

В. А. Дробинский, П.М. Егунов

Как устроен и работает тепловоз

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 656
ББК 39.1
В11

B11 **В. А. Дробинский**
Как устроен и работает тепловоз / В. А. Дробинский, П.М. Егунов – М.: Книга по Требованию, 2024. – 371 с.

ISBN 978-5-458-38672-2

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. 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.

ISBN 978-5-458-38672-2

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригиналe, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

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

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 ТЭ3 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 переменно-постоянного 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.

ЧТО ТАКОЕ ТЕПЛОВОЗ

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 *mo^{veo}* — сдвигаю с места и буквально переводится как движущий, «тянувший 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 сила 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 (круглом и длинном) подъеме может привести даже к остановке поезда. Значит, сила тяги может возрастать 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 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 мощности, которую локомотив развивать не в состоянии, а точки, лежащие ниже,

соответствуют мощности 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, сопротивляющие 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, смешанных 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, платформе, спуске). При этих значениях скоростей сила тяги тепловоза и силы сопро-

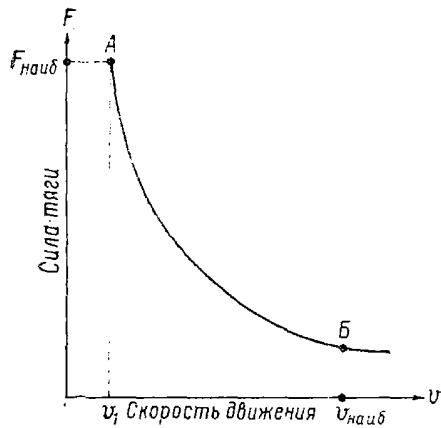


Рис. 1. Тяговая характеристика тепловоза

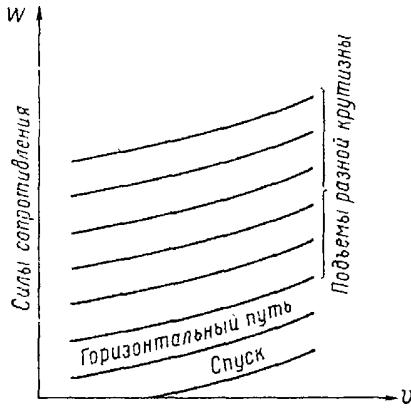


Рис. 2. Кривые сопротивления движению поезда

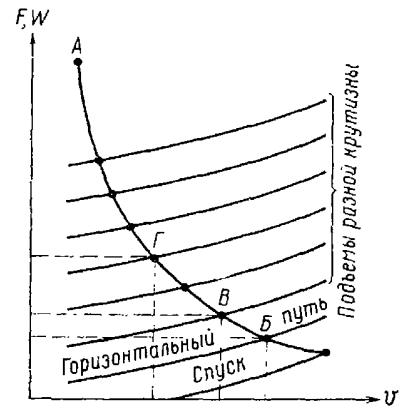


Рис. 3. График равномерных скоростей

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 G). 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, преобразует 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 выполняют котел

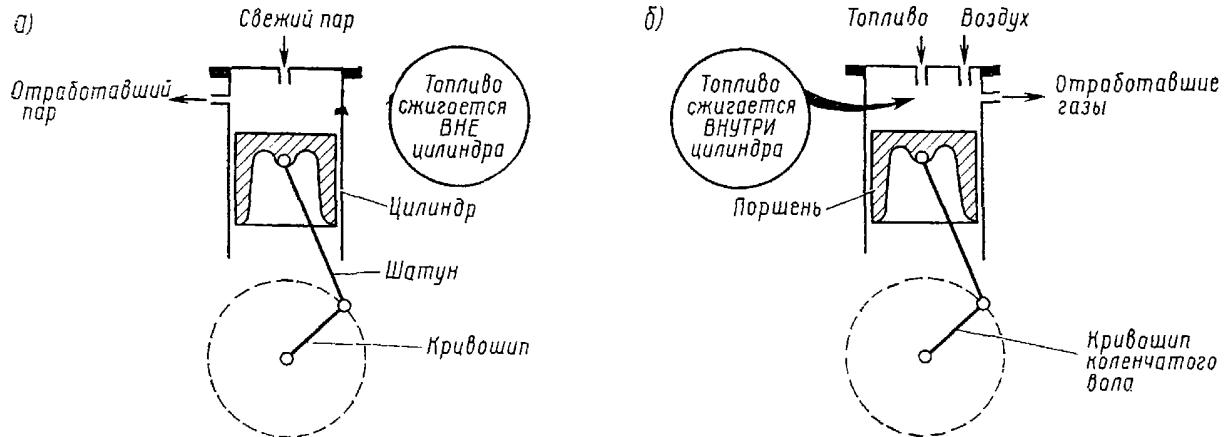


Рис. 4. Упрощенные схемы:

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 Ди зеля. 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-