

у з е л

Алгоритмы пуска дизеля тепловозов

1. Введение

Процесс перехода из нерабочего состояния в рабочее двигателя принято называть запуском или пуском.

Запуск двигателя внутреннего сгорания осуществляется проворотом его коленчатого вала.

Необходимость в запуске – характерная черта тепловых двигателей именно внутреннего сгорания – двигатели внешнего сгорания как поршневые, так и турбинные в запуске не нуждаются.

При провороте коленчатого вала ему придается вращение, которое при работе двигателя обеспечивается инерцией движущихся поступательно и вращающихся масс.

Двигатель может запуститься только после того как коленчатый вал будет раскручен до определенной частоты вращения. Связано это с тем, что при медленном перемещении поршня не может быть создано достаточное давление в цилиндре, поскольку воздух (горючая смесь для карбюраторных двигателей) при сжатии успевает через неплотность между поршневым кольцом и втулкой перетекать в картер. Для дизеля существенно также то, что при низкой скорости перемещения поршня теплота, образующаяся при сжатии воздуха успевает отводиться и воздух не нагревается до температуры, обеспечивающей вспышку впрыснутого топлива.

Особенно тяжел запуск холодного двигателя, что связано с конденсацией топливных паров на холодных стенках втулки и поршне. При пуске, таким образом, требуется гораздо большая подача топлива, чем при холостом ходе, поскольку большая часть его удаляется из цилиндра, не сгорая в связи с плохими условиями смесеобразования.

При запуске требуется посторонний источник энергии, обеспечивающий раскрутку коленчатого вала. Поворот коленчатого вала маломощных двигателей осуществляется мускульной силой человека. У более мощных двигателей для этих целей используют пневматический, тепловой или электрический двигатель.

2. Силовая схема проворота коленчатого вала дизеля тепловоза

Для проворота коленчатого вала дизелей тепловозов используют электрические машины.

На тепловозах с гидравлической передачей для этих целей используют специальные двигатели – электростартеры, соединенные с коленчатым

валом дизеля управляемой муфтой. После запуска дизеля муфта выключается, и в процессе работы якорь стартера не вращается.

На тепловозах с электрической передачей постоянно – постоянного тока для запуска дизеля используют тяговый генератор, у которого для возбуждения при работе в качестве электрического двигателя во время проворота коленчатого вала дизеля предусмотрена специальная пусковая обмотка последовательного возбуждения.

На тепловозах с электрической передачей переменного-постоянного тока тяговый генератор, являясь синхронной машиной переменного тока, не может быть использован для запуска. Проворот коленчатого вала дизеля при пуске на таких тепловозах осуществляет вспомогательный генератор, имеющий для возбуждения при пуске специальную пусковую обмотку последовательного возбуждения.

Такой вспомогательный генератор, приспособленный для работы в качестве серийного электродвигателя при запуске называют стартер-генератором.

Мощность стартер-генератора тепловоза с электрической передачей переменного-постоянного тока существенно больше мощности вспомогательного генератора тепловоза с передачей постоянно-постоянного тока, то есть стартер-генератор имеет значительные излишки мощности при работе в качестве генератора – эту мощность используют для привода электродвигателя тормозного компрессора – на тепловозах с передачей постоянно-постоянного тока и тепловозах с гидropередачей компрессор не оборудуется электроприводом.

Стартеры, стартер-генераторы и тяговые генераторы во время пуска представляют из себя двигатели последовательного возбуждения: использование такой схемы связано с тем, что последовательное возбуждение обеспечивает максимальный пусковой момент, снижающийся по мере раскручивания якоря.

На всех тепловозах, кроме ТЭМ7А применяется прямой пуск электрической машины, приводящей проворот коленчатого вала дизеля на тепловозах ТЭМ7А пуск стартер-генератора – одноступенчатый реостатный.

Сборку схемы проворота коленчатого вала, то есть соединение якорной цепи стартера (стартер-генератора, тягового генератора) через пусковую обмотку с аккумуляторной батареей осуществляют мощные электромагнитные контакторы, называемые пусковыми и обозначаемые на схемах Д (Д1, Д2, Д3 или 1Д, 2Д) или КД (на тепловозе ТЭП70).

Принципиальное отличие схемы проворота коленчатого вала тепловоза с электрической передачей постоянно-постоянного тока и тепловозов с гидравлической передачей заключается в том, что якорная цепь тягового генератора, осуществляющего проворот при работе дизеля не связана гальванически с низковольтными цепями, поэтому сборка цепи осуществляется двумя пусковыми контакторами («по плюсу» и «по минусу»); (см. рис. 1а).

На тепловозах с электрической передачей переменного-постоянного тока и с гидropередачей стартер-генератор (электростартер) гальванически связаны с низковольтными цепями, по

Тому для сборки схемы достаточно одного контактора (см. рис. 1.б).

На тепловозах серии ТЭМ7А устанавливается еще один контактор для шунтировки балластного пускового сопротивления (см. рис. 1в).

На двухсекционных тепловозах предусматривается соединение аккумуляторных батарей секций при провороте коленчатого вала одного из дизелей параллельно с целью снижения тока разрядки батарей при запуске, что существенно увеличивает срок их службы.

Поскольку батареи секций соединены по минусу межсекционным соединением, достаточно при провороте соединить их плюсы, что достигается подключением их к плюсовому межсекционному соединению двумя контакторами (по одному на секцию), катушки которых соединены межсекционным соединением и получают питание одновременно.

Таким образом, на двухсекционных тепловозах с передачей переменного-постоянного тока устанавливают два пусковых контактора, и на тепловозах с передачей постоянного-постоянного тока – три (см. рис. 1г и д).

Поскольку номинальный ток катушек пусковых контакторов достаточно велик, на тепловозах, с двумя или тремя пусковыми контакторами, цепь их катушек замыкает промежуточное сильноточное реле или контактор (РУ5 на ТЭМ2 и М62, ДЗ на 2ТЭ116 и т.д.).

3. Цепи электродвигателя топливоподкачивающего насоса

На большинстве тепловозов подача топлива к топливным насосам высокого давления (ТНВД) осуществляется шестеренчатым топливоподкачивающим насосом с электроприводом. На тепловозах 2ТЭ116, 2ТЭ121, ТЭП70 топливоподкачивающий насос приводится по вращению коленчатого вала дизеля. За время пуска этот насос не может обеспечить должного давления в коллекторе ТНВД, в связи с чем на всех этих тепловозах устанавливаются также и пусковые топливоподкачивающие насосы с электроприводом, которые могут быть использованы и при работе дизеля в случае выхода из строя основного насоса.

Топливоподкачивающие насосы приводятся по вращению электродвигателями смешанного возбуждения общепромышленной серии П.

От тока короткого замыкания на современных тепловозах электродвигатели защищаются автоматическими выключателями (на тепловозах прежних легкоплавкими вставками).

Электродвигатель получает питание от чистого плюса схемы, то есть от группы клемм, получающих питание при остановленном дизеле от аккумуляторной батареи через плюсовой нож рубильника; при работающем дизеле – от плюса вспомогательного генератора (стартер-генератора).

На всех сериях тепловозов контакт автоматического выключателя коммутирует цепь электродвигателя «по плюсу» (см. рис. 2а).

На двухкабинных и двухсекционных тепловозах в цепи электродвигателя имеется контакт еще одного коммутирующего аппарата – контактора (на М62 – сильноточного реле).

Наличие контактора (реле) в схеме упрощает управление насосом из обеих кабин управления, на тепловозах 2ТЭ116, 2ТЭ121, ТЭП70 снятием питания с катушки КТН обеспечивается автоматическая остановка топливоподкачивающего насоса с электроприводом после запуска.

На однокабинных тепловозов контактор топливоподкачивающего насоса устанавливается на ТЭМ2, управление пуском и остановкой дизеля которого осуществляется тумблером без самовозврата – на этих тепловозах контактор топливоподкачивающего насоса включен в единую схему управления пуском и остановкой дизеля.

На однокабинных тепловозах постройки владимирского завода (ТГМ3, ТГМ4, ТГМ6, ТЭМ7А) контакторы топливоподкачивающего насоса отсутствуют.

На тепловозах чешского производства ЧМЭЗ (ЧМЭЗТ, ЧМЭЗЭ) топливоподкачивающий насос с электроприводом отсутствует: заполнение коллектора ТНВД и перед пуском на этих тепловозах осуществляется ручным насосом.

3. Цепи управления электродвигателем топливоподкачивающего насоса и цепи питания блок- магнита

Коммутация цепи катушки топливоподкачивающего насоса на двухкабинных и двухсекционных тепловозах осуществляется автоматическими выключателями или тумблерами расположенными в кабинах управления, контакты автоматического выключателя (тумблера) могут коммутировать цепь катушки как по плюсу (ТЭП70), так и по минусу (М62 и 2ТЭ116).

На ряде серий тепловозов схема включает воздействие автоматического выключателя, установленного в нерабочей кабине на цепи управления электродвигателем топливоподкачивающего насоса. На

ТЭП70 это достигается наличием контактов блок-ключей для переключения пультов управления электродвигателем топливopодкачивающего насоса. На ТЭП70 это достигается наличием контактов блок-ключей для переключения пультов управления. На тепловозах М62 контактами замковых ключей, на более поздних модификациях – контакторами реверсивных рукояток (см. рис. 3а).

На тепловозах серии 2ТЭ116 снятие питания с катушки КТН в том случае, если в нерабочей кабине включен тумблер «топливный насос» невозможен (см. рис. 3б).

На тепловозах ТЭМ2 катушка КТН получает питание через контакт тумблера «Пуск остановка дизеля», замкнутый при нахождении его в положении «Пуск», цепи катушки включен также контакт реле остановки дизеля с переносных пультов РУ12- катушка этого реле получает питание через контакт тумблера «Пуск – остановка дизеля», замкнуты при нахождении его в положении «Остановка», после чего реле встает на самопитание, с которого может быть снято нажатием одной из кнопок остановки дизеля на переходных пультах (см. рис. 3в).

На тепловозах, имеющих топливный насос с приводом от коленчатого вала дизеля снятие питания с катушки КТН производится размыкающим блок-контактом контактора регулятора напряжения или размыкающим контактором его промежуточного реле (см. рис. 3б).

На всех тепловозах, где цепь электродвигателя топливного насоса коммутируется контактором (реле) топливopодкачивающего насоса, кроме тепловозов, оборудованных топливopодкачивающим насосом с приводом от коленчатого вала дизеля замыкающий блок-контакт КТН (замыкающий контакт реле ТН) коммутирует цепь стоп-устройства дизеля – этим обеспечивается остановка дизеля при выключении автоматического выключателя «топливный насос».

В связи с этим на некоторых тепловозах в цепь катушки контактора (реле) топливopодкачивающего насоса устанавливают контакты промежуточного реле дифманометра, осуществляющие защиту от давления в картере дизеля.

На тепловозах ТЭМ2 остановка дизеля осуществляется разрывом цепи блок-магнита контактом тумблера «Пуск – Остановка дизеля» на тепловозах 2ТЭ116 – разрывом цепи катушки промежуточного реле РУ10, замыкающие контакты которого имеются в цепи блок-магнита (см. рис. 3б).

На тепловозах, у которых отсутствует контактор (реле) топливopодкачивающего насоса или отсутствует топлива подкачивающий насос с электроприводом остановка дизеля обеспечивается разрывом цепи блок-магнита контактом автоматически включаются контакты защиты дизеля от пониженного давления масла (реле давления масла или его промежуточного реле).

Поскольку при пуске дизеля давление масла, достаточное для замыкания РДМ не создается, защита на время проворота коленчатого вала

шунтируется контактом одного из пусковых контакторов или промежуточного реле (контактора) пусковых контакторов (см. рис. 4).

4. Силовая цепь электродвигателя маслопрокачивающего насоса. Цепи управления предпусковой прокачкой дизеля маслом.

Для создания масляного клина в подшипниках коленчатого вала дизеля перед проворотом осуществляется прокачка масляной системы.

Прокачка масляной системы маломощных дизелей осуществляется ручным поршневым насосом, более мощных, в том числе дизелей всех тепловозов широкой колеи – шестеренчатым маслопрокачивающим насосом с электроприводом.

Привод маслопрокачивающего насоса осуществляется электродвигателем смешанного возбуждения общепромышленной серии П. защита якорной цепи от токов короткого замыкания осуществляется, как правило, плавкой вставкой (см. рис. 5а). исключениями являются отечественный тепловоз ТЭМ2 и тепловозы чешского производства ЧМЭЗ (см. рис. 5б).

Цепь коммутируется электромагнитным контактором маслопрокачивающего насоса КМН, с устанавливаемого на всех тепловозах «по плюсу».

Поскольку маслопрокачивающий насос необходим только при запуске дизеля, его электродвигатель получает питание от плюса АБ, на тепловозах, где защита якорной цепи осуществляется автоматическим выключателем – от чистого плюса.

Для создания достаточного масляного клина в подшипниках необходима, чтобы предпусковая прокачка дизеля маслом продолжалась не менее минимально необходимого времени.

На всех современных тепловозах контроль этого времени осуществляется автоматически с использованием пневматического (на ТЭМ2) или электронного реле времени, катушка которого получает питание при нажатии кнопки «Пуск дизеля» (на тепловозах ТЭМ2 – после перевода тумблера «Пуск – остановка дизеля» в положение «Пуск»()). Через необходимое время замыкающий с выдержкой времени контакт реле собирает цепь промежуточного реле (контактора) пусковых контакторов или самого пускового контактора.

Защита от проворота коленчатого вала при фактически не произошедшей прокачке ввиду неисправности электродвигателя маслопрокачивающего насоса может осуществляться двояко на некоторых вариантах схемы 2ТЭ116 защита обеспечивается тем, что промежуточное реле (контактор) пусковых контакторов получают питание через контакт

автоматического выключателя «Масляный насос» (на ТЭМ2 см. рис. 7а) или плавкую вставку электродвигателя насоса (на 2ТЭ116). Таким образом при перегорании вставки (выключении автоматического выключателя) сборки схемы проворота не происходит более совершенной является защита установкой в цепь катушки промежуточного реле (контактора) пусковых контакторов или самого лишь при создании в масляной системе минимально допустимого давления. Такая защита, очевидно, исключает проворот не только при неисправности электродвигателя или цепи его питания, но и от иных неисправностей (засорение трубопроводов, отсутствие масла его разжижение и т.д.).

5. Цепи управления проворотом коленчатого вала дизеля

Схему пуска дизеля называют схемой с автозапуском в том случае, если разборка схемы проворота производится автоматически.

На тепловозах с такой схемой кнопка «Пуск дизеля» нажимается кратковременно, после чего контакт кнопки шунтируется замыкающим контактором реле контроля пуска, катушки которого получает питание при нажатии кнопки, после чего реле встает на самопитание. Нередко в качестве этого реле используется контактор маслопрокачивающего насоса (см. рис. 8а), и в этом случае прокачка не прекращается с началом проворота.

Для предотвращения проворота коленчатого вала дизеля при выключенном топливоподкачивающем насосе цепи управления прокачкой и проворотом получают питание через замыкающий блок-контакт КТН (замыкающий контакт ТН) – на тепловозах, где такие аппараты контроля пуска снимаются с самопитания размыкающим контактом реле окончания пуска, катушка которого получает питание по окончании запуска, после чего происходит разборка пусковых цепей.

Запуск тепловоза ТЭМ2 осуществляется, переводом тумблера «Пуск – остановка дизеля» без самовозврата в положение «Пуск», поэтому разборка пусковых цепей в этой схеме осуществляется размыканием замыкающего с выдержкой времени на размыкание контактом РВ2, включенным в цепь последовательно с блок-контактом КТН, который осуществляет сборку цепи катушки КМН после перевода тумблера в положение «Пуск». Питание с катушки РВ2 снимется размыканием контактов реле окончания пуска РУ4.

Схемы получения питания катушкой реле окончания пуска различны. В простейшем случае катушка реле окончания и пуска получает питание через замыкающий с выдержкой времени контакт реле контроля бдительности проворота (ДМ – 62, некоторые варианты схемы 2ТЭ116, ТГМ6 и т.д.). на этих тепловозах схема проворота собрана в течении

фиксированного промежутка времени, независимо от того, насколько успешно протекает запуск.

На более современных тепловозах реле окончания пуска в том случае, если запуск проходит успешно получает питание до замыкания контакта реле контроля времени проворота – этим удастся продлить ресурс аккумуляторной батареи.

На этих тепловозах реле окончания пуска получает питание через замыкающий контакт реле, катушка которого получает питание от таходатчика, ротор которого приводится во вращение коленчатым валом дизеля или через тиристор между управляющим электродом и катодом которого прикладывается напряжение, снижаемое с таходатчика.

На тепловозах ТЭП70 для этих целей используется специальный таходатчик, питание с которого подается на катушку промежуточного реле РУ10, замыкающий контакт которого собирает цепь катушки окончания пуска РУ6.

На тепловозах ТЭП70 последних лет постройки и прошедших капитальный ремонт в эти годы, а также на тепловозах ТЭМ7А и некоторых вариантах схемы 2ТЭ116 в качестве таходатчика используется возбуждатель, на обмотку возбуждения которого при запуске подается возбуждение от аккумуляторной батареи (см. рис. 9а).

Специфична схема разборки пусковых цепей тепловоза ТЭМ2: разборку осуществляет замыкающий с выдержкой времени на размыкание контакт реле времени РВ2, катушка которого теряет питание после замыкания реле окончания пуска РУ4, катушка которого получает питание при замыкании контакта реле давления масла РДМ, используемого для защиты дизеля от пониженного давления масла. Выдержка времени обеспечивает устойчивость запуска: если бы пусковые цепи разбирались немедленно после замыкания контактов РДМ, после размыкания пусковых контакторов происходила бы просадка оборотов дизеля, контакт РДМ размыкался и дизель останавливался.

На тепловозах чешского производства ЧМЭ в качестве таходатчика используется вспомогательный генератор.

В схеме отсутствует промежуточное реле окончания пуска: катушка контактора КМН подключается между плюсом аккумуляторной батареи и плюсом вспомогательного генератора, при успешном пуске дизеля напряжение ВГ превысит напряжение АБ и катушка КМН окажется без питания.

6. Ускорение пуска и предотвращение проворота при червяке валопроворотного механизма, введенном в зацепление

Дизели оборудуются регуляторами частоты вращения коленчатого вала (объединенными регуляторами частоты вращения коленчатого вала и мощности) с автономными масляными системами: регулятор оборудуется собственным шестеренчатым масляным насосом, проводимы АО вращение коленчатым валом дизеля. При пуске дизеля регулятор некоторое время неработоспособен ввиду отсутствия давления масла, то есть практически при провороте коленчатого вала несколько секунд происходит повышение давления в масляной системе регулятора, после чего тот выводит рейки ТНВД на подачу, и начинается собственно запуск.

Таким образом, несколько секунд проворот коленчатого вала осуществляется без подачи топлива в цилиндры. Для сокращения времени проворота и соответственно для увеличения срока службы аккумуляторных батарей. На дизелях серий Д40, Д45, Д49 устанавливаются специальные устройства – ускорители пуска, приводимые в действие сжатым воздухом и выводящие рейки ТНВД на максимальную подачу.

Включение и отключение ускорителя осуществляется электропневматическим вентилем катушка которого получает питание одновременно с пусковыми контакторами (контактором).

На дизелях этих же серий установлены червячные передачи, позволяющие осуществить проворот коленчатого вала вручную (при ремонте): так называемые валопроворотные механизмы. Нормально червяк механизма должен быть выведен из зацепления с колесом, попытка запуска дизеля с червяком, выведенным в зацепление неминуемо приведет к порче механизма. Во избежание этого валопроворотные механизмы оснащают концевыми выключателями, контакты которых, разомкнутые при червяке, введенном в зацеплении, устанавливают в цепи одного из пусковых контакторов. Таким образом исключается не только штатная сборка схемы проворота, но и сборка ее при нажатии в ручную якоря (промежуточного реле контактора) пусковых контакторов.

Недостатком ускорителей пуска, устанавливаемых на отечественных тепловозах является их неработоспособность при отсутствии сжатого воздуха.

Этого недостатка лишены ускорители пуска, устанавливаемые на тепловозах чешского производства ЧМЭЗ: приводоускорителя на этих тепловозах осуществляется давлением масла, поступающего от малопрокачивающего насоса.