* создает параллельную цепь питания катушки реле *РУ6* от цепи катушки реле управления *РУЗ* помимо пусковой кнопки. Теперь уже нет необходимости удерживать включенной кнопку «Пуск дизеля». Размыкающий контакт реле *РУ6* между проводами *995* и *1291* разрывает цепь катушки вентиля *ВП9* на период пуска дизеля.

Реле времени *РВ1* своими мгновенно замыкающимися контактами образует цепь питания катушки контактора *КМН* маслопрокачивающего насоса от цепи катушки реле *РУ6*: провод *283*, контакт реле *РВ1*, провод *345*, катушка контактора *КМН*, минус батареи. Контактор *КМН* включается и первой парой главных контактов замыкает цепь электродвигателя *МН* маслопрокачивающего насоса от аккумуляторной батареи через предохранитель на *125 А*. Масляный насос начинает предпусковую прокачку дизеля маслом. Кроме того, включается вторая пара главных контактов и замыкающий блокировочный контакт контактора *КМН*, подготавливая цепи питания током катушки пускового контактора *Д1* (между проводами *325* и *326*) и катушки реле времени *РВ2* (между проводами *334* и *328*).

Приблизительно 90 с длится предварительная прокачка дизеля маслом. Наконец, замыкаются контакты за-

медленного действия реле времени *РВ1* и получает питание катушка пускового контактора *Д1* по цепи: провод *283*, контакт реле времени *РВ1*, провод *325*, замкнутый блокировочный контакт контактора *КМН*, провод *326*, размыкающий блокировочный контакт контактора *КВ* возбуждения тягового генератора, замкнутая блокировка *105* валоповоротного механизма дизеля, катушка контактора *Д1* и далее на минус батареи. Включается пусковой контактор *Д1*. Его замыкающий блокировочный контакт по проводам *367*, *250* обеспечивает питание катушки контактора *Д3*. Кроме того, при двухсекционной работе по проводам *249*, *50*, через межсекционное соединение, далее по проводам *50*, *249*, *250* секции II тепловоза получает ток ее контактор *Д3*. Включение контакторов *Д3* обеих секций обеспечивает параллельное соединение аккумуляторных батарей при пуске дизеля. При включении контактора *Д3* секции I его замыкающие блокировочные контакты образуют цепь питания по проводам *246*, *245* катушки контактора *Д2*. После включения пусковых контакторов генератор, получая электроэнергию от аккумуляторных батарей тепловоза, начинает вращать колесный вал дизеля.

При включении контактора *Д1* его замыкающий блокировочный контакт создает цепь питания катушки реле времени *РВ2*. Ток проходит из цепи катушки реле *РУЗ* (зажим *1/6*) по проводу *241*, через блок-контакт *Д1*, далее по проводам *247*, *334*, второй паре замкнутых силовых контактов контактора *КМН*, замкнутому размы-

кающему блокировочному контакту контактора *Д3*, через катушку реле *РВ2* и далее на минусовые зажимы батареи. Электромагнитная система реле *РВ2* притягивает его якорь. Следует отметить, что после включения контактора *Д3* его блокировочный контакт между проводами *328* и *369* размыкаются и вводят в цепь катушки реле времени *РВ2* резистор *СРВ2*. Благодаря этому предупреждается перегрев катушки.

Блокировочный контакт контактора *Д1* одновременно включают питание блокировочного магнита *ЭТ* автоматического выключения дизеля по цепи: провода *247*, *327*, размыкающий контакт с выдержкой времени реле *РВ2*, тумблер «Маслопрокачивающий насос» *42*, катушка *ЭТ* и далее на минусовый зажим батареи.

При включении пускового контактора *Д2* его замыкающий блокировочный контакт между проводами *242* и *243* подает питание на катушку электромагнитного вентиля *ВП7*, открывающего впуск сжатого воздуха в пневматический цилиндр ускорителя пуска дизеля. Включение блокировочного магнита и ускорителя пуска позволяет регулятору дизеля выдвинуть рейки топливных насосов; начинается подача топлива через форсунки в цилиндры дизеля. После появления устойчивых вспышек топлива в цилиндрах дизель работает, используя энергию сгорающего топлива, и больше уже не нуждается во вращении коленчатого вала от тягового генератора. На все это с помощью реле времени *РВ2* отводится 30 с. Давление масла в масляной системе дизеля должно превысить 0,69—

0,78 МПа (0,7—0,8 кгс/см²), вызывая срабатывание реле давления масла РДМ1. Замыкающий контакт реле РДМ1 открывают путь электрическому току по проводам 239, 227, 228, 214 через катушку реле управления РУ9. Реле срабатывает, и его замыкающий контакт создает цепь питания блокировочного магнита ЭТ от провода 228 независимо от цепи через блокировочные контакты пускового контактора Д1. Размыкающий блокировочный контакт реле времени РУ9 одновременно разрывает цепь питания катушек контакторов Д1, Д2, Д3, КМН и катушки реле РУ6. Выключается и реле времени РВ2 контактором КМН. Таким образом, по сигналу повышения давления масла до требуемого уровня разбирается цепь пуска дизеля. Дизель продолжает работать. Если по каким-либо причинам давление масла остается в процессе пуска недопустимо низким, то схема пуска сохраняется собранной в течение 30 с. Далее пневматическое реле времени РВ2 замыкающим контактом с выдержкой времени замыкает цепь между проводами 1146 и 1147 для питания катушки реле управления РУ9. Это реле, как и при нормальном пуске дизеля, разбирает пусковую электрическую схему. Если раньше блокировочный магнит получал питание через контакты реле РДМ1 и РУ9, то теперь выключающийся размыкающий контакт реле времени РВ2 размыкает цепь блокировочного магнита между проводами 327 и 258. Регулятор с помощью реек выключает подачу топлива топливными насосами в цилиндры, дизель останавливается. Прекраще-

ние пуска дизеля предупреждает чрезмерный разряд аккумуляторных батарей. Необходимо устранить причину неудавшегося пуска и вновь произвести пуск дизеля.

Если при работе дизеля давление масла падает ниже 0,49—0,59 МПа (0,5—0,6 кгс/см²), реле масляного давления РДМ1 размыкает свои контакты между проводами 239 и 227, прекращается питание током блокировочного магнита ЭТ и регулятор останавливает дизель, предотвращая повреждение деталей из-за недостаточной подачи масла.

Читатель заметил, что в ряде цепей включены блокировочные контакты, которые кажутся лишними. В действительности же они выполняют защитные функции. Например, в цепь катушек пусковых контакторов введены размыкающие блокировочные контакты контактора КВ возбуждения тягового генератора и блокировка 105 валоповоротного механизма дизеля. Они предупреждают включение пусковых контакторов при случайном включении контактора КВ (при неисправности схемы), а также в случае, если коленчатый вал соединен с валоповоротным механизмом. Включение контактора КВ приведет к возбуждению генератора в процессе пуска дизеля. Высокое напряжение генератора вызовет повреждение аккумуляторных батарей, присоединенных на его зажимы пусковыми контакторами. Оставленный в рабочем положении валоповоротный механизм в случае пуска дизеля приведет к его повреждению.

Итак, после завершения пуска дизель работает на холостом ходу с

минимальной частотой вращения коленчатого вала. Уже в процессе завершения пуска дизеля при отключении пусковых контакторов Д1 и Д3 их размыкающие блокировочные контакты обеспечивают питание регулятора напряжения по проводам 236, 918, 919, 917 и т. д. Поэтому напряжение вспомогательного генератора, якорь которого получает вращение от вала дизеля, повышается до номинальной величины. После того как напряжение вспомогательного генератора становится выше напряжения аккумуляторной батареи, начинается заряд аккумуляторной батареи, а все цепи управления, освещения и вспомогательного оборудования тепловоза — получают питание электрической энергией от вспомогательного генератора.

В случае экстренной необходимости дизель может быть немедленно остановлен с помощью «Аварийной кнопки» АК, расположенной в кабине машиниста. При включении кнопки ее контакты замыкают цепь питания катушки реле РУ7: провода 223, 993, 357, 356, 229, 220, катушка реле РУ7 и далее на минусовые зажимы батареи. Реле срабатывает и своим замыкающим контактом (между проводами 223 и 220) становится на самоподпитку. Его размыкающий контакт (между проводами 358 и 362) разрывает цепи питания катушки реле РУ3 (в результате чего прекращает работу вспомогательный топливный насос), блокировочного магнита регулятора ЭТ и катушки реле РУ9. Дизель останавливается. Реле РУ9, как будет показано ниже, при выключении своим замыкающим кон-

тактом разрывает цепь катушки контактора возбуждения возбудителя ВВ, тем самым снимается возбуждение тягового генератора.

При двухсекционной работе тепловоза 2ТЭ10Л в процессе пуска дизеля I секции цепи управления получают питание от аккумуляторной батареи II секции через межтепловозное соединение, провода 51, 930, контакты ПкР, КЗ, провода 915, 353 и далее, как при односекционной схеме. Для пуска дизеля II секции с I секции включают тумблер «Топливный насос II секции» и нажимают кнопку «Пуск дизеля II секции». Управление цепями II секции осуществляется через межтепловозное соединение.

Теперь после необходимого прогрева дизеля машинист может привести тепловоз в движение. Перед троганием тепловоза с места машинист производит ряд подготовительных операций: включает автомат «Управление тепловозом», устанавливает реверсивную рукоятку в положение, соответствующее направлению движения локомотива, дает сигнал отправления.

Для приведения тепловоза в движение машинист ставит рукоятку контроллера в 1-ю и последующие позиции (рис. 247).

Что же происходит в электросхеме тепловоза? Еще при включении автомата «Управление» 45 была подготовлена цепь питания катушек электромагнитных вентилях контакторов П1—П6 силовой цепи и катушек контакторов ВВ и КВ возбуждения возбудителя и возбуждения тягового генератора. При повороте главной рукоятки контроллера КМ на 1-ю пози-

цию замыкаются две пары его верхних пальцев. От них ток проходит через замкнутые контакты автомата «Управление тепловозом» 46, зашунтированный контакт К ключа ЭПК (этот ключ пока не получил практического применения), размыкающий контакт РУ12 на пальцы реверсивного барабана контроллера. Если реверсивная рукоятка контроллера установлена в положение «Вперед», то замкнуты нижние пальцы и ток проходит через них, далее по проводам 105, 106, 107 в катушку электромагнитного вентиля «Вперед» В реверсора ПР и затем зажим 6/3 минусовой цепи вспомогательного генератора. Реверсор под действием сжатого воздуха устанавливается в положение «Вперед». При необходимости движения назад машинист изменяет положение реверсивной рукоятки (главная рукоятка переводится в нулевое положение), что приводит к замыканию верхних контактных пальцев реверсивного барабана контроллера. Поэтому после установки главной рукоятки контроллера вновь на 1-ю позицию ток аналогичным путем (но по проводам 101, 102, 103) проходит через верхние пальцы реверсивного барабана и катушку электромагнитного вентиля «Назад» Н реверсора ПР. Реверсор устанавливается в положение движения назад. Реверсор своими блокировочными контактами замыкает по проводам 313, 1050 и т. д. цепь катушки электромагнитного реле времени РВ3. Реле срабатывает и замыкающими контактами без выдержки времени подает питание из цепи реле управления РУ3 по проводам 207,

183, 178, через отключатели ОМ1—ОМ6 тяговых электродвигателей в обмотки электромагнитных вентилях контакторов П1—П6 силовой цепи. Эти контакторы своими главными контактами замыкают силовую цепь тепловоза, т. е. подключают тяговые электродвигатели к генератору тепловоза.

Одновременно замыкающие блокировочные контакты контакторов П1—П6 создают цепь питания катушек контакторов ВВ и КВ возбуждения возбuditеля и генератора. Ток проходит от блокировочных контактов реверсора через размыкающие блокировочные контакты пусковых контакторов Д2 и Д1, контакты выключателей БД4—БД1 дверей аппаратных камер тепловоза, размыкающие контакты реле заземления РЗ и реле управления РУ8, замыкающий контакт реле давления воздуха РД (в тормозной магистрали), замыкающие блокировочные контакты контакторов П1—П6, замыкающий контакт реле РУ4, катушку контактора КВ, размыкающие контакты температурных реле ТРМ и ТРВ масла дизеля и воды и далее на минусовые зажимы цепей управления. От зажима 4/2 цепи контактора КВ получает питание через теперь уже замкнутый замыкающий контакт реле РУ9 (реле включается еще при пуске дизеля) катушка контактора ВВ.

Включившиеся контакторы ВВ и КВ своими главными контактами замыкают цепи возбуждения возбuditеля и тягового генератора. Электрический ток, вырабатываемый генератором, проходит через тяговые двигатели, заставляет вращаться их

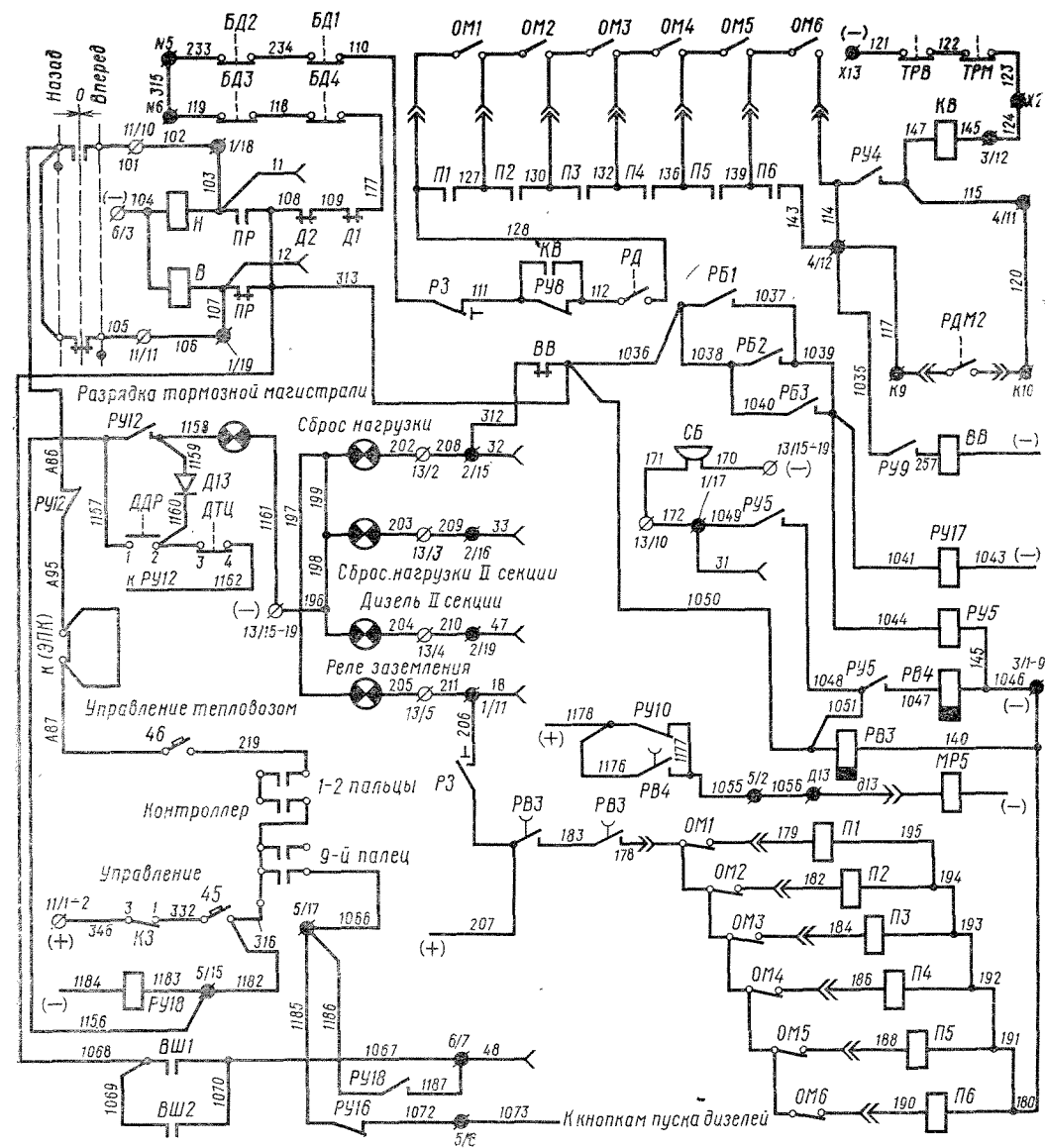


Рис. 247. Электрическая схема управления для приведения тепловоза в движение

якоря, и тепловоз трогается с места (если ток тягового генератора на 1-й позиции контроллера достаточен для трогания по условиям профиля пути, веса поезда и т. д.). Включение контактора *ВВ* приводит также к разрыву его размыкающим блокировочным контактом между проводами 226 и 237 цепи катушки электромагнитного вентиля *ВП6* (см. рис. 246). Вентиль перекрывает доступ сжатого воздуха в механизме отключения левого ряда топливных насосов, и эти насосы начинают подавать топливо в цилиндры дизеля.

С 1-й позиции контроллера вступает в действие защита дизеля от повышенных температур воды и масла. Если их температуры превысят допустимые пределы, срабатывает соответственно температурное реле *ТРВ* или *ТРМ*, и их контакты разрывают между проводами 123 и 121 цепь катушки контактора *КВ*. Благодаря этому снимается возбуждение тягового генератора, и дизель будет работать без нагрузки.

Для прекращения работы тепловоза в режиме тяги главная рукоятка контроллера возвращается в нулевую позицию. Верхние контактные пальцы контроллера машиниста (при уже выключенных групповых контакторах ослабления возбуждения тяговых электродвигателей) непосредственно разрывают цепь питания катушек контакторов *КВ* и *ВВ*, контакторы выключаются, снимая возбуждение тягового генератора. Эти же контактные пальцы контроллера размыкают и цепь катушки реле времени *РВ3*. Однако якорь реле удерживается во включенном состоянии еще 1,2—1,5 с

и только потом отпадает, размыкая контакты реле и, следовательно, цепь тока через катушки электромагнитных вентилях контакторов силовой цепи. Контакторы выключаются, когда уже нет тока в силовой цепи. В результате предупреждается подгорание их главных контактов.

Выключение контакторов возбуждения *В* и *КВ* должно происходить лишь после перехода тяговых двигателей на полное возбуждение, т. е. после выключения групповых контакторов ослабления возбуждения *ВШ1*, *ВШ2*. С этой целью в электро-схему тепловозов 2ТЭ10Л введена подпитка цепи катушек контакторов *ВВ* и *КВ* от 9-го пальца контроллера машиниста через замыкающие блокировочные контакты контакторов *ВШ1*, *ВШ2* и провод 1068 (минуя цепь через первую пару пальцев контроллера). Поэтому питание катушек контакторов возбуждения будет кратковременно сохраняться и на нулевой позиции контроллера до тех пор, пока не отключатся контакторы *ВШ1* и *ВШ2*.

Наличие в цепи катушек контакторов *КВ* и *ВВ* размыкающих блокировочных контактов пусковых контакторов *Д1* и *Д2* исключает возбуждение тягового генератора при включенных пусковых контакторах, когда генератор подключен на аккумуляторную батарею (даже если приварятся главные контакты пусковых контакторов при пуске дизеля).

Увеличение силы тяги и скорости движения тепловоза достигается путем повышения мощности дизель-генератора. При этом частота вращения коленчатого вала с помощью конт-

роллера машиниста увеличивается вплоть до номинальной, когда дизель отдает наибольшую мощность. При передвижении рукоятки контроллера на 2-ю и далее до 15-й позиции с помощью четырех групп подвижных и неподвижных контактов контроллера включаются электромагниты *МР1—МР4* регулятора дизеля в определенной последовательности. Эти магниты постепенно увеличивают затяжку всережимной пружины регулятора, обеспечивают повышение частоты вращения коленчатого вала. При переходе на каждую последующую позицию частота вращения коленчатого вала возрастает на 30—35 об/мин, увеличивается и мощность дизель-генератора.

Кроме того, замыкающиеся контакты контроллера обеспечивают питание катушек следующих реле управления: со 2-й позиции *РУ8*; с 4-й позиции *РУ10*; с 8-й позиции *РУ15*; с 1-й по 12-ю позицию *РУ4*.

Эти реле производят переключения в схеме возбуждения возбуждителя для более плавного нарастания мощности дизель-генератора и силы тяги с целью улучшения пусковых свойств локомотива, допускают включение возбуждения тягового генератора только на 1-й позиции контроллера, вводят в работу со 2-й позиции пять ранее отключенных топливных насосов правого ряда, с 4-й позиции — регулировочную обмотку *ОР* амплиста, с 13-й позиции контроллера — реле масляного давления *РДМ2* и т. д.

Итак, машинист, изменяя мощность дизель-генераторов, с помощью главной рукоятки (штурвала) контроллера обеспечивает заданную ско-

рость движения тепловоза с поездом. Тепловозы 2ТЭ10Л оборудованы дистанционной системой управления охлаждающим устройством, автоматической локомотивной сигнализацией, автоматической пожарной сигнализацией, которые получают питание током от вспомогательного генератора.

ЦЕПИ ОСВЕЩЕНИЯ

На тепловозах применено большое число ламп для освещения оборудования внутри кузова и кабин машиниста, подсветки приборов пульты управления и номерных знаков, для наружного освещения оборудования. Все тепловозы оборудованы лобовыми прожекторами, буферными прожекторами (фонарями).

Осветительные лампы тепловозов имеют мощность 60 Вт, лампы лобовых прожекторов — 500 Вт, буферных — 25 Вт. В устройствах автоматики устанавливаются специальные лампы небольшой мощности (от 2 до 25 Вт). В осветительных цепях отечественных тепловозов широко используется напряжение 75 и 110 В. При применении ламп, рассчитанных на более низкое напряжение, или для получения тусклого света последовательно с лампами включаются проволочные резисторы. Для включения светильников их цепи замыкаются с помощью ручных выключателей-тумблеров. Цепи освещения получают питание непосредственно от зажимов аккумуляторной батареи, минуя рубильник. Это удобно при осмотре и ремонте тепловозов. Если дизель работает, то все цепи освещения получают ток от вспомогательного генератора.

КОЛЕСНАЯ ПАРА

Название «колесная пара» означает, что на одну жесткую ось (рис. 248) на определенном расстоянии друг от друга напрессована пара колес, которые с одинаковой частотой вращаются вместе с осью. От надежности колесной пары в огромной степени зависит безопасность движения. Познакомимся с особенностями ее конструкции.

Каждое колесо обычно состоит из колесного центра и бандажа. Колесный центр — это, как правило, стальной диск, на обод которого с натягом (посадка тепловая) насаживается и дополнительно укрепляется специальным кольцом (на случай ослабления посадки) стальной бандаж. Внешняя поверхность бандажа (поверхность катания) очень небольшой площадью опирается на рельс.

При качении по рельсам колесная пара стремится сойти с них. Эту опасность надежно предотвращает гребень (реборда) бандажа. Для свободного качения колесной пары между гребнем и рельсом оставлено некоторое расстояние — зазор. Интересной особенностью колесной пары железнодорожного подвижного

состава является то, что поверхность катания колес не цилиндрическая. Почему? Начнем с того, что в кривых участках пути на тепловоз действует центробежная сила, стремящаяся прижать гребень бандажа к наружному рельсу. Если бы бандажи колесной пары были цилиндрическими, то одно из колес, проходя по наружному рельсу несколько больший путь (по сравнению с колесом, катящимся по внутреннему рельсу), проскальзывало бы по рельсу. Это снизило бы коэффициент сцепления колес тепловоза с рельсом, увеличило сопротивление качению, мешало прохождению кривых.

Чтобы обойти эти трудности, остается одно единственное решение: заменить простую цилиндрическую поверхность катания колес конической, при которой поверхность катания не горизонтальна, а у гребня имеет больший диаметр, чем на противоположной (наружной) гребню стороне колеса. Этот уклон делается обычно 1:20 по отношению к оси колесной пары. Что же получается? Стоит, скажем, правому колесу катиться по наружному рельсу кругом большего диаметра (в этом случае левое колесо будет катиться меньшим кругом по внутреннему

рельсу), как колесная пара сама по себе станет одним колесом пробегать в кривой больший путь, а другим — меньший путь, хотя оба колеса жестко закреплены на оси.

На прямых участках пути каждая колесная пара то набегает, то отходит своими гребнями от рельсов. Она как бы виляет то в одну, то в другую сторону. Такое извилистое на прямолинейных участках движение сопровождается нежелательными ударами гребней колес в боковые поверхности рельсов, усиливающимися по мере увеличения скорости движения тепловоза и зазоров между гребнями бандажей и головкой рельса. Однако при конической поверхности катания удары эти значительно меньше, чем при цилиндрической поверхности, так как конические колеса сильнее сопротивляются поперечному перемещению колесной пары.

Конструируя колесные пары, инженеры стремятся к снижению их массы и не только потому, что при этом сберегается металл, но и потому, что уменьшается вредное воздействие колесных пар на верхнее строение пути, особенно при высоких скоростях. Ведь контакт между колесами и рельсами — жесткий, между ними нет рессор, смягчающих нагрузки: колесная пара не обрессорена. В то же время удельное давление колеса на рельс в месте контакта достигает несколько тонн (!) на 1 см². Один из путей снижения массы — это применение колес без бандажей. В этом случае наружная поверхность обода колеса сама является поверхностью катания. Такие

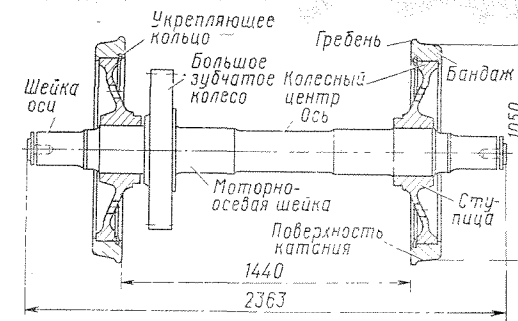


Рис. 248. Обычная колесная пара тепловозов (разрез)

цельнокатанные колеса дают внушительный выигрыш в массе: примерно полтонны на каждую колесную пару! Однако, когда износ колес достигает предельного размера, приходится изымать из эксплуатации не бандажи, которых нет, а целиком колесные центры. Цельнокатанные колеса находят применение на локомотивах, конструкционная скорость которых достигает порядка 200 км/ч. При такой высокой скорости очень важно иметь хорошо сбалансированные колесные пары, а этим как раз и отличаются цельнокатанные колеса.

Масса, размеры и элементы колесной пары во многом зависят от типа тепловоза и, в частности, от способа передачи колесам вращающего момента, создаваемого тяговым электродвигателем.

КАК УСТАНОВИТЬ И СОЕДИНИТЬ ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ С КОЛЕСНОЙ ПАРОЙ?

Обычно тяговые электродвигатели тепловозов размещают так, чтобы их валы были параллельны осям

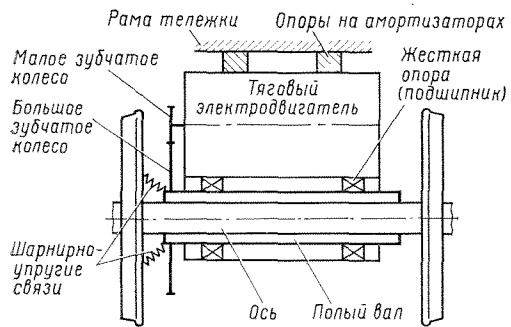


Рис. 249. Схема опорно-рамной подвески тягового электродвигателя

колесных пар. В этом случае, закрепив на валу электродвигателя малое зубчатое колесо (шестерню), а на оси колесной пары большое зубчатое колесо (см. рис. 248), получают простую зубчатую передачу, посредством которой колесная пара приводится в движение.

Тяговые электродвигатели локомотивов имеют, к сожалению, внушительную массу (около 3—5 т). Возникает вопрос: где и как их установить? Казалось бы, на раме тележки, ведь она обрессорена и поэтому двигатели не будут испытывать жестких ударов, возникающих при движении колес по неровностям пути, например по стыкам рельсов. В конечном итоге это приведет к уменьшению расходов на содержание и ремонт как пути, так и двигателя.

Пассажирские тепловозы ТЭП60, ТЭП70, ТЭП75 развивают значительные скорости движения. Чтобы снизить увеличивающееся с ростом скорости воздействие локомотива на путь, масса тяговых электродвигателей воспринимается только рамой

тележки. В этом случае принято говорить, что они имеют *опорно-рамную подвеску*. Посмотрите на рис. 249 и 250. Вы видите, что в колесной паре появилось довольно сложное промежуточное устройство. На участке между колесами ось колесной пары охвачена *полым* валом (стальной трубой) не вплотную, а с зазором. Полюый вал «не падает» на ось, так как удерживается жесткими опорами — двумя моторно-осевыми подшипниками, укрепленными в корпусе тягового электродвигателя. Ведомое (большое) зубчатое колесо насажено на полюый вал, который в свою очередь соединен с колесным центром шарнирно-упругими связями: ось колесной пары непосредственного контакта с тяговым электродвигателем не имеет. Вращающий момент от двигателя передается по следующей цепочке: малое зубчатое колесо — большое зубчатое колесо — полюый вал — шарнирно-упругая связь — колесный центр.

Конструктивно шарнирно-упругая связь может быть устроена, например, так. На каждом конце полого вала укрепляют по диску (так называемому приводу) с двумя пальцами, которые, как это видно из рис 251, свободно (с зазором) пропускают через соответствующие отверстия в колесном центре. Еще два пальца укрепляют на самом колесном центре. На ось колесной пары (с наружных сторон колеса) свободно надевают траверсу («плавающую» рамку), которую четырьмя тягами соединяют с четырьмя пальцами. Тяги, иногда называемые поводками, соединяются с пальцами и плавающей траверсой

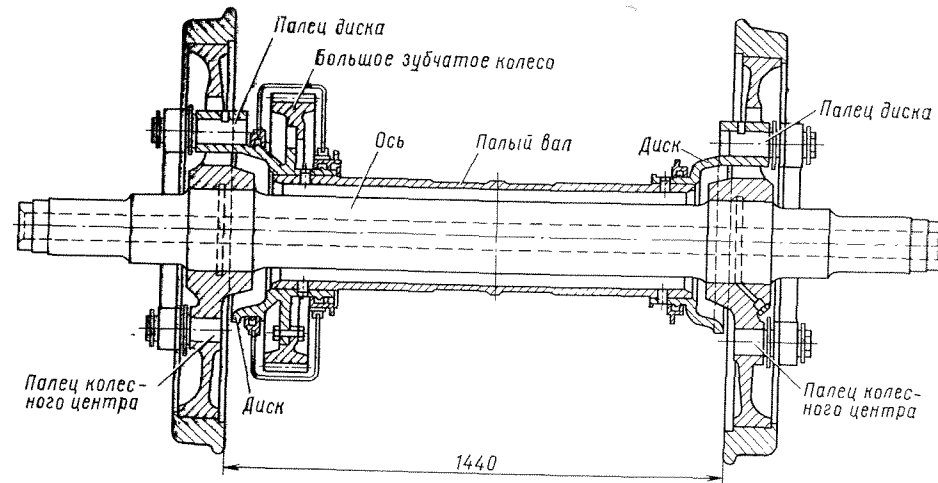


Рис. 250. Колесная пара тепловозов ТЭП60 и ТЭП70 (первых выпусков) с полым валом

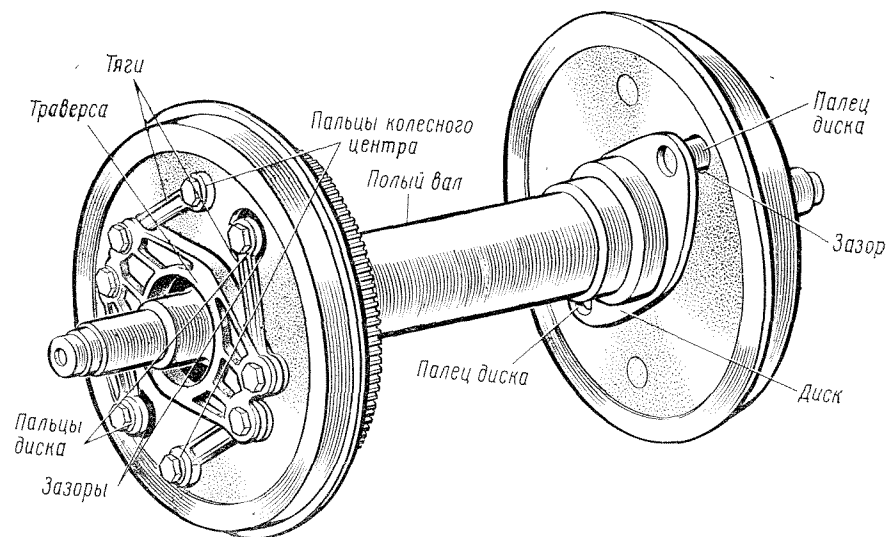


Рис. 251. Вид на шарнирно-упругую связь колесной пары тепловозов ТЭП60 и ТЭП70 (первых выпусков)

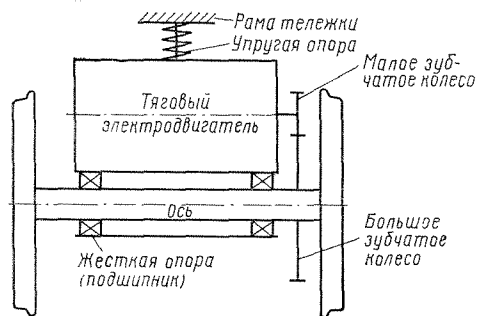


Рис. 252. Схема опорно-осевой подвески тягового электродвигателя

через резинометаллические втулки, выполняющие роль эластичных шарниров. В целом конструкция представляет собой эластичную муфту. Каждая колесная пара имеет две муфты (на левом и правом колесах).

Таким довольно сложным путем с помощью шарнирно-упругих деталей достигается передача вращающего момента колесной паре с полым валом. Эластичные элементы, наличие зазоров, повороты тяг и траверсы — все это и создает условия для взаимного перемещения тягового электродвигателя относительно оси колесной пары при ее движении по неровностям пути и при «игре» рессорного подвешивания. Благодаря этому вращающий момент от тягового электродвигателя колесной паре передается относительно мягко, без ударов. Опорно-рамная подвеска имеет и другие достоинства, связанные с повышением надежности тягового двигателя. Она пробивает дорогу и на грузовые локомотивы, отличающиеся повышенной мощностью и нагрузкой от оси на рельсы. В част-

ности, она применена на новом тепловозе 2ТЭ121 мощностью 2940 кВт (4000 л.с.) в секции. Однако на всех построенных в нашей стране грузовых тепловозах, имеющих относительно невысокие скорости и ограниченную до 225 кН (23 тс) нагрузку от оси на рельсы, опорно-рамная подвеска не применяется, так как конструктивно она сложна, а в обслуживании и ремонте затруднительна. Конструкторы работают над созданием новых, более простых и совершенных типов опорно-рамной подвески, в частности без полого вала.

На грузовых тепловозах 2ТЭ116, 2ТЭ10В, 2ТЭ10Л, М62, ТЭЗ и др. тяговый электродвигатель устанавливают так, что на раму тележки приходится часть его веса (примерно половина), а другую часть веса воспринимает колесная пара. Иными словами, тяговый электродвигатель одной стороной опирается на раму тележки через упругие опоры (комплект пружин), а другой стороной — на ось колесной пары через две жесткие опоры (моторно-осевые подшипники). Подобная установка тягового двигателя получила название *опорно-осевой* (рис. 252). При такой подвеске расстояние между валом тягового электродвигателя и осью колесной пары мало изменяется, что позволяет закрепить большое зубчатое колесо непосредственно на оси колесной пары, т. е. упростить конструкцию. Простая в изготовлении, надежная в эксплуатации, удобная для обслуживания опорно-осевая подвеска, казалось бы, не имеет недостатков. Однако это не так. Ведь

ось колесной пары не может свободно перемещаться относительно тягового двигателя. А такое перемещение необходимо из-за неровностей пути. Самая же главная неприятность в том, что на ось колесной пары локомотива дополнительной нагрузкой ложится 15—25 кН, или 1,5—2,5 тс (!) от тягового электродвигателя: динамическое воздействие от колесной пары на путь с ростом скорости увеличивается, усиливаются нагрузки на жесткие опоры — моторно-осевые подшипники, зубчатые колеса и на сам электродвигатель, что осложняет и без того тяжелые

условия, в которых он работает: переменные нагрузки, перекося остова электродвигателя из-за неизбежных зазоров в моторно-осевых подшипниках и др.

Стремление избавиться от этих недостатков вынуждает усложнять конструкцию большого зубчатого колеса: его венцы упруго соединяют со ступицей этого колеса при помощи, например, резинометаллических блоков (вкладышей). На тепловозах 2ТЭ10В и 2ТЭ116 их шестнадцать. Подрезиненные колеса хотя и улучшают условия работы зубчатой передачи и элементов тягового электро-

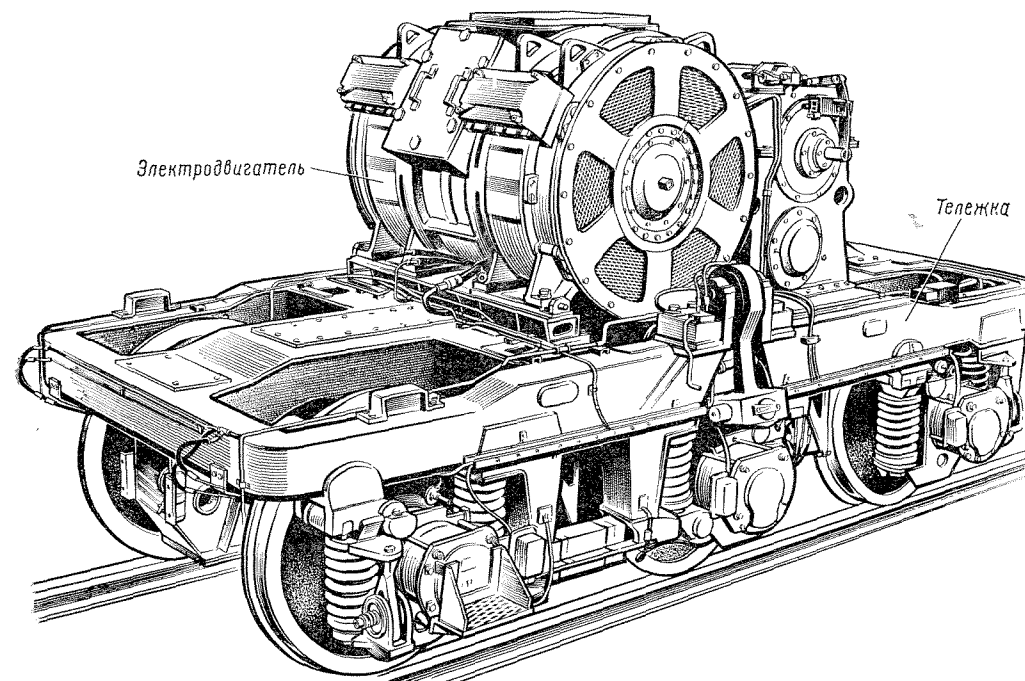


Рис. 253. Общий вид моноmotorной тележки с одним тяговым двигателем

двигателя, но не устраняют основной недостаток опорно-осевой подвески: вес двигателя, приходящийся на ось колесной пары, остается неподресоренным.

Мы рассказали о двух главных системах подвески тяговых электродвигателей: *опорно-осевой и опорно-рамной*. Обе они примечательны тем, что каждый тяговый электродвигатель обычно приводит во вращение одну собственную колесную пару. Наряду с такими индивидуальными приводами, получившими широкое распространение на современных тепловозах, известны конструкции, в которых один тяговый двигатель приводит в движение одновременно две или три колесные пары, так что все они имеют одинаковую частоту вращения. Тележку с одним электродвигателем (рис. 253) принято называть *мономоторной* (одномоторной), а сам привод — *групповым*. Естественно, один двигатель весит меньше и занимает места меньше, чем, скажем, три в трехосной тележке, и поэтому общая масса ее уменьшается, в том числе за счет сокращения расстояния между осями колесных пар. В этом и состоит одно из основных достоинств группового привода для тепловозов. Есть и другая выгода. Допустим, на поверхность рельсов случайно попало масло. Так как движущие колесные пары механически соединены между собой, они, помогая друг другу, в некоторых случаях могут увереннее реализовать силу тяги (расчетную), чем при индивидуальном приводе. Однако групповой привод требует высокой точности изготовления зубчатой передачи.

БУКСЫ И ПОДШИПНИКИ

Название «букса» происходит от немецкого *Vichse*, что значит ящик, коробка. Букса современного тепловоза мало похожа на ящик, она представляет собой стальной литой корпус сложной конструкции с подшипниками качения внутри. Через подшипник букса опирается на шейку оси. На буксу, как правило, опирается одна из «точек» рессорного подвешивания (см. с. 348). Таким образом, букса выдерживает и передает нагрузку от массы тепловоза на ось колесной пары, воспринимает и передает силу тяги и торможения. В этом и состоит ее назначение. Кроме того, она воспринимает толчки от неровностей пути, усилия от боковых перемещений колесной пары и др. Условия, в которых приходится работать буксам, осложняются тем, что они не обрессорены.

На тепловозах разных серий буксы различаются между собой по устройству, однако они имеют много общих черт, вытекающих из их назначения, условий работы и требований, предъявляемых к ним во время эксплуатации. Конструкторы стремятся сделать буксы как можно надежней, легче и компактнее: ведь только на один тепловоз (например, 2ТЭ10В) идет 24 буксы. И еще: затраты на ремонт и эксплуатацию буксового узла и трение в нем должны быть минимальны. Как же решаются эти задачи? Прежде всего подчеркнем, что на всех отечественных тепловозах применяются буксы с двухрядными цилиндрическими роликовыми подшипниками. В резуль-

тате трение в них по сравнению с подшипниками скольжения уменьшается в несколько раз, т. е. в конечном итоге сокращается расход топлива на тягу поезда. Подшипники качения требуют значительно меньше смазки, чем подшипники скольжения, и проще в эксплуатации. Из-за уменьшения трения облегчается трогание локомотива с места, что особенно важно в сильные морозы, когда смазка загустевает. В целом надежность буксы с подшипниками качения повышается, поэтому служат они дольше.

Упрощенная схема устройства буксы с роликовыми подшипниками показана на рис. 254. На шейку оси колесной пары насажено внутреннее кольцо, которое вращается вместе с осью. Другое кольцо (наружное) большего диаметра остается неподвижным в корпусе буксы. Между двумя кольцами находятся ролики. Когда тепловоз начинает двигаться, внутреннее кольцо вращается и увлекает ролики, которые перекатываются между кольцами, по своим дорожкам. Обычно на наших локомотивах в одном корпусе буксы размещены два роликовых подшипника, между которыми установлены большое и малое кольца, называемые дистанционными.

Каждая букса при качении колесной пары в колее делает по отношению к раме тележки сложные перемещения: вверх — вниз и к тому же влево — вправо (поперек рамы). Так как рама тележки является обрессоренной частью экипажа, а букса необрессоренной, то буксе должна быть обеспечена некоторая свобода перемещения по отношению к раме те-

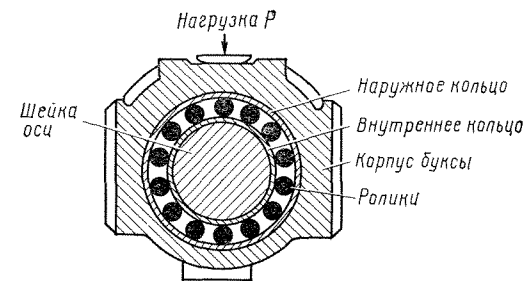


Рис. 254. Упрощенная схема устройства буксы

лежки, чтобы она могла воспринимать вертикальные силы, действующие на нее.

На тепловозах 2ТЭ10Л, ТЭЗ, ТЭМ2, М62 и др. эта задача решена так. Корпус буксы свободно (с некоторым зазором) вставлен в специальный вырез в раме тележки, называемый челюстью. В результате обеспечивается подвижная связь рамы с буксой (колесной парой). Такая букса, получившая название *челюстной*, своими боковыми поверхностями трется о боковые поверхности (наличники) вырезов рамы.

На тепловозах, где буксы снабжены наличниками, сверху буксы помещена масленка, из которой жидкое масло подается в зазоры между наличниками буксы и рамы. Из-за возникающего трения скольжения зазоры между буксой и рамой со временем увеличиваются, и колесные пары начинают перемещаться вдоль и поперек относительно пути, способствуя продольному проскальзыванию колес по рельсам и более интенсивному одностороннему износу гребней бандажей колесных пар. В этом состоит один из недостатков челюстной бук-

сы: очень велик износ наличников, которые часто (на каждом подъемочном ремонте) приходится заменять.

В целях уничтожения трения между буксой и рамой, о чем говорилось выше, а значит, устранения износа буксового узла и улучшения динамики экипажа конструкторы создали буксы, не имеющие направляющих и наличников, — так называемые *бесчелюстные буксы*.

Возникает вопрос: как обеспечивается подвижная (в горизонтальной и вертикальной плоскостях) связь такой буксы с рамой тележки? При помощи двух рычагов (поводков), расположенных вверху и внизу буксы; с рамой тележки и буксой поводки соединены шарнирами с резинометаллическими втулками. Такие бесчелюстные буксы установлены на тепловозах 2ТЭ116, 2ТЭ10В, ТЭП60, ТЭП70 и др. Замечательная особенность их состоит в том, что у них нет деталей, подверженных трению скольжения. Поводки удерживают буксу от перемещения вдоль пути. Благодаря этому уменьшается влияние колесных пар. Кроме того, поводки благодаря деформации резины играют роль амортизаторов, частично гасят колебания буксы. Поводки позволяют раме тележки перемещаться относительно буксы в вертикальном направлении. Через буксовые поводки сила тяги и тормозная сила передаются раме тележки. Бесчелюстные (поводковые) буксы надежнее челюстных.

В роликовых буксах тепловозов ТЭП60, ТЭП70, 2ТЭ10Л, 2ТЭ116 и других (более поздних выпусков) применяются не жидкие, а мазеобразные пластичные (консистентные)

смазки, что экономичнее и упрощает уход за буксами в эксплуатации.

А как быть с восприятием усилий, действующих вдоль оси колесной пары, особенно при прохождении тепловозом кривых участков пути? На всех современных тепловозах приходится устраивать в буксе с цилиндрическими роликовыми подшипниками так называемые *осевые упоры*.

Осевыми они называются так потому, что ось, перемещаясь поперек рамы, своим торцом упирается в упор, который и передает нагрузку на буксу, а букса — на раму тележки. Осевые упоры делают жесткими (средняя ось) и упругими — пружинными (крайние оси), так как именно эти оси воспринимают прежде всего осевые нагрузки в кривых участках пути. Чтобы осевой упор меньше изнашивался, его смазывают жидкой смазкой (через фитиль). Но жидкая смазка неудобна в эксплуатации. Поэтому ее заменили консистентной. Обслуживание буксы упростилось, расход смазки уменьшился и, как следствие, снизились расходы на эксплуатацию.

На современных мощных локомотивах применяются бесчелюстные буксы с осевыми упорами качения.

В последнее время вместо пружинных осевых упоров начали применять резиновые амортизаторы, более простые по устройству.

РЕССОРНОЕ ПОДВЕШИВАНИЕ

Тепловоз, как и любой локомотив, фактически движется не по ровным и гладким рельсам, какими они кажут-

ся на вид, а по рельсам, имеющим неровности. Такие же неровности есть и на поверхности катания колес. По мере износа (в период эксплуатации локомотива, между обточками колесных пар) эти поверхности становятся неточными окружностями. Если бы неровностей не было, если бы рельсы и колеса, катящиеся по ним, были идеальными, если бы жесткость пути на всех участках была одинаковой, не возникало бы ни ударов, ни толчков, а следовательно, и колебаний тепловоза. Но этого практически не бывает. При наезде колеса на неровности рельсов, и особенно на стыки, возникают удары, и тем сильнее, чем выше скорость. Сила ударов, напоминающих удары молота по наковальне, при скорости 100—120 км/ч достигает нескольких сотен килоньютон (десятков тонно-сил). Кроме ударов в вертикальном направлении, возникают динамические усилия и в горизонтальной плоскости. Динамические нагрузки передаются оборудованию тепловоза также при вписывании его в кривые участки пути.

Ясно, что вовсе избавиться от ударов невозможно. Но зато можно уменьшить их силу, а следовательно, спасти дизель и другое оборудование, размещенное в кузове, да и сам кузов и рамы тележек от разрушения, а локомотивную бригаду избавить от сильной утомительной тряски. Что же для этого нужно сделать? Очевидно, надо преградить дорогу ударам. Условно разведем колесные пары с буксами от рам тележек и в местах разрыва поставим упругий барьер — комплекс упругих тел, соединяющих буксы колесных пар с рамами теле-

жек. В этом случае цепь, по которой передается кинетическая энергия ударов, будет прервана упругими телами, т. е. телами, обладающими упругой деформацией¹. Упругая деформация исчезает после того, как удалена сила (удар), вызвавшая ее. Одним из наиболее распространенных видов упругих тел, применяемых на транспортных средствах, является листовая рессора (от французского *ressort*, что означает упругость). Ознакомимся с ее устройством.

На рис. 255, а изображена прямоугольная стальная пластинка *АВ*, опирающаяся посередине на призму. К концам ее подвешен груз, вес которого заставляет пластинку прогнуться (см. штриховую линию). В каждом сечении изогнутая пластинка будет испытывать разные напряжения.

Чем ближе сечение к призме, т. е. к месту закрепления, тем больше напряжение, чем дальше от места закрепления, тем меньше напряжение. А нужно, чтобы пластинка равной толщины имела одинаковые напряжения во всех сечениях.

Как этого добиться?

Пластинке необходимо придать форму ромба *АВВГ* (рис. 255, б). Если опереть ромбообразную пластинку посередине на призму и подвесить по концам груз, то в любом ее сечении *аа*, *бб* и т. д. будут одинаковые напряжения, так как при такой форме, как это нетрудно догадаться, площадь поперечного сечения, а следовательно, и момент сопротивления

¹ От латинского слова *deformatio* — искажение — изменение формы или размеров тела.

пластинки (в направлении от ее концов к середине) будет возрастать пропорционально изгибающему моменту. Такие пластинки в форме ромбов относят к телам, которые носят название *тел равного сопротивления изгибу*. При ромбовидной форме все листы рессоры при изгибе имели бы примерно одинаковые напряжения. Но ромбовидные листы неудобно применять в подвижном составе из-за слишком большой ширины. Чтобы ширина рессоры была небольшой и в то же время сохранились качества тела равного сопротивления, поступают

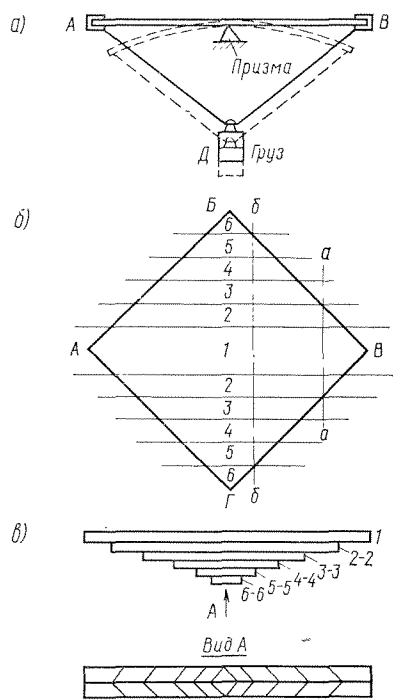


Рис. 255. Схема образования листовой рессоры

так: ромбовидный лист разрезают на несколько листов небольшой ширины (линии разреза приведены на рис. 255, б). Затем полученные листы соединяют попарно (в нашем примере 2—2, 3—3, 4—4, 5—5 и 6—6) и накладывают друг на друга (рис. 255, в) с таким расчетом, чтобы наверху был самый длинный и широкий (коренной) лист 1 (практически берут два-три коренных листа). Под коренным листом размещаются остальные более короткие листы. Количество листов в рессоре выбирается в зависимости от их размеров и величины нагрузки. Собранные таким образом листы охватывают хомутом в средней их части.

Более просто устроена пружина — винтовая (цилиндрическая) рессора, навитая из одного прутка. Какими же свойствами должна обладать листовая рессора или винтовая пружина, чтобы она лучше смягчала толчки и удары?

Необходимо, чтобы рессорная система была как можно мягче, т. е. чтобы, по возможности, больше прогибалась (сжималась). Как же определить, какая из рессор или пружин мягче? Возьмем ряд пружин и будем нагружать их одной и той же силой P (рис. 256). Мы убедимся, что пружины неодинаково поддаются прогибу: самой жесткой (тугой) оказалась пружина, у которой прогиб равен 10 мм, а самой гибкой (слабой) — пружина с прогибом 40 мм. Чем больше сможет прогнуться рессора (пружина) под нагрузкой, тем она мягче, чем меньше — тем жестче. Условились считать, что прогиб рессоры (пружины) в миллиметрах под действием

груза 10 кН (1 тс) или 10 Н (1 кгс) характеризует *гибкость рессоры*.

Гибкость — одна из важнейших характеристик упругих свойств рессоры. Обычно гибкость рессорной системы устанавливают в зависимости от скорости. Чем выше конструктивная скорость локомотива, тем гибче должна быть рессора. Поэтому на пассажирских локомотивах рессорная система более гибкая. Она лучше смягчает воспринимаемые толчки и удары при наезде колес на неровности пути, однако гибкость ограничивается прочностью рессор. Такой же важной характеристикой упругих свойств рессоры является *жесткость — величина, обратная гибкости*, т. е. нагрузка в ньютонах (тонно-силах или килограмм-силах), вызывающая прогиб рессоры на 1 мм.

Колеса с каждым годом вращаются все быстрее и быстрее (увеличивается скорость движения), поэтому удары становятся все более сильными. Усилия конструкторов направлены на то, чтобы уменьшить силы, возникающие при ударе. Улучшая плавность хода локомотива, конструкторы стремятся возможно больше увеличить статический прогиб (прогиб рессор у неподвижного локомотива) и уменьшить жесткость рессор, что уменьшает силы, передающиеся от пути к надрессорному строению. Статический прогиб рессор у современных локомотивов достигает 100—115 мм и даже 150—170 мм (при пневматическом или двухступенчатом рессорном подвешивании и последовательном включении упругих элементов, размещаемых между рамой тележки и кузовом локомотива).

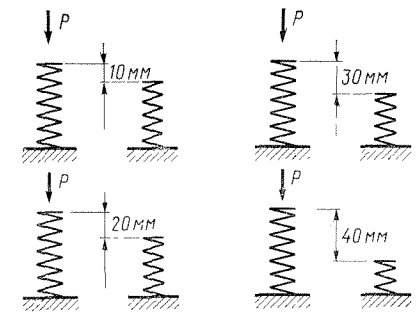


Рис. 256. Прогиб пружин под действием одной и той же силы

Какими же путями этого добиваются? Гибкость рессорного подвешивания листовых рессор увеличится, если они станут работать совместно с винтовыми (пружинными) рессорами (рис. 257). Чтобы более равномерно распределить нагрузку между осями тележки, отдельные рессоры часто соединяют одну с другой посредством балансиров. Балансир напоминает коромысло: средней своей частью он опирается на специальную опору буксы, на которой может качаться. С листовыми рессорами балансиры соединены с помощью подвесок. Внешние концы крайних балансиров через стойку связаны с *двойными* пружинами, опирающимися на раму тележки. Таким образом, на этот конец балансира нагрузка от рамы передается через две пружины, что позволяет снизить напряженность их работы. На рессоры нагрузка от рамы тележки передается через хомуты, соприкасающиеся с нижней плоскостью боковин тележки посредством подкладок. Механизм, составленный из рессор, балансиров, подвесок, повод-

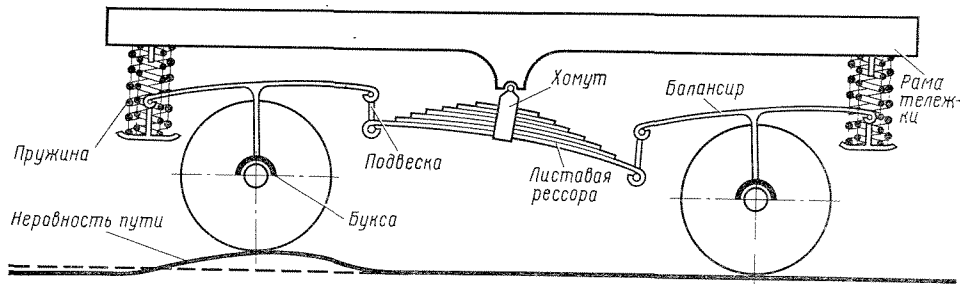


Рис. 257. Схема работы рессорного подвешивания

ков, шарнирных соединений, гасителей колебаний, условились называть *рессорным подвешиванием*. Оно призвано равномерно распределять (выравнивать) нагрузку между отдельными колесными парами, т. е. снижать динамическое воздействие на путь.

Как же работает рессорное подвешивание? При наезде одной из колесных пар на неровность пути (см. рис. 257) букса перемещает балансир вверх, и опирающаяся на него пружина сжимается, отчего в первый момент нагрузка на эту ось тележки возрастает. Сжатие пружины нарушает равновесие сил, действующих на концы листовой рессоры. Левая пружина, стремясь разжаться, отпустит плечо балансира вниз, другой конец балансира поднимет левый конец листовой рессоры, что вызовет соответствующий перекося второго балансира и дополнительное сжатие правой пружины. Так будет продолжаться до тех пор, пока нагрузки на обе колесные пары не уравняются снова. После прохода колесной пары через неровность пути рессорное подвешивание приходит в первоначальное положение. Наезд вто-

рого колеса на неровность снова вызывает перемещение элементов рессорного подвешивания, благодаря которому нагрузки на оси должны сбалансироваться.

Соединение рессор и пружин одной стороны тележки с помощью балансира позволяет поддерживать примерно одинаковую нагрузку на колесные пары во время движения тепловозов. Такая комбинированная подвеска рессорного подвешивания называется *сбалансированной*. Каждая тележка тепловозов ТЭЗ, ТЭ10, ТЭП60, ТЭ1, ТЭ2 имеет две такие самостоятельные (левую и правую), не связанные между собой системы, или, как принято говорить, две «точки» рессорного подвешивания. *Точкой рессорного подвешивания* при сбалансированном подвешивании называют группу сбалансированных рессор и пружин. При индивидуальном подвешивании на каждой буксе есть соответствующая «точка» подвешивания. Они располагаются симметрично с обеих сторон тележки и работают независимо друг от друга. В двух тележках получается, таким образом, четырехточечное сбалансированное рессорное

подвешивание. Однако описанная система подвешивания имеет недостатки. Если бы рессоры и пружины были идеальными, то колесо поднималось и опускалось бы под кузовом (рамой тележки) в соответствии с неровностью рельса, а кузов (рама тележки) оставался на одном и том же уровне от верхнего строения пути. Но идеальные рессоры невозможны.

Тогда возникает вопрос: что произойдет с рамой тележки, кузовом после того, как действие толчков и ударов кратковременно прекращается, т. е. после того, как колесо пройдет неровность? Благодаря приобретению энергии они начнут колебаться подобно маятнику, выведенному ударом из положения равновесия (см. с. 89). Такие колебания маятника, в данном случае кузова и рамы тележек, называются свободными, или собственными. Эти колебания в зависимости от трения в рессорном подвешивании будут постепенно уменьшаться, затухать.

Спрашивается, какая рессора обладает большим трением — листовая или пружина? Ясно, что в самой листовой рессоре между листами появляется трение и тем больше, чем больше в ней листов.

Хорошо ли это? И да, и нет. Да, потому что листовая рессора, обладая значительным трением между листами, лучше, чем пружина, поглощает колебания подрессоренных масс и в этом отношении является как бы фрикционным гасителем колебаний. Плохо, так как многолистовая рессора из-за большого трения между листами прогибается очень мало. Чтобы уменьшить трение между листами, их

перед сборкой рессоры тщательно смазывают, обычно графитовой смазкой. Но смазка во время эксплуатации тепловоза высыхает, и тогда многолистовая рессора превращается в «массивную» балочку (балансир). При высокой скорости возрастают динамические нагрузки, что влечет за собой существенный прогиб рессор, но трение в шарнирах и инерция системы подвешивания препятствуют эффективному выравниванию нагрузок.

В результате многолистовая рессора при высокой скорости не успевает среагировать (прогнуться) на проезжаемые неровности. Вот почему на тепловозах ТЭЗ 18-листовые рессоры уступили место 8-листовым рессорам с большей толщиной листов, которые позволяют уменьшить внутреннее трение. Но и эта мера не достигает цели: балансиры и рессоры, обладающие значительной инерцией, усугубляемой трением в шарнирах, не успевают справиться с выравниванием (перераспределением) «молниеносных» динамических нагрузок между колесными парами, т. е. даже хорошо сбалансированное рессорное подвешивание при больших скоростях движения плохо выполняет свои функции при прохождении колесами неровностей пути.

На тепловозах 2ТЭ116, 2ТЭ10В, ТЭ109 от листовых рессор отказались. Их место заняли пружины, которые устанавливают на каждой буксе без балансира связи с пружинами буксы смежной колесной пары (рис. 258). Такое рессорное подвешивание не только намного легче и дешевле, но и проще в обслуживании и в отличие от сбалансированного называется *индивидуальным*. В современном локомо-

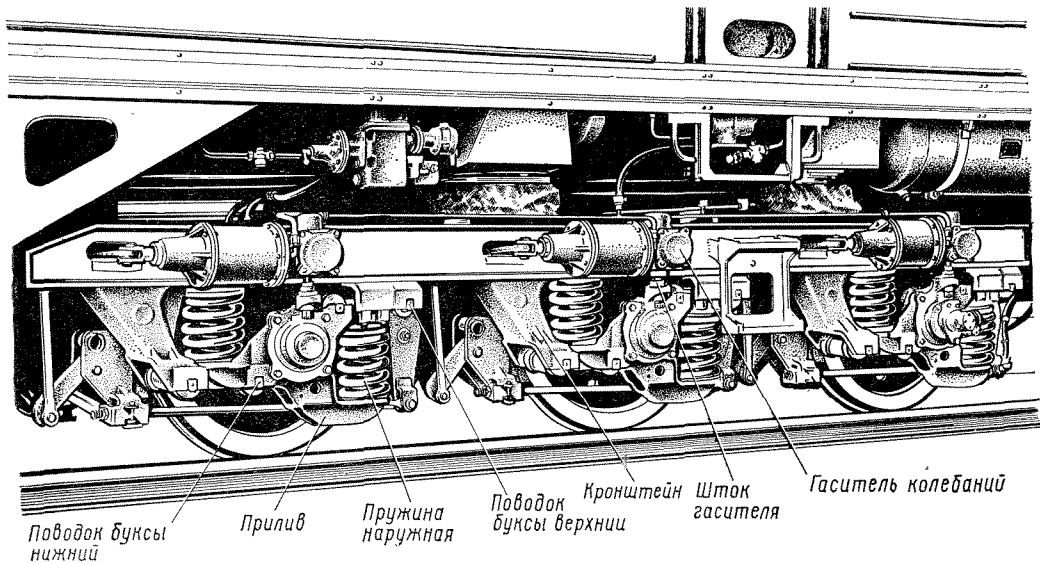


Рис. 258. Общий вид индивидуального рессорного подвешивания тепловоза 2ТЭ10В

тивостроении индивидуальное подвешивание нашло преимущественное применение, а сбалансированное рессорное подвешивание используется в основном на старых тепловозах, предназначенных для обслуживания тяжелых грузовых поездов с относительно невысокой скоростью движения.

Рассмотрим вкратце устройство пружинной подвески. Каждая букса имеет по два кронштейна, на гнезда которых опираются две одинаковые пружины. На самом деле, чтобы снизить напряжения в витках, каждая пружина может состоять из наружной, внутренней и средней, т. е. комплектуется из трех пружин. Однако винтовые пружины обладают малым внутренним трением (так как нет листов, а значит, и нет трения между

ними). Поэтому пружина по сравнению с листовой рессорой колеблется дольше, т. е. не способствует быстрому затуханию колебаний. Кроме того, пружина не может предотвратить явление резонанса — опасное явление, при котором частота колебаний от неровностей рельсов совпадает с частотой собственных колебаний локомотива. Неужели же тут нет выхода?

Наиболее простое средство — это параллельно с пружиной (рис. 259) разместить демпфирующее устройство, создающее искусственное трение, которого нет у винтовой пружины.

Один из способов вызвать трение — зажать между вкладышами стальной поршень, «шток» которого соединить с буксой, а корпус этого устройства — с рамой тележки. Тогда при переме-

щениях буксы поршень станет тереться о вкладыши. Возникающая между их поверхностями сила трения будет гасить колебания движущегося тепловоза. Устройство это получило название *фрикционного гасителя колебаний*. Изменяя силу прижатия вкладышей к поршню, можно регулировать развиваемую силу трения. В этом и состоит суть действия описанного гасителя, который работает вместе с винтовыми пружинами.

Искусственное трение создают, используя также жидкость или воздух, в соответствии с чем различают гидравлические и пневматические гасители. Кроме того, в некоторой степени гашение колебаний подрессоренных масс способствуют резиновые элементы, применяемые в узлах связи букс с рамой тележки и рамы тележки с кузовом.

Читателю уже известно, что высокий статический прогиб рессорного подвешивания — одно из важных условий плавности хода тепловоза, т. е. малой чувствительности его к неровностям пути, особенно при высоких скоростях движения. Существуют другие способы (помимо описанных) увеличить гибкость рессорного подвешивания. На локомотивах, развивающих скорость свыше 100 км/ч, а также при повышенной нагрузке от оси на рельсы (более 250 кН/ось, или 25 тс/ось) устраивается двухэтажное, или, как принято говорить, двухступенчатое, подвешивание (рис. 260). Первая ступень размещается обычно между буксами колесных пар и рамой тележки, вторая — между рамой тележки и кузовом. Благодаря смягчающему действию сначала первой, а затем второй

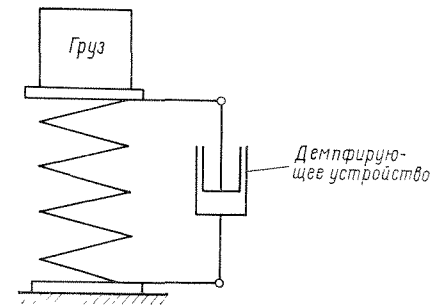


Рис. 259. Схема размещения демпфирующего устройства параллельно пружине

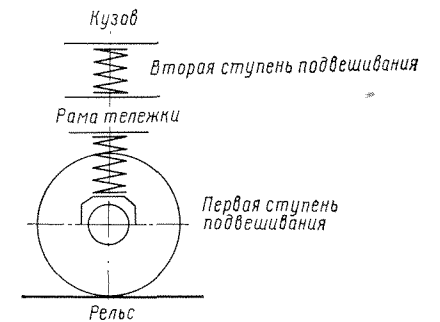


Рис. 260. Схема двухступенчатого подвешивания

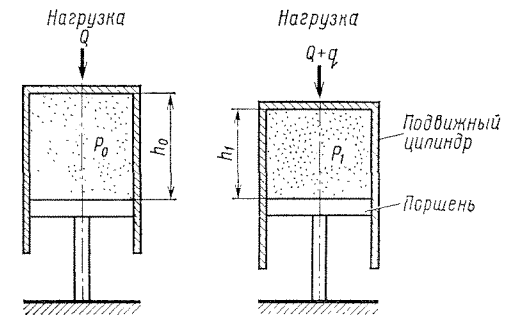


Рис. 261. Простейшая схема работы пневматической рессоры

ступени кузов получает более плавные колебания. Таким образом, вес кузова вместе с весом оборудования, находящимся в кузове, передается колесным парам через обе ступени рессорного подвешивания, а вес рамы тележки, включая часть веса тяговых электродвигателей при опорно-осевом их подвешивании и другого оборудования, — только через одну ступень. В результате общий статический прогиб двухступенчатого подвешивания значительно увеличивается по сравнению с одноступенчатым. Однако двухступенчатое подвешивание все же усложняет конструкцию локомотива. На отечественных локомотивах в основном применяется одноступенчатое подвешивание.

А что если отказаться от традиционной конструкции рессор и призвать на помощь сжатый воздух, воспользоваться его упругостью?

Посмотрите на рис. 261. Подвижной цилиндр с поршнем, наполненный сжатым воздухом давлением p_0 — это же простейшая пневматическая рессора. Как и обычная металлическая, эта рессора в зависимости от величины нагрузки будет сжиматься или расширяться, т. е. каждому изменению

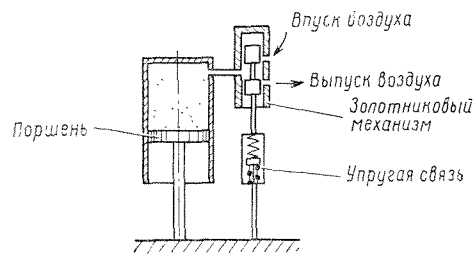


Рис. 262. Простейшая схема работы пневматической рессоры с высоторегулирующим механизмом

нагрузки ($Q+q$) соответствует определенное положение цилиндра (высота h_1 , давление p_1). Иными словами, под действием нагрузки, приходящейся на пневморессору (в нашем примере на цилиндр), воздух, заключенный в ограниченном пространстве, будет то сжиматься (рессора становится жестче), то расширяться (рессора становится мягче). Но такая простая по устройству пневморессора имеет упругость меньшую, чем обычная металлическая рессора, и поэтому применение ее нецелесообразно.

Нельзя ли сделать так, чтобы высота h пневморессоры (высота между тележкой и кузовом), т. е. жесткость ее, оставалась *постоянной* независимо от величины нагрузки, чего нет и не может быть у металлической рессоры? Если бы это удалось, тогда кузов локомотива или вагона оставался бы на предварительно заданной высоте: он бы не реагировал на состояние пути, на изменение вертикальных нагрузок, возникающих в результате движения, так что даже из стакана, наполненного до краев водой, не выплеснулось бы ни капли несмотря на большую скорость поезда. Вот это комфорт!

Сжатый воздух за счет изменения его давления в пневморессоре позволяет решить эту задачу, причем автоматически с помощью, например, высоторегулирующего клапанного механизма. На рис. 262 для наглядности показан не клапанный, а менее совершенный золотниковый механизм. Если кузов нагружается, пневморессора сжимается (в нашем примере цилиндр опускается); золотник вводит в цилиндр (в рессору) некоторое количе-

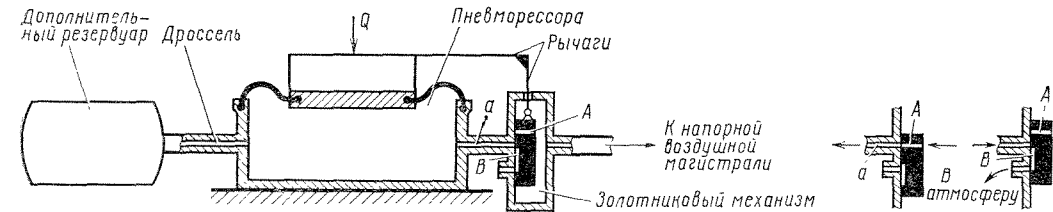


Рис. 263. Схемы пневматического подвешивания. Справа схема работы высоторегулируемого механизма

ство дополнительного воздуха, который стремится вернуть пневморессору на первоначальную высоту, т. е. равновесие восстанавливается. Если кузов разгружается (нагрузка уменьшается), рессора поднимается (распрямляется), то золотник выпускает часть воздуха и равновесие снова восстанавливается: после этого золотник перекрывает впускное и выпускное отверстия. В этом состоит одно из преимуществ пневморессоры перед стальной рессорой, жесткость которой, как указывалось, не регулируется.

Мы рассмотрели принцип работы элементарной пневморессоры на примере «поршень—цилиндр». Однако в такой конструкции практически невозможно избежать утечек воздуха через неплотности между поршнем и цилиндром. На подвижном составе эта задача решена с помощью непроницаемых резиновых баллонов, наполненных воздухом, — пневморессор (рис. 263). Для питания пневморессор сжатым воздухом они подключаются к напорной воздушной магистрали локомотива. При увеличении нагрузки Q кузова, т. е. при сжатии пневморессоры, в баллон дополнительно впускается сжатый воздух, а при ее распрямлении — выпускается. Бла-

годаря изменению давления внутри пневматической рессоры высота ее под статической нагрузкой локомотива, передающейся от веса подпрессоренных частей, поддерживается практически постоянной. Механизм, предназначенный для компенсации утечек воздуха, должен срабатывать только при значительном статическом прогибе рессор (например, при проходе стыков рельсов, стрелочных переводов), а при обычных (небольших) колебаниях тепловоза он срабатывать не должен. Такие быстро протекающие колебания кузова и рамы должны поглощаться резиновыми элементами, которые для этого последовательно включаются в рычажный привод высоторегулирующего механизма. Стоит же вертикальным колебаниям превысить допустимую величину (амплитуду), на которую рассчитаны резиновые элементы, как в действие вступает уже сам высоторегулирующий механизм, автоматически открывающий или закрывающий доступ воздуха в рессору.

Пневматическое рессорное подвешивание не требует включения в систему специальных амортизаторов гашения динамических колебаний. Почему? Потому, что пневморессора со-

единяется с дополнительным воздушным резервуаром: по пути в рессору сжатый воздух из резервуара проходит через дроссельные отверстия, играющие роль гасителя колебаний, так как они оказывают сопротивление перетеканию воздуха.

Возникает вопрос: а как обеспечивается высокая надежность работы пневморессоры? Ведь подобно проколотой шине автомобиля из пневмобаллона может выйти весь воздух. На этот аварийный случай ставят дополнительно металлические рессоры, обычно винтовые пружины с небольшой осадкой, обеспечивающие подрессоривание и безопасное движение тепловоза даже при отсутствии воздуха в пневмобаллоне. Пневморессорами в виде опыта оборудовано несколько тепловозов, в том числе 2ТЭ10Л, ТЭМ7. Таким образом, пневморессоры позволяют увеличить статический прогиб, уменьшить свою собственную массу и регулировать жесткость. Однако внедрение системы пневмоподвешивания на тепловозах зависит от решения проблем, связанных с долговечностью этой системы.

ТЕЛЕЖКА И ЕЕ РАМА

Тележки не только воспринимают и передают на рельсовый путь вес всего оборудования, размещенного на главной раме и в кузове тепловоза. При движении они испытывают сложные динамические нагрузки: силу тяги, силу торможения, боковые и вертикальные силы, действующие как со стороны железнодорожного пути, так и со стороны самого локомотива. С

ростом скорости эти нагрузки увеличиваются. Все это предъявляет высокие требования к конструкции тележек, к их надежности, прочности, удобству в обслуживании.

Конструкторы много трудятся над тем, чтобы сделать тележку не только безопасной в движении, но и не очень тяжелой. Однако чем мощнее тепловоз, тем труднее этого добиться. Борьба идет за каждый килограмм металла. Задача решается главным образом за счет усовершенствования отдельных узлов. Вот один из примеров. Мощность тепловоза 2ТЭ10Л в 1,5 раза больше мощности тепловоза ТЭЗ (3000 вместо 2000 л. с. в секции), но тележка его лишь на 1,1 тс тяжелее (24,7 вместо 23,6 тс) тележки тепловоза ТЭЗ, хотя в принципе тележки одноплатные. Этого удалось достигнуть в основном благодаря применению усовершенствованного рессорного подвешивания и более рационального нагружения роликовых подшипников букс, что позволило снизить их вес.

Самой крупной деталью каждой тележки является рама (рис. 264). Большинство рам тележек образуется из двух продольных боковых балок, обычно называемых боковинами, расположенными друг от друга на расстоянии свыше 2 м. Боковины соединены между собой в одну жесткую конструкцию с помощью поперечных креплений, называемых междурамными креплениями. К междурамным креплениям (сверху, посередине, параллельно боковинам) присоединена шкворневая балка. Все соединения современных локомотивов, выполнены сваркой. Поэтому такую раму называют *сварной*.

Если есть литые элементы (например, шкворневая балка, буксовые кронштейны), то принято называть ее *сварнолитой* (тепловозы ТЭП60, ТЭЗ и др.). Применение электросварки даст экономную металл, позволяет снизить вес тележки, уменьшить трудоемкость работ при ее изготовлении, повысить прочность, улучшить надежность соединений. Отличительной особенностью изображенной на рис. 264 тележки является то, что она не имеет буксовых вырезов. Отсюда и название тележки *бесчелюстная*.

Бесчелюстная тележка тепловозов 2ТЭ10В, 2ТЭ116, ТЭП70, ТЭП60 уст-

роена более просто, а затраты на ее постройку, эксплуатацию и ремонт меньше, чем у челюстной тележки, отличительной особенностью которой является наличие буксовых вырезов (челюстей), усложняющих технологию изготовления рам. В каждой из боковин такой трехосной тележки имеются два крайних и один средний буксовый вырезы. Так как буксовые вырезы снизу открыты, то такое ослабление боковин угрожало бы прогибу всей рамы тележек. Чтобы этого не произошло, вырезы соединены подбуксовыми связями, которые как бы заменяют вырезанную снизу часть метал-

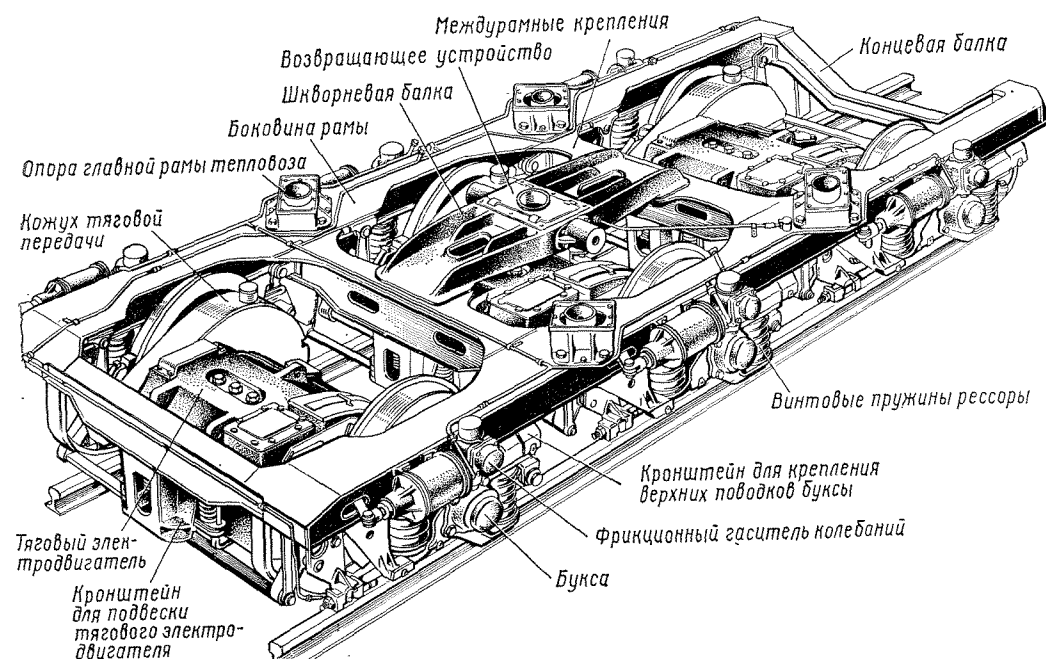


Рис. 264. Общий вид бесчелюстной тележки тепловоза 2ТЭ10В

ла и тем самым повышают прочность и жесткость рамы в целом. В принципе челюстные тележки устроены одинаково, но отличаются формой и размерами рам и отдельных узлов.

К боковым и внутренним вертикальным поверхностям (граням) каждой челюсти рамы приварены пластины, называемые *наличниками*. Наличники, которые по мере износа заменяются новыми, предохраняют раму, а также корпус буксы от износа в процессе непрерывного их относительного перемещения.

Буксу помещают в буксовый вырез между наличниками для того, чтобы она была устойчива и не могла повернуться во время движения и торможения поезда. Другими словами, с помощью челюстей и наличников фиксируется положение колесных пар в тележке. Однако из-за неизбежного зазора между корпусом буксы и наличниками рамы тележки усиливается склонность колесных пар к так называемому вилянию при их движении по прямым участкам пути, а трение обуславливает ухудшение динамической развески локомотива и способствует тем самым снижению сцепления колес с рельсами.

ГЛАВНАЯ РАМА И КУЗОВ ТЕПЛОВОЗА

Нагрузка на тележки передается от главной рамы тепловоза, на которой помещаются кузов с кабиной, дизель-генератор и вспомогательное оборудование. *Главная рама* (рис. 265) — это один из самых тяжелых и громоздких узлов тепловоза; ее длина дос-

тигает 16—18 м, а на ее изготовление вместе с кузовом расходуется очень много металла: примерно 20—25% общей массы тепловоза. Так, при массе тепловоза 2ТЭ10Л равной 129 т главная рама его весит почти 14 т. С ростом мощности локомотива возрастают статические, а также динамические нагрузки (например, при торможении) на его раму. Но нагрузка от колесной пары на рельсы не может быть больше определенного предела. В настоящее время на наших дорогах эта нагрузка составляет 225 кН (23 тс), а в перспективе достигнет 245—265 кН (25—27 тс). Чтобы уложиться в допускаемую для шестисекционной тепловоза массу, целесообразнее всего уменьшать массу главной рамы. Но сделать это надо так, чтобы сохранить необходимую прочность, жесткость и долговечность конструкции рамы.

Как же решить эту задачу? На тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, М62, ТЭ3 главная рама и кузов представляют собой самостоятельные металлические конструкции. Назначение кузова заключается в основном в том, чтобы защитить локомотивную бригаду и все оборудование, установленное на раме, от непогоды. Кузова этих тепловозов почти не воспринимают ни веса оборудования, ни толчков, ни тяговых, ни других статических и динамических нагрузок, возникающих во время движения. Поэтому на таких локомотивах ставится массивная рама, основная задача которой и состоит в том, чтобы нести и воспринимать указанные внешние нагрузки и массу оборудования. Такая конструкция получила название *главной несущей рамы*, основу которой составляют две цент-

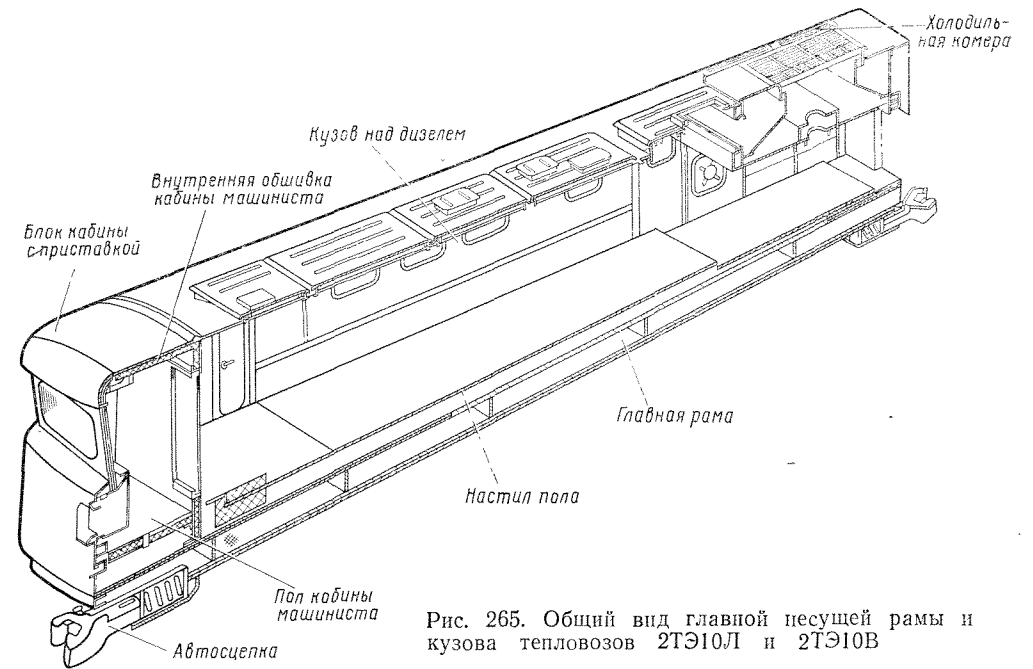


Рис. 265. Общий вид главной несущей рамы и кузова тепловозов 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В

ральные продольные двутавровые балки. Но нельзя ли облегчить массу рамы, обеспечив в то же время ее прочность? Можно, если изменить принципиально не только конструкцию рамы, но и кузова с таким расчетом, чтобы кузову, как и раме, пришлось нести часть продольных и вертикальных нагрузок. Тогда получится несущий кузов: он не только станет крышей для оборудования, но его боковые стенки, кабина машиниста, да и сама крыша будут помогать главной раме воспринимать все виды нагрузок.

Что же представляет собой цельносварная конструкция кузова, какую форму он должен иметь, чтобы надежно выполнять свои новые обязанности?

Очевидно, боковые стенки такого кузова должны представлять собой конструкции, сочетающие значительную легкость с высокой прочностью. Такие конструкции могут быть сделаны из стержней, соединенных вертикально и по диагонали (рис. 266) — так выполнен несущий кузов тепловозов ТЭП60, ТЭП70 или из стержней, образующих прямоугольную решетку, — так сделан несущий кузов тепловозов ТЭ10, ТЭ109. Первая конструкция называется *раскосно-стоечной*, или *ферменной*, а вторая — *решетчатой*, или *оболочковой*.

И в том, и в другом случае стенки кузова обшивают металлическими листами. Обшивка стенок кузова тепловозов ТЭ10, ТЭ109, сделанная из сталь-

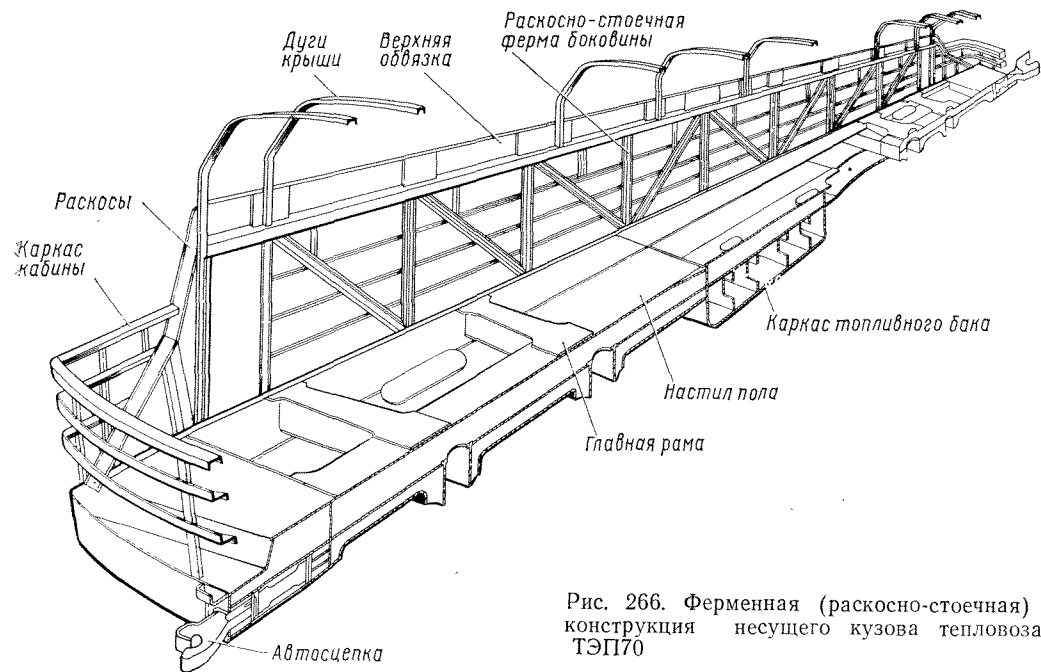


Рис. 266. Ферменная (раскосно-стоечная) конструкция несущего кузова тепловоза ТЭП70

ных листов, приваренных к элементам решетки, участвует в восприятии нагрузок, действующих на кузов. Обшивка стенок кузова тепловозов ТЭП60, ТЭП70 не участвует в восприятии нагрузок и выполнена из алюминиевых листов, приклепанных к элементам фермы. Итак, в конструкции «несущий кузов» сам кузов утяжеляется, но зато рама становится легче. В целом же на каждой секции тепловоза с несущим кузовом общий вес уменьшается. А это очень важно, особенно для высокоскоростных пассажирских тепловозов большой мощности. Например, на секции тепловоза ТЭП60 масса главной рамы вместе с несущим кузовом на 0,7 т меньше, чем у грузового тепловоза ТЭЗ, хотя мощ-

ность пассажирского тепловоза ТЭП60 в 1,5 раза превышает мощность тепловоза ТЭЗ.

Кроме того, при несущем кузове отпадает необходимость ставить крепления, соединяющие кузов с рамой, которые в процессе эксплуатации рвутся и требуют восстановления. Главная рама, топливный бак, боковые стенки кузова обычно неразрывно соединены в единый цельносварной блок. Зная особенности работы кузовов разных конструкций, нетрудно понять, почему основу главной рамы грузовых тепловозов 2ТЭ10В, 2ТЭ10Л, ТЭЗ, М62, имеющих не несущий кузов, составляют две центральные хребтовые балки двутаврового сечения, о которых говорилось выше, а

основу главной рамы пассажирских тепловозов ТЭП70, ТЭП60, ТЭ109, имеющих несущий кузов, составляют не центральные балки, которых нет, а боковые (внешние) продольные балки коробчатого сечения. Правая и левая хребтовые балки тепловозов 2ТЭ10Л, ТЭМ2, ТЭЗ связаны между собой рядом поперечных креплений, а по концам соединены со стяжными ящиками — передним и задним. В стяжных ящиках каждой секции тепловозов (спереди и сзади) размещены фрикционный аппарат и хвостовик автосцепки. Поэтому каждую секцию можно эксплуатировать отдельно. В заднем стяжном ящике рамы секций тепловоза ТЭ2 установлено межсекционное соединение — жесткие тяги, которыми осуществляется постоянная сцепка секций этого тепловоза. Хребтовые и боковые балки, стяжные ящики, поперечные крепления и кронштейны, настильные листы под вспомогательное оборудование составляют основные части главной рамы, скрепляемые сваркой и так называемыми усиливающими уголками и косынками.

ОПОРЫ КУЗОВА. ВОЗВРАЩАЮЩИЙ МЕХАНИЗМ

Как же тележки воспринимают вес опирающейся на них верхней части тепловоза (кузова со всем оборудованием и главной рамой)? Если бы речь шла только о передаче статической нагрузки от веса кузова, то проблема связи главной рамы тепловоза с рамами тележек не была бы так сложна. Однако дело усложняется тем, что локомотиву приходится проходить как

прямые участки пути, так и кривые. Читателю известно, что между внутренними гранями рельсов и гребнями бандажей имеются зазоры. При прохождении кривой локомотивные тележки поворачиваются и устанавливаются в перекошенное положение по отношению к продольной оси кузова, имеющего значительную длину и сохраняющего в кривой свою прямолинейность.

Если не принять меры, то при выходе локомотива из кривого на прямой участок пути тележки вследствие зазоров между гребнями бандажей и рельсами будут продолжать двигаться в перекошенном положении, что вызовет интенсивный износ гребней бандажей и внутренних граней рельсов. Необходимо сделать так, чтобы при выходе локомотива с кривого на прямой участок пути тележки заняли свое нормальное положение, т. е. чтобы продольные оси тележек совпали с продольной осью кузова.

Чтобы добиться этого и вернуть тележку в нормальное положение, при движении на прямых участках пути приходится усложнять ее конструкцию — вводить специальный механизм.

Познакомимся сначала с опорно-возвращающими устройствами на примере тепловозов 2ТЭ10Л и ТЭЗ. На их главной раме размещено восемь неподвижных шаровых опор, посредством которых она опирается на восемь подвижных опор на двух тележках (по четыре опоры на каждой). Каждая опора, заключенная в корпус, расположена на определенном расстоянии от центра рамы тележки, являющегося центром ее поворота.

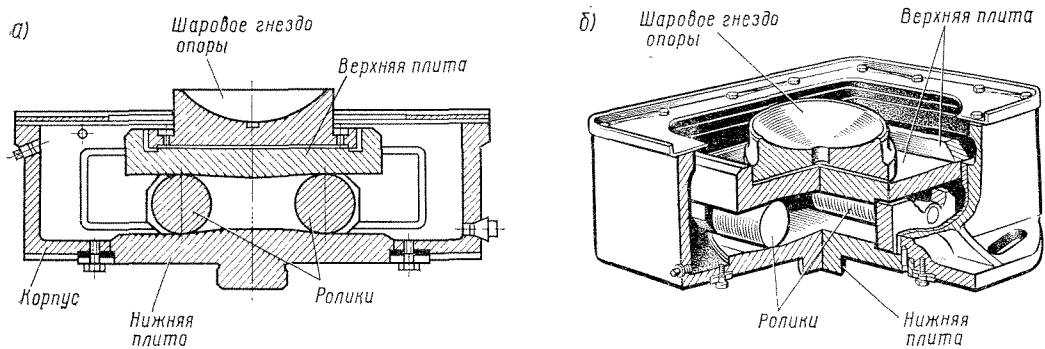


Рис. 267. Опорно-возвращающее устройство тележек тепловозов

Так как общая масса секции тепловоза (например, ТЭЗ) составляет 126 т, а масса обеих тележек (с электродвигателями и колесными парами) свыше 50 т, то на обе тележки приходится нагрузка 760 кН ($126 - 50 = 76$ тс), а на каждое гнездо опоры обеих тележек (в статическом состоянии) в 8 раз меньше, т. е. 95 кН (9,5 тс). Шарообразная форма опор не мешает тележкам поворачиваться как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях.

Ознакомимся вкратце с устройством опорно-возвращающего механизма (рис. 267) тепловозов 2ТЭ10Л, ТЭЗ, ТЭ7, ТЭ10. Он состоит из двух плит — верхней и нижней, между которыми зажаты ролики. На рисунке видно, что поверхности верхних и нижних плит, обращенные к роликам, не горизонтальны, а наклонены друг к другу, образуя углубление. Угол наклона поверхностей обычно 2°. Как же работает механизм?

Когда тепловоз неподвижен, каждый ролик находится в углублениях, образованных наклонными поверхнос-

тями плит. При движении по прямой из-за влияния колесных пар, а значит, и перемещения тележек ролики то входят в углубления, то выходят из них, однако очень незначительно. Но вот колесная пара тележки начинает вписываться в кривую. Под действием боковой силы от рельса тележка, поворачиваясь вокруг центрального шкворня, отклонится от среднего положения. При этом отклонятся от своего среднего положения и нижние плиты опор, отчего ролики перекажутся на наклонные части поверхностей плит. Вследствие этого в опорах возникают горизонтальные силы, стремящиеся вернуть тележку в первоначальное положение, при котором ее продольная ось будет совпадать с продольной осью тепловоза. Таким образом, роликовый механизм, включенный в конструкцию опоры, является к тому же и возвращающим устройством, которое возвращает тележку в первоначальное положение при выходе из кривых участков пути. Для уменьшения трения, возникающего между роликами и плитами, кор-

пус опорно-возвращающего механизма заполнен маслом.

Наличие четырех боковых опор, размещенных на боковинах тележки, позволило освободить центральный шкворень от передачи вертикальных нагрузок. Он воспринимает только тяговое или тормозное усилие, которое передается на раму тележки от колесных пар через буксы. Это является особенностью тележек тепловозов 2ТЭ10Л, ТЭЗ, ТЭ10, ТЭ7.

Принципиально иначе решена конструкция связи кузова тепловозов ТЭП60 и ТЭП70 с тележками. На этих локомотивах вес надтележечного строения передается каждой тележке, во-первых, через две центральные опоры (размещенные на продольной оси рамы кузова) с коническими резиновыми прокладками (амортизаторами); во-вторых, через четыре боковые пружинные опоры, которые воспринимают на себя примерно полови-

ну веса кузова с размещенными в нем агрегатами.

В опоре предусмотрены значительные силы трения скольжения для того, чтобы уменьшить влияние тележки в прямом участке пути. С этой же целью ось опоры расположена не по радиусу, а отклонена на некоторый угол.

Опоры дают возможность тележкам и кузову перемещаться в поперечном направлении. Кроме того, дополнительные боковые упругие опоры удерживают кузов от виляния в горизонтальной плоскости. Достигается это созданием необходимой силы трения между главной рамой и боковыми опорами. Главные опоры кузова и главная рама тепловоза соединены со специальным возвращающим механизмом, назначение которого читателю известно. Упругая связь кузова с рамами тележек позволяет снизить боковые силы между гребнями бандажей и рельсами, возникающие при движении.

Приложение
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТЕПЛОВЗОВ

Род службы	Серия	Год начала постройки	Количество секций	Номинальная мощность по дизелям кВт (л. с.)	Сила тяги (длительная), кН (тс)	Скорость (длительная), км/ч	Конструкционная скорость, км/ч	Масса тепловоза, т
Грузовые	ТЭЗ	1953	2	2×1470 (4000)	2×198 (40,4)	20,5	100	2×127
	ТЭ10	1958	1	2210 (6000)	2×251 (51,2)	24,0	100	129
	2ТЭ10Л	1961	2	2×2210 (6000)	2×251 (51,2)	24,0	100	2×129
	2ТЭ116	1971	2	2×2250 (6120)	2×248 (50,6)	24,7	100	2×138
	2ТЭ10В	1975	2	2×2210 (6000)	2×248 (50,6)	24,7	100	2×138
	2М62	1976	2	2×1470 (4000)	2×196 (40,0)	20,0	100	2×120
	2ТЭ121	1978	2	2×2940 (8000)	2×294 (60,0)	26,9	100	2×150
Пассажирские	ТЭП60	1960	1	2210 (3000)	123 (12,5)	50,0	160	126
	ТЭП70	1973	1	2940 (4000)	167 (17,0)	50,0	160	129
	ТЭП75	1978	1	4400 (6000)	177 (18,0)	70,0	160	138
Маневровые	ТЭМ1	1958	1	730 (1000)	196 (20,0)	9,0	100	120
	ТЭМ2	1960	1	880 (1200)	206 (21,0)	11,5	100	120
	ТЭМ7	1975	1	1470 (2000)	343 (35,0)	10,3	100	180

ОГЛАВЛЕНИЕ

1	ЧТО ТАКОЕ ТЕПЛОВАЗ	От авторов	5
		К чему стремятся конструкторы?	7
		Почему усложняется связь дизеля с колесами тепловоза?	9
		Как связать дизель с колесами тепловоза?	14
		Почему невыгодна паровая машина?	20
		Понятие об экипаже	23
		Как расположить оборудование?	27
2	ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ДИЗЕЛЕЙ	Условия возникновения процесса горения	31
		Схемы дизелей	33
		Степень сжатия	36
		Рабочие циклы дизелей	38
		Продувка цилиндра двухтактного дизеля	41
		Фазы газораспределения четырехтактного и двухтактного дизелей	43
3	МОЩНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ ДИЗЕЛЯ	Индикаторная диаграмма	48
		Среднее индикаторное давление	51
		Понятие об энергии	52
		Подсчет работы и мощности дизеля	53
		Пути повышения мощности дизеля	54
		Что такое наддув и как он осуществляется?	55
		Что дает экономия топлива?	63
		Коэффициент полезного действия дизеля и баланс энергии в дизеле	64
4	БЛОК ДИЗЕЛЯ, ВТУЛКИ И ПОРШНИ	Блок дизеля и поддизельная рама	67
		Цилиндровые втулки	70
		Поршни	72
		Поршневые кольца	74
		Поршневые пальцы	76

5	ШАТУННО-КРИВОШИПНЫЙ МЕХАНИЗМ	Шатуны	77
		Что представляет собой коленчатый вал?	78
		Конструктивные особенности коленчатого вала	82
		Подшипники коленчатого вала	84
		Вертикальная передача	87
		Что такое крутильные колебания и как с ними бороться?	89
6	МЕХАНИЗМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ	Окна и клапаны	97
		Особенности механизма газораспределения	99
7	ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА И АППАРАТУРА	Назначение и схемы топливных систем дизеля	102
		Распыливание топлива	103
		Топливные насосы высокого давления	104
		Форсунки	111
8	АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ	Для чего нужны регуляторы?	117
		Принцип работы центробежного регулятора прямого действия	119
		Центробежный регулятор непрямого действия	120
		Понятие о жесткой обратной связи	123
		Упругая (гибкая) обратная связь в регуляторе непрямого действия. Изодромный регулятор	124
		Объединенный регулятор	128
		Электрогидравлический механизм затяжки пружины	130
9	ОХЛАЖДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДИЗЕЛЯ	Для чего и чем охлаждают детали дизеля?	133
		Как вода охлаждает детали дизеля?	136
		Чем охлаждать масло?	139
		Водомасляный теплообменник	140
		Чем охлаждать наддувочный воздух?	142
		Схема внутренней масляной системы дизеля	144
		Схема внешней масляной системы дизеля	146
		Система автоматического регулирования температуры	148

10	ОЧИСТКА МАСЛА, ТОПЛИВА И ВОЗДУХА	Важное условие надежной работы дизеля	152
		Фильтр грубой очистки масла	152
		Фильтр тонкой очистки масла	155
		Центробежный очиститель масла	157
		Топливные фильтры	159
		Воздухоочистители	161
11	ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ	Требования к электрическому оборудованию	164
		Основные виды электрических передач	167
12	ТЯГОВЫЙ ГЕНЕРАТОР	Принцип действия генератора постоянного тока	170
		Основные показатели работы генератора	177
		Внешняя характеристика тягового генератора	179
		Тяговый генератор постоянного тока	182
		Почему стали применять тяговые генераторы переменного тока?	189
		Синхронный тяговый генератор	196
13	ДВУХМАШИННЫЙ АГРЕГАТ И ТАХОГЕНЕРАТОРЫ	Особенности устройства и характеристики возбудителей	199
		Двухмашинный агрегат	205
		Тахогенераторы тепловоза ТЭЗ	209
		Синхронный подвозбудитель тепловоза 2ТЭ10Л	210
14	ТЯГОВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ	Принцип действия электродвигателя постоянного тока	212
		Основные показатели работы и свойства электродвигателя постоянного тока	214
		Устройство тяговых электродвигателей тепловозов	217
		Как расширить диапазон скорости движения тепловоза?	222
		Почему на тепловозах нельзя применять контрток?	225
		Электродинамическое торможение	225
		Тяговые электродвигатели переменного тока	227

15	АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ	Аккумулятор — химический источник тока	234
		Свинцовый аккумулятор	235
		Щелочной аккумулятор	238
		Устройство аккумуляторных батарей тепловозов	240
16	КОММУТАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ	Контакты	244
		Контроллер машиниста	251
		Реверсор	254
		Кнопочный выключатель и тумблеры	258
17	РЕЛЕ И РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ	Назначение реле	261
		Реле обратного тока	262
		Реле переключения (перехода)	264
		Реле заземления	265
		Реле боксования	267
		Реле давления масла	270
		Температурное реле	271
		Реле времени	272
Регулятор напряжения	275		
18	ТРАНСФОРМАТОРЫ И МАГНИТНЫЕ УСИЛИТЕЛИ	Трансформаторы в системах автоматического регулирования мощности дизель-генератора	281
		Принцип действия магнитного усилителя	284
		Трансформаторы постоянного напряжения и тока	290
		Тахометрический блок	294
19	ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ АППАРАТЫ	Полупроводниковые вентиля-диоды и стабилитроны	295
		Выпрямление переменного тока	300
		Транзисторы и тиристоры	302
		Полупроводниковый регулятор напряжения	306
20	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ	Назначение и основные группы электрических цепей тепловоза	312
		Схема силовой цепи тепловоза	315
		Цепи возбуждения тягового генератора и возбудителя	318

21 ЭКИПАЖ И КУЗОВ

Получение жестких динамических характеристик тягового генератора	322
Цепи возбуждения возбудителя в системах машинного регулирования мощности генератора	323
Цепи управления тепловозом и защиты оборудования	326
Цепи освещения	335
Колесная пара	336
Как установить и соединить тяговый электродвигатель с колесной парой?	337
Буксы и подшипники	342
Рессорное подвешивание	344
Тележка и ее рама	354
Главная рама и кузов тепловоза	356
Опоры кузова. Возвращающий механизм	359
Приложение. Основные характеристики отечественных тепловозов	362

*Валентин Анисимович Дробинский,
Павел Михайлович Егунов*

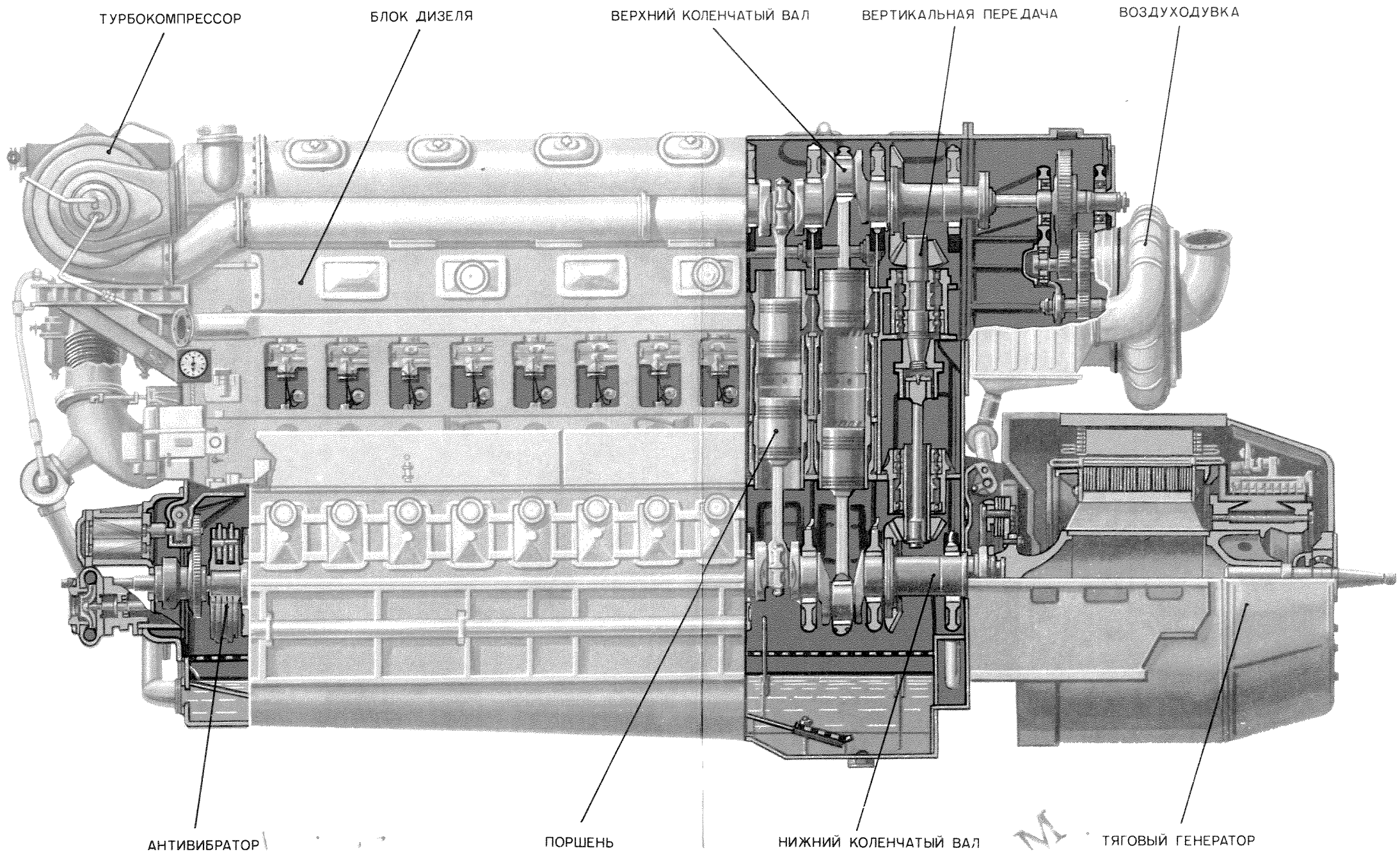
КАК УСТРОЕН И РАБОТАЕТ ТЕПЛОВОЗ

*Редактор Н. П. Киселева
Переплет художника А. С. Завьялова
Технический редактор Н. Д. Муравьева
Корректор Н. Н. Пахомова*

ИБ № 1720

Сдано в набор 21.01.80. Подп. в печать 11.08.80.
Т-13659. Формат 70×84^{1/16}. Бум. тип. № 2. Гарнитура
литературная. Высокая печать. Усл. печ. л. 25.07.
Уч.-изд. л. 25.55. Тираж 40 000. Зак. тип. 1039
Цена 1 р. 90 к. Изд. № 1-3-3/1 № 9770.
Изд-во «ТРАНСПОРТ», 107174, Москва, Басманный
туп., 6а.

443086 ГСП. г. Куйбышев, пр. Карла Маркса 201.
Тип. изд-ва «Волжская коммуна»



ТУРБОКОМПРЕССОР

БЛОК ДИЗЕЛЯ

ВЕРХНИЙ КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЕРЕДАЧА

ВОЗДУХОДУВКА

АНТИВИБРАТОР

ПОРШЕНЬ

НИЖНИЙ КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ

ТЯГОВЫЙ ГЕНЕРАТОР

1р. 90к.

КАЖУ УСТРОИТЕЛЬ И РАБОТАЕТ ТЕПЛОВОЗ

Каждый день
тысячи дизельных
локомотивов
во главе грузовых
и пассажирских составов
мчат поезда
в разные уголки
нашей огромной страны.
Около ста тысяч
километров
стальных магистралей
обслуживается
этими мощными
машинами.
На их плечи ложится
более сорока пяти
процентов
общего объема
перевозок.
Конструкторская мысль
неустанно работает
над совершенствованием
тепловозов,
над созданием
новых надежных
и экономичных
дизелей,
повышением их мощности.
Современный
дизель-электрический
тепловоз —
самый, пожалуй,
сложный вид локомотива.
Авторы книги
старались
рассказать о нем
просто и доступно.

