

Тяговый электродвигатель

Лабораторная работа

Разработал доцент кафедры «ЛКРиПС»
Желдак К.В.

Тяговый электродвигатель

■ Вопросы к рассмотрению:

- Общие сведения о ТЭД;
- Классификация ТЭД;
- Устройство и принцип работы ТЭД.

Общие сведения о ТЭД

- **Тяговый электродвигатель (ТЭД)** — электрический двигатель, предназначенный для приведения в движение транспортных средств (электровозов, электропоездов, тепловозов и т. п.).
- ТЭД преобразуют электрическую энергию, подаваемую от контактной сети, в механическую, которая идет на движение поезда. Вращающий момент, созданный в тяговом двигателе, передается через зубчатую передачу (редуктор) на колесные пары вращая их и во взаимодействии с рельсами приводит в движение локомотив.
- Тяговые электродвигатели изготавливаются в соответствии с ГОСТ 2582-81 «Машины электрические. Вращающиеся тяговые».
- Основное отличие ТЭД от обычных электродвигателей большой мощности заключается в условиях монтажа двигателей и ограниченном месте для их размещения. Это привело к специфичности их конструкций (ограниченные диаметры и длина, многогранные станины, специальные устройства для крепления, условия эксплуатации и т. п.).

Общие сведения о ТЭД

- Мощность ТЭД непрерывно повышается. Так, за последние 15 лет номинальная мощность двигателей электровозов возросла почти в 2 раза. В дальнейшем ожидается еще большее повышение их мощности при одновременном повышении надежности и экономичности в эксплуатации.
- ТЭД работают в очень трудных условиях. Их нагрузка в эксплуатации кратковременно может превышать номинальную на 50÷80 %. При прохождении колесными парами неровностей пути на двигатель действуют значительные динамические силы. Необходима защита ТЭД от проникновения в них пыли, влаги и снега, а также принудительное охлаждение.

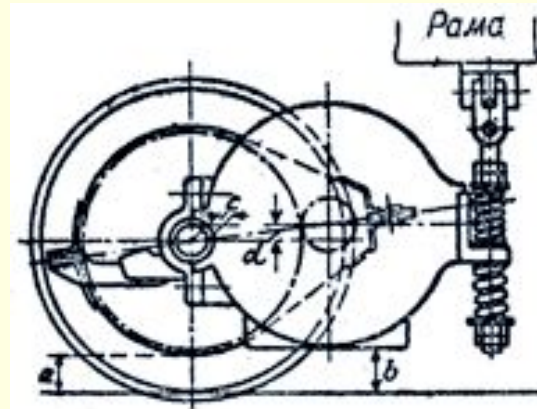
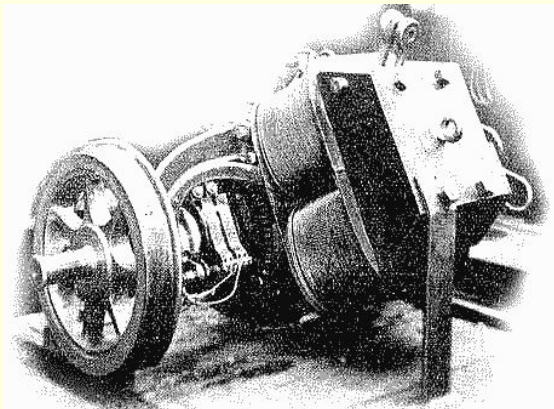
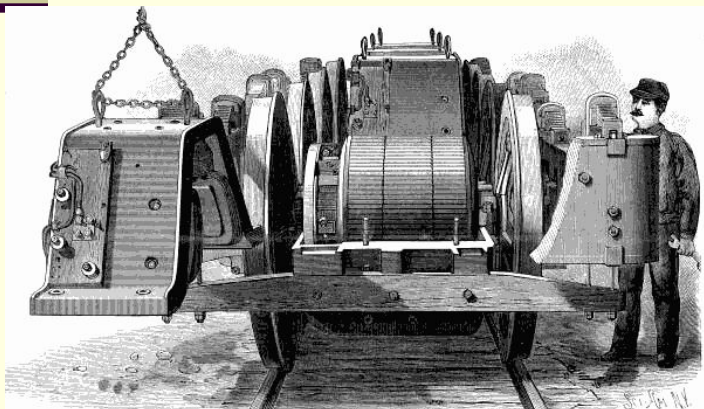
Общие сведения о ТЭД

- Изоляция тяговых двигателей подвергается значительному нагреву, воздействию влаги, перенапряжений, вибрации, поэтому она должна обладать достаточной электрической и механической прочностью, быть нагрево- и влагоустойчивой.
- Применение изоляции высокого класса повышает надежность тягового двигателя, позволяет при тех же размерах реализовать большую мощность, допускать более высокие температуры нагрева его частей.

Нагревоустойчивость - один из основных показателей качества изоляции, в зависимости от нее все электроизоляционные материалы делят на классы. Класс изоляции обозначается буквами латинского алфавита. В тяговых машинах используют изоляцию классов В, Р, Н.

Общие сведения о ТЭД

- Тяговый электродвигатель, по сути, представляет собой электродвигатель с передачей вращающего момента на колесную пару транспортного средства.
- В конце XIX века было создано несколько моделей безредукторных ТЭД, когда якорь насаживается непосредственно на ось колёсной пары. Однако даже полное подрессоривание двигателя относительно оси не избавляло конструкцию от недостатков, приводящих к невозможности развить приемлемую мощность двигателя.
- Проблема была решена установкой понижающего редуктора, что дало возможность значительно увеличить мощность и развить достаточную для массового применения ТЭД на транспортных средствах силу тяги.

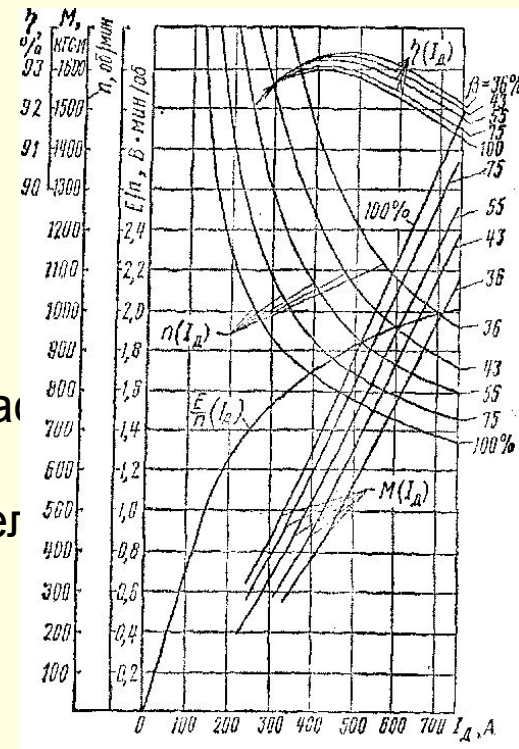


Общие сведения о ТЭД

- Помимо основного режима тяговые электродвигатели могут работать в реверсивном режиме (обратное вращение вала), а также в режиме генератора (при электрическом торможении, рекуперации).
- Существенным моментом использования ТЭД является необходимость обеспечения плавного пуска-торможения двигателя для управления скоростью транспортного средства. Вначале регулирование силы тока осуществлялось за счёт подключения дополнительных резисторов и изменения схемы коммутации силовых цепей.
- С целью уйти от бесполезной нагрузки и повысить КПД стали применять импульсный ток, регулировка которого не требовала резисторов. В дальнейшем стали использоваться электронные схемы, обслуживаемые микропроцессорами.

Характеристики ТЭД

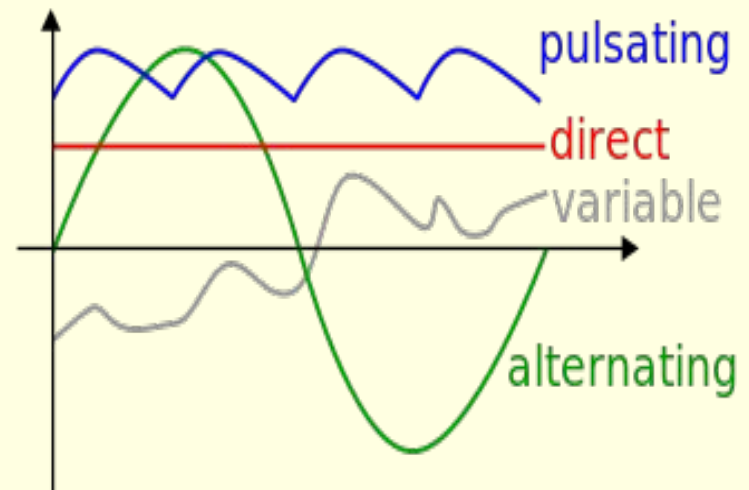
- Как правило, определяются следующие характеристики ТЭД:
- Электромеханические (типовые)
 - зависимости от тока якоря
 - частоты вращения
 - вращающего момента
 - КПД
- Электротяговые
 - зависимости от тока якоря
 - окружной скорости движущих колёс ПС
 - силы тяги
 - КПД на ободу движущих колёс ПС
- Тяговые
- Тепловые (зависимость температур отдельных частей ТЭД от времени при различной силе тока);
- Аэродинамические (характеризуют обдув двигателя)



Классификация тяговых электродвигателей

□ По роду тока:

- постоянного (в том числе выпрямленного многофазного пульсирующего до 10 %),
- пульсирующего (в том числе выпрямленного однофазного пульсирующего более 10 %),
- переменного.



- Переменный синусоидальный ток;
- Постоянный ток;
- Пульсирующий ток, форма импульсов близка к пилообразной;
- Случайные изменения электрического напряжения.

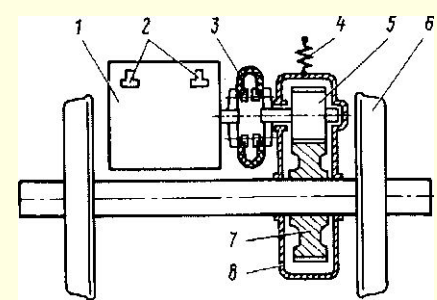
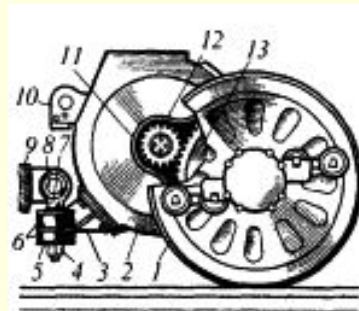
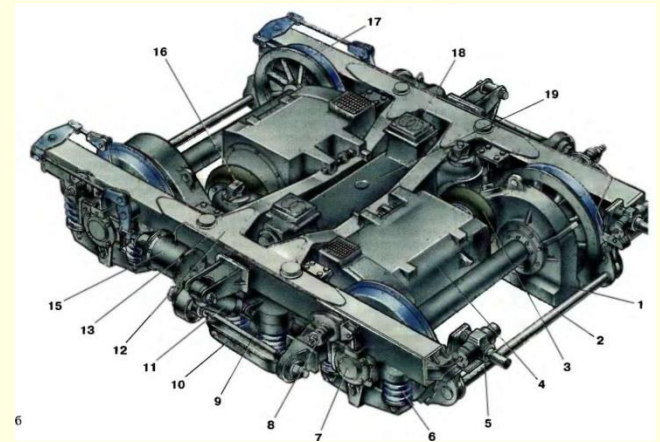
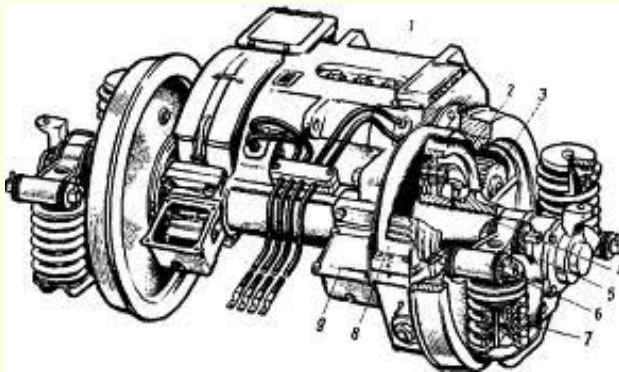
Классификация тяговых электродвигателей

□ По типу:

- **Электродвигатель постоянного тока (ДПТ)** — электрическая машина постоянного тока, преобразующая электрическую энергию постоянного тока в механическую энергию.
- **Синхронная машина** - это электрическая машина переменного тока, частота вращения ротора, которой равна частоте вращения магнитного поля в воздушном зазоре.
- **Асинхронная машина** - электрическая машина переменного тока, частота вращения ротора которой не равна (в двигательном режиме меньше) частоте вращения магнитного поля, создаваемого током обмотки статора.

Классификация тяговых электродвигателей

- По типу подвешивания ТЭД:
 - опорно-осевое,
 - опорно-рамное;



Классификация тяговых электродвигателей

- При **опорно-осевом** подвешивании - ТЭД с одной стороны опирается на ось колесной пары через моторно-осевые подшипники скольжения (МОП) и связан с ней тяговой передачей, а с другой - через кронштейн и упругий элемент (маятниковую подвеску или траверсу) на раму тележки;
- При **опорно-рамном** подвешивании - ТЭД полностью опирается на раму тележки, то есть полностью обрессорен и защищен от динамических воздействий от пути.

Классификация тяговых электродвигателей

- По конструкции:
 - коллекторные
 - бесколлекторные (бесконтактные, вентильные),
 - вращающиеся (цилиндрические и торцевые) и линейные (цилиндрические и плоские);

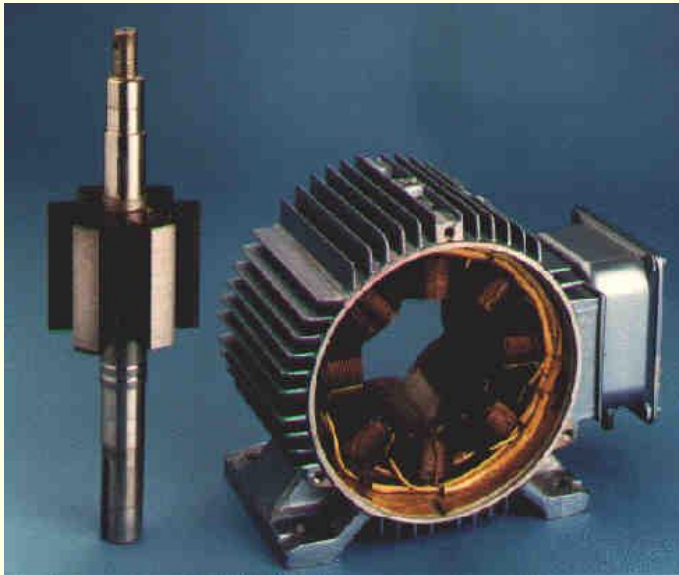
Коллекторный электродвигатель

- Коллекторный электродвигатель — электрическая машина, в которой датчиком положения ротора и переключателем тока в обмотках является одно и то же устройство - щёточно-коллекторный узел.



Вентильный электродвигатель

- **Вентильный электродвигатель (ВД)** — это замкнутая электромеханическая система, состоящая из синхронной машины с синусоидальным распределением магнитного поля в зазоре, датчика положения ротора, преобразователя координат и усилителя мощности.



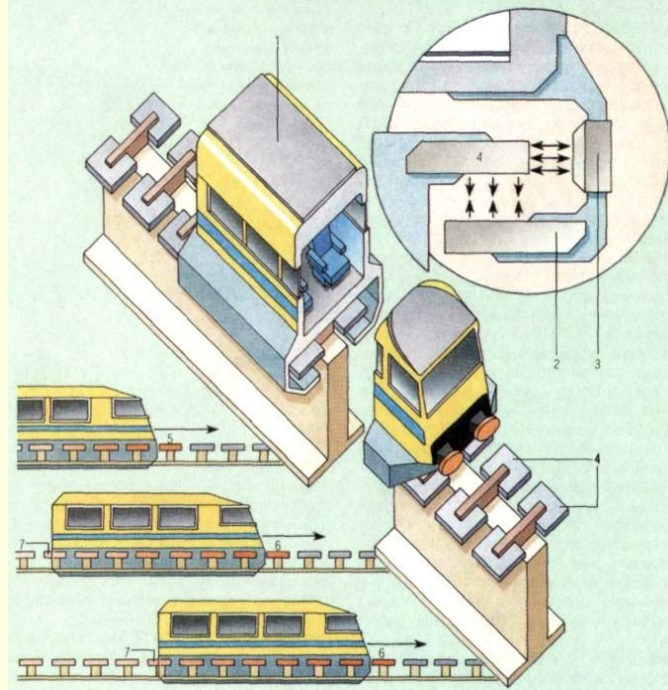
Двигатель питается от преобразователя, который позволяет протекать току в обмотку двигателя через полупроводниковые ключи (вентили). Регулирующая система, которая регистрирует ток и положение ротора соответствующими датчиками, управляет полупроводниковыми ключами. Статор явнополюсный. Противоположные катушки питаются вместе и образуют фазу с северным и южным полюсами. Ротор представляет собой простую похожую на шестерню конструкцию без магнитов и щеток.

Линейный двигатель

- **Линейный двигатель** - электродвигатель, у которого один из элементов магнитной системы разомкнут и имеет развёрнутую обмотку, создающую магнитное поле, а другой взаимодействует с ним и выполнен в виде направляющей, обеспечивающей линейное перемещение подвижной части двигателя.

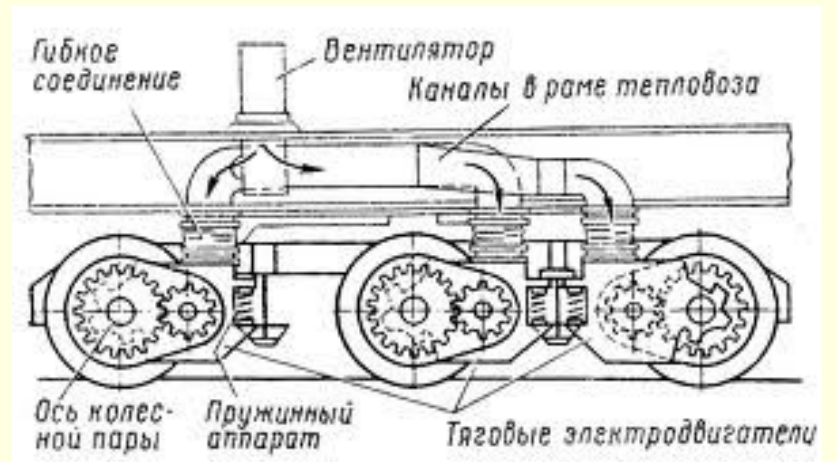


Поезда Московской монорельсовой транспортной системы используют для движения асинхронный линейный двигатель. Статор расположен на подвижном составе, а вторичным элементом служит монорельс.



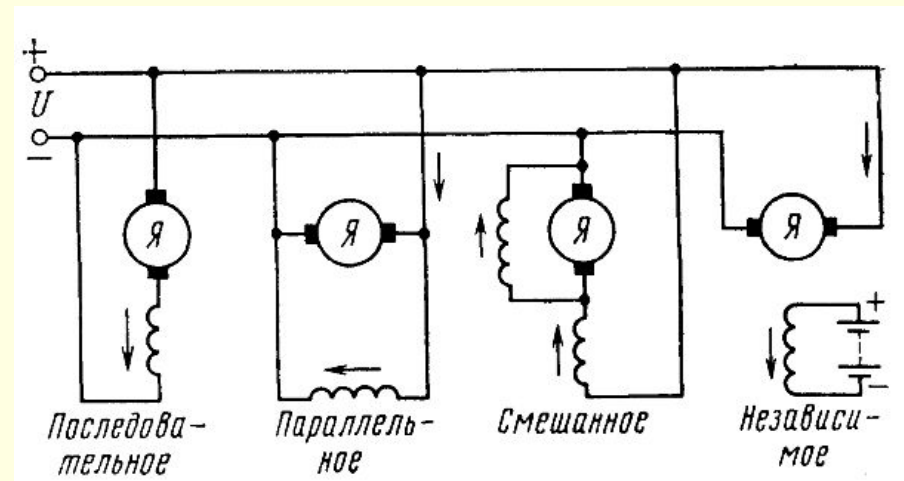
Классификация тяговых электродвигателей

- По способу охлаждения:
 - с независимой вентиляцией,
 - с самовентиляцией,
 - обдуваемые,
 - с естественным охлаждением.



Классификация тяговых электродвигателей

- По способу возбуждения (по способу соединения обмоток возбуждения с обмоткой якоря) коллекторные тяговые двигатели подразделяются:
 - с последовательным - (серийным) возбуждением;
 - с параллельным возбуждением;
 - со смешанным возбуждением;
 - с независимым возбуждением.

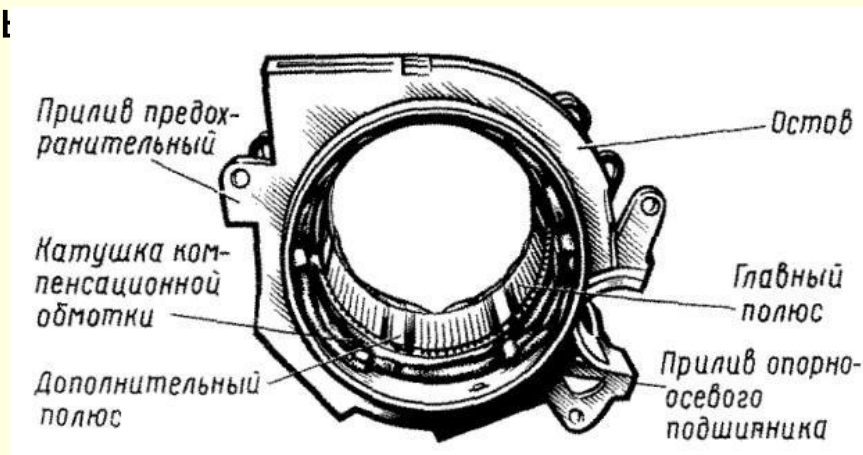


Устройство ТЭД

- Тяговый двигатель можно разделить на три основных узла:
 - остов
 - якорь
 - подшипниковые щиты

Остов тягового электродвигателя

- К остову крепят главные и дополнительные полюса, щиты с роликовыми подшипниками, в которых вращается якорь электродвигателя, и другие детали; предусмотрены в остове люки для подвода и отвода охлаждающего воздуха.
- Остов имеет горловины, через которые в него устанавливают полюса, якорь и другие детали.
- В процессе эксплуатации электровоза приходится периодически проверять состояние коллектора и щеточного аппарата. Для этого в остове имеются смотровые люки, герметично закрываемые крышками.



Остов тягового электродвигателя

- У тягового двигателя остов одновременно служит магнитопроводом, к нему крепят главные и дополнительные полюса. Остов (ярмо) должен оказывать минимальное сопротивление прохождению магнитного потока, поэтому его изготавливают из стали, обладающей хорошими магнитными свойствами.
- Форма остова зависит от числа полюсов:
 - ТЭД с 4-мя полюсами (пассажирские и маневровые локомотивы, моторные вагоны электропоездов) остов имеет восьмигранную;
 - ТЭД с 6-тью полюсами (грузовые электровозы) остов имеет цилиндрическую форму

Остов тягового электродвигателя

- Остов имеет цилиндрическую форму, отлит из стали 25Л11, является одновременно магнитопроводом и корпусом, к которому крепятся все основные детали и узлы тягового двигателя. Часть остова, которая является магнитопроводом, выполнена утолщенной.
- В нижней части остов имеет два сливных отверстия **а** диаметром 20 мм. Со стороны коллекторной камеры в остове имеется вентиляционный люк, через который входит охлаждающий, воздух, а со стороны против коллектора - люк и привалочные поверхности для крепления специального кожуха, образующего выходной патрубков для вентилирующего воздуха.
- В остове предусмотрены два смотровых люка: один в верхней, другой в нижней части против коллектора.

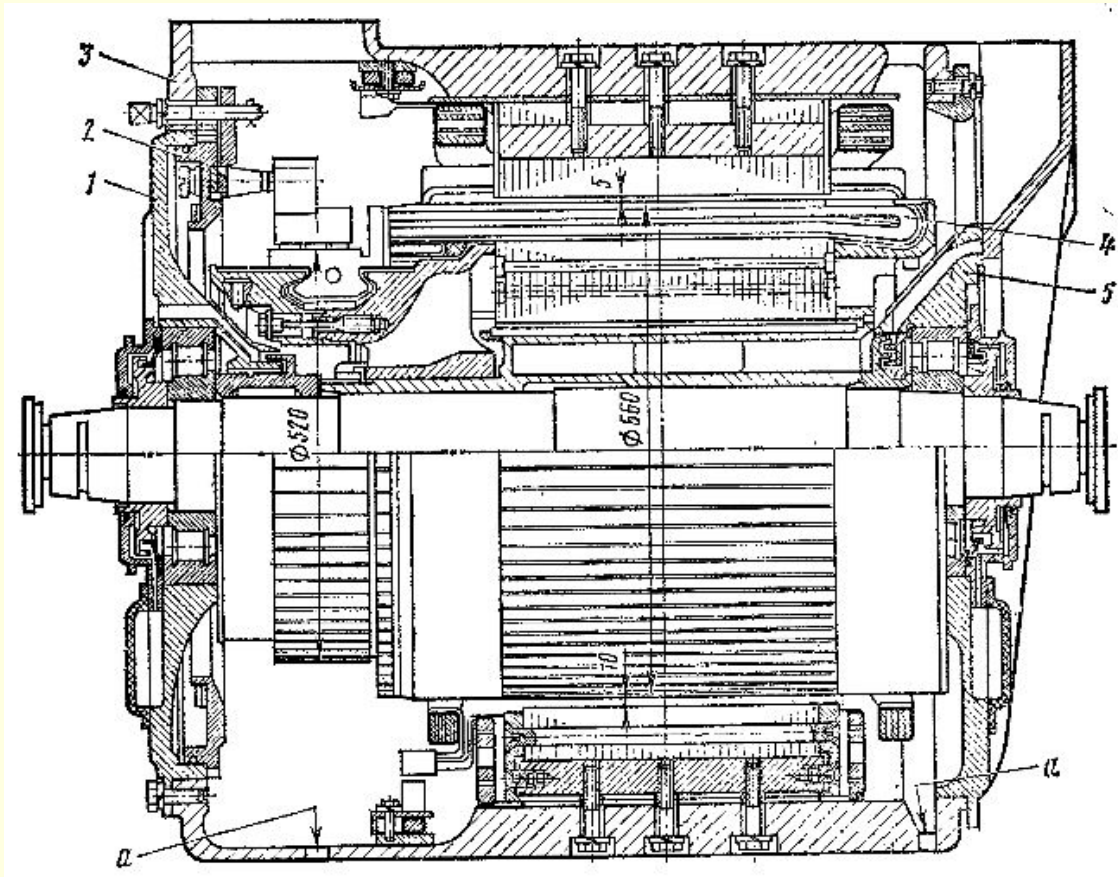
Остов тягового электродвигателя

- Через эти люки производят осмотр коллектора и щеточного аппарата, осуществляют уход за ними в эксплуатации. Люки плотно закрываются крышками.
- Крышка верхнего люка имеет пружинный замок, с помощью которого она плотно прижимается к остову.
- Крышка нижнего люка крепится к остову одним болтом М20 и специальным болтом с цилиндрической пружиной. Для лучшего уплотнения на крышках люков предусмотрены войлочные прокладки.
- С торцов остов имеет горловины с привалочными поверхностями для установки подшипниковых щитов с роликовыми подшипниками, в которых вращается якорь тягового двигателя.

Остов тягового электродвигателя

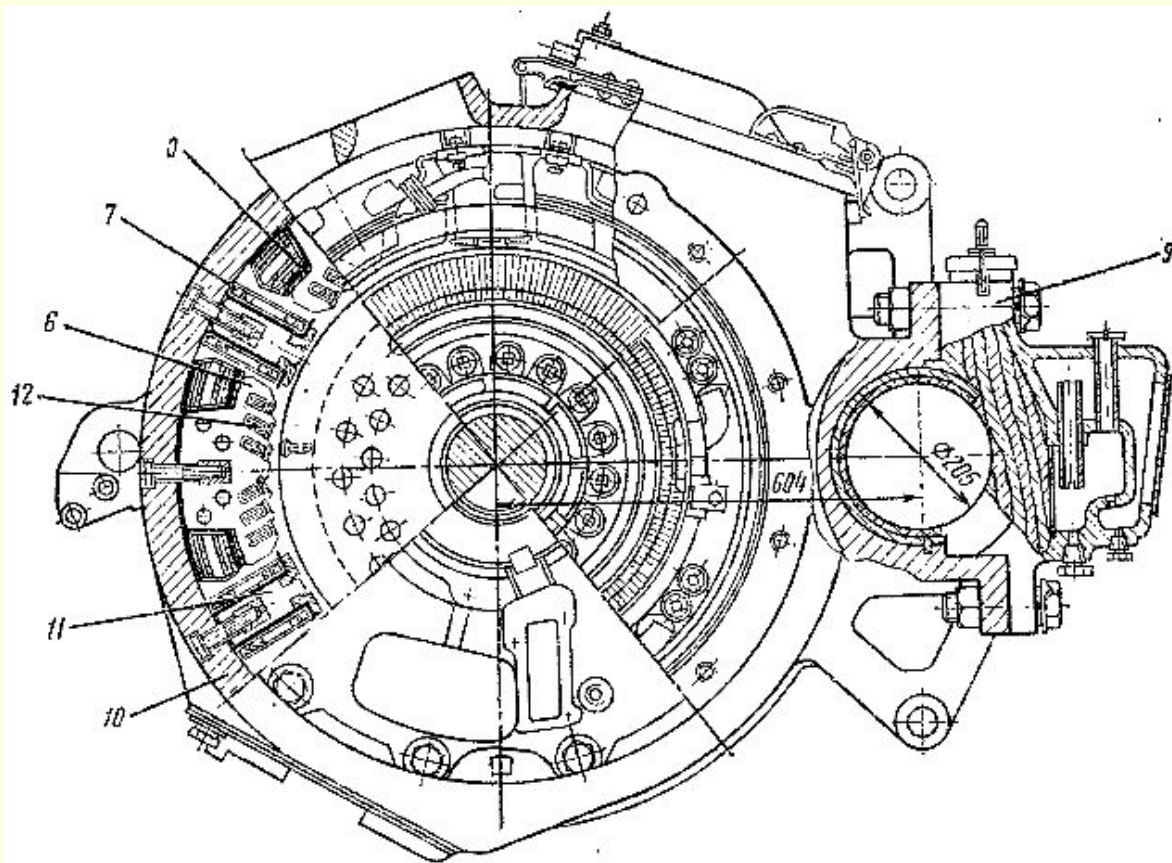
- С наружной стороны остов имеет два прилива для крепления букс моторно-осевых подшипников (МОП), прилив для крепления кронштейна подвески двигателя, предохранительные приливы, прилив для коробки выводов, приливы с отверстиями для транспортировки и кантования остова и двигателя при монтаже и демонтаже, кронштейны для крепления кожухов зубчатой передачи.

Продольный разрез тягового двигателя НБ-418К6



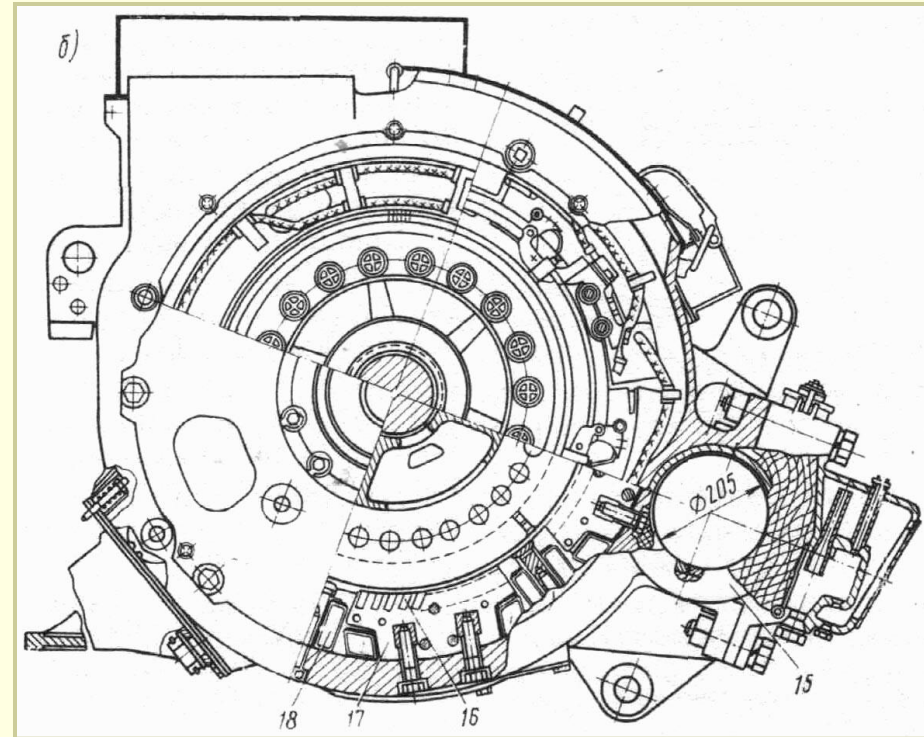
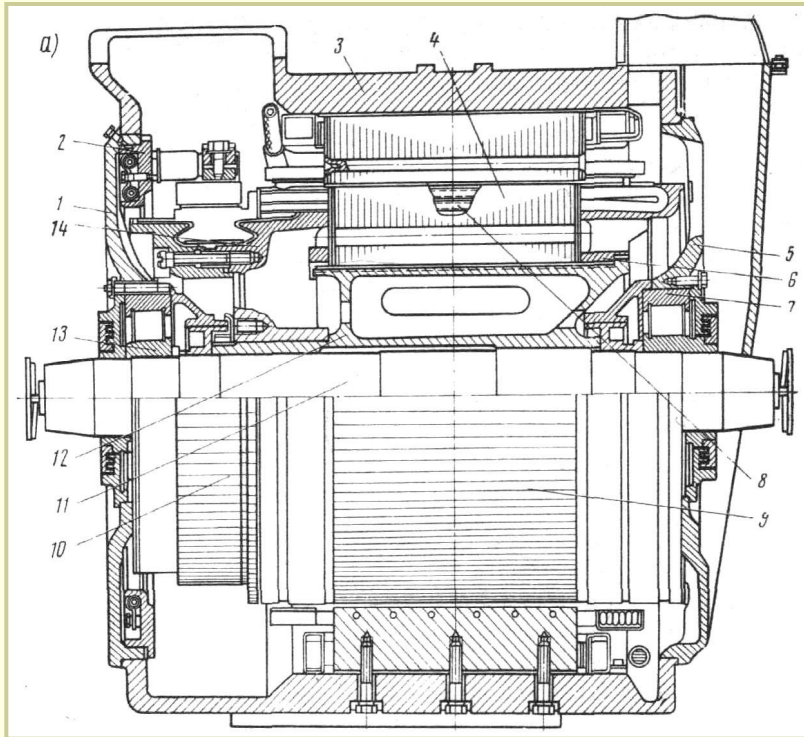
1, 5 - щиты подшипниковые; 2 - траверса; 5- остов; 4 - якорь

Поперечный разрез тягового двигателя НБ-418К6



1-5 – см. рис.2; 6- сердечник главного полюса; 7 - катушка добавочного полюса; 8- катушка главного полюса; 9 - подшипник моторно-осевой; 10 - остов; 11- сердечник добавочного полюса, 12 - катушка компенсационной обмотки

Тяговый электродвигатель ТЛ-2К1



1,5-подшипниковый щит; 2-траверса; 3-остов; 4-сердечник якоря;
6-нажимная шайба; 7,13 –роликовые подшипники; 8-обмотка якоря;
9-якорь; 10-коллектор; 11-вал;12-втулка; 14-корпус коллектора; 15-МОП;
16-компенсационная обмотка; 17-главные полюса; 18-добавочные полюса.

Подшипниковые щиты

- Ими плотно закрывают торцовые горловины остова с обеих сторон. Концы вала якоря закрепляют в подшипниках, размещенных в щитах. Поэтому щиты называют подшипниковыми.
- В современных тяговых двигателях применяют только роликовые подшипники качения, более надежные, чем шариковые и подшипники трения скольжения. Роликовые подшипники не требуют частого пополнения смазки и постоянного ухода.
- При вращении вала тягового двигателя смазка может выбрасываться из подшипников. Чтобы избежать этого, на валу устанавливают специальные устройства, предупреждающие разбрызгивание и выбрасывание смазки - лабиринтные маслоуплотнители. Подшипниковые щиты предотвращают загрязнение частей двигателя и проникновение в него влаги.

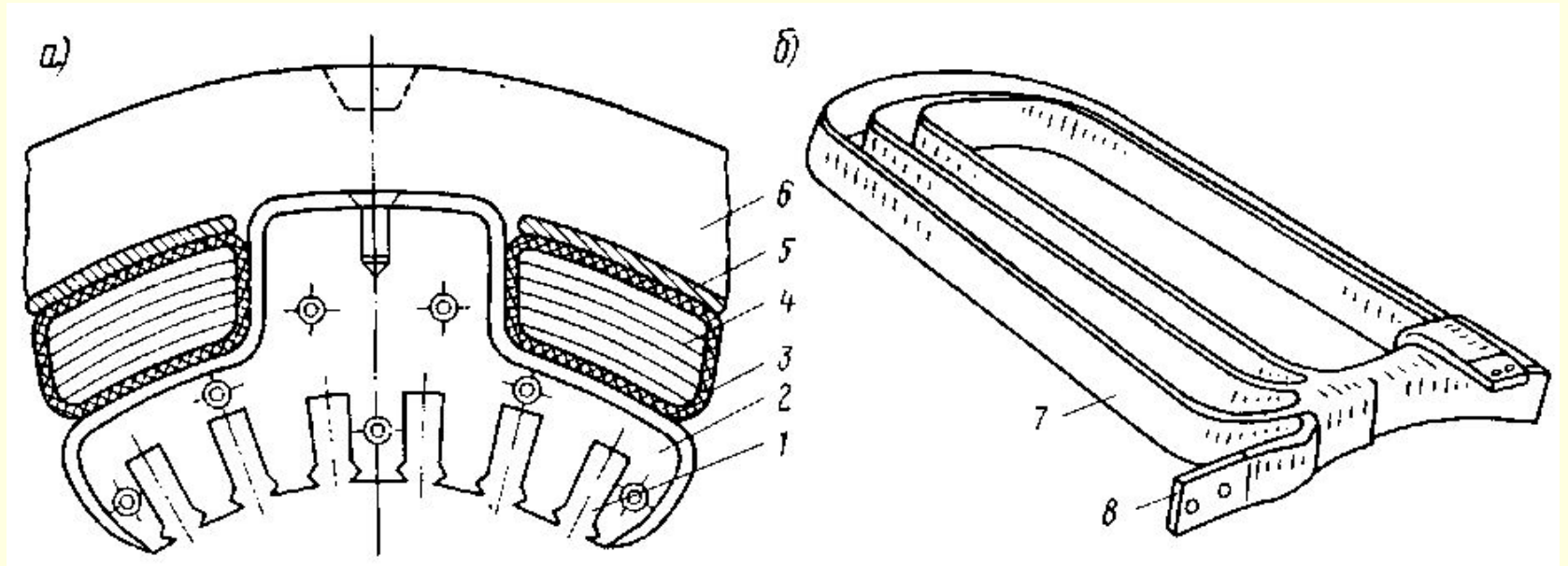
Главные полюса

- Представляют собой сердечники, на которые надевают катушки обмотки возбуждения. Сердечники главных полюсов, как и якоря, собирают из отдельных листов стали, т. е. выполняют шихтованными.
- Зубцы и впадины сердечника якоря, перемещаясь при вращении под полюсами, искажают магнитное поле и вызывают пульсацию магнитного потока, из-за чего в сердечнике полюса возникают вихревые токи и нагревая сердечники.
- Чтобы обеспечить необходимое распределение магнитного потока по поверхности якоря, сердечнику придают довольно Т-образную форму; она определяется соотношением размеров ширины сердечника и его полюсного наконечника, формой воздушного зазора, наличием компенсационной обмотки, условиями размещения и закрепления ее и катушек главных полюсов, способом крепления сердечников к остову.

Компенсационная обмотка

- Компенсационная обмотка, применяемая в тяговых двигателях пульсирующего тока и в мощных двигателях постоянного тока, служит для компенсации реакции якоря.
- Обмотку располагают в пазах наконечника главных полюсов и соединяют последовательно с обмоткой якоря.
- В отечественных тяговых двигателях применена хордовая компенсационная обмотка из мягкой прямоугольной медной проволоки. Крепят компенсационную обмотку в пазах клиньями из текстолита.

Главный полюс в машинах с компенсационной обмоткой

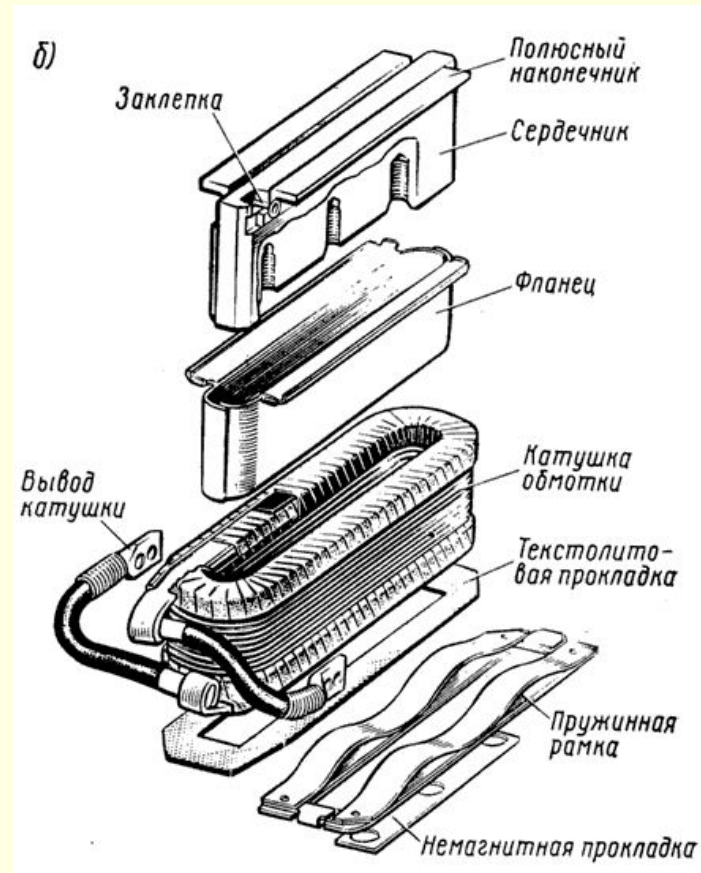
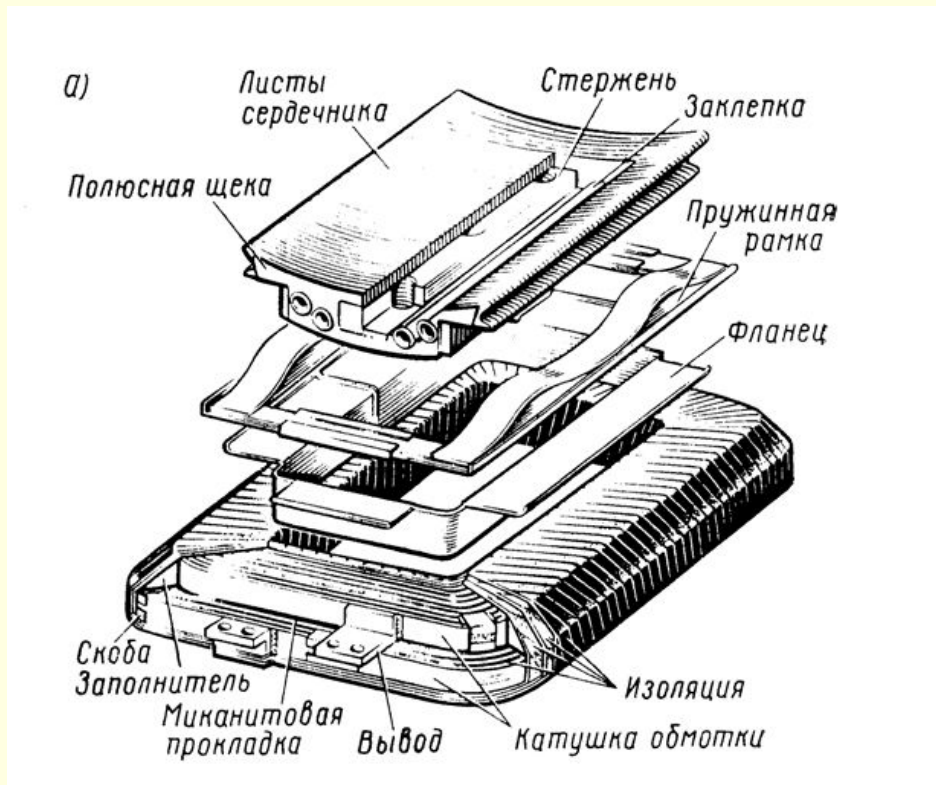


Главный полюс в машинах с компенсационной обмоткой (а) и общий вид этой обмотки (б): 1 – паз для катушки компенсационной обмотки; 2 – полюсный наконечник; 3 — корпусная изоляция катушки возбуждения; 4 – проводники катушки возбуждения; 5 – немагнитная прокладка; 6 — остов; 7, 8 — катушка и вывод компенсационной обмотки

Дополнительные полюса

- Добавочные полюсы обеспечивают уменьшение искрения под щетками, возникающего при работе машины. Полюса состоят из сердечников и катушек. Магнитный поток, необходимый для компенсации реактивной э. д. с., сравнительно невелик, вследствие чего дополнительные полюса имеют меньшие размеры, чем главные.
- Потери в их сердечниках, вызываемые пульсацией магнитного потока, незначительны, поэтому сердечники изготавливают сплошными. В машинах с тяжелыми условиями коммутации, а также в двигателях пульсирующего тока для уменьшения вихревых токов эти сердечники выполняют шихтованными.
- Катушки дополнительных полюсов наматывают из полосовой меди. Число дополнительных полюсов всегда равно числу главных.

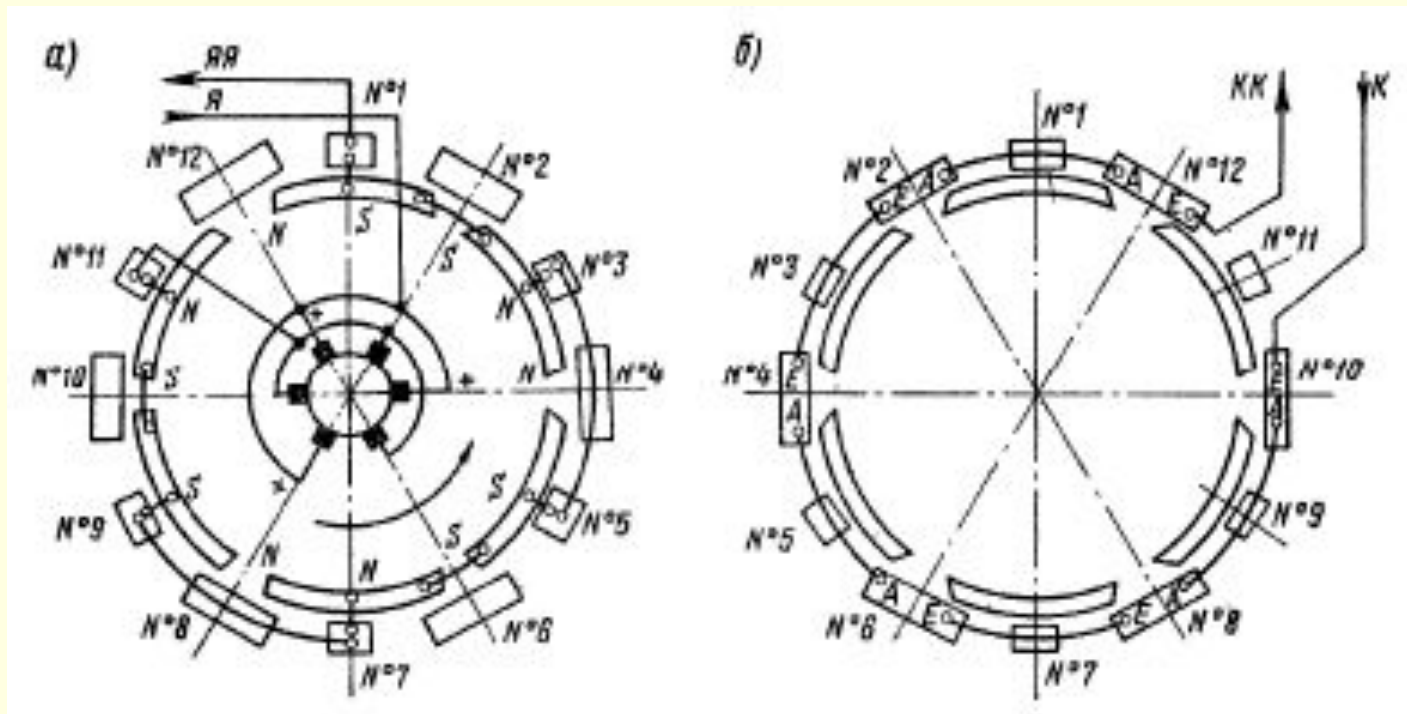
Магнитная система ТЭД



а) главный полюс; б) дополнительный полюс

Схемы соединения катушек полюсов

ПОЛЮСОВ

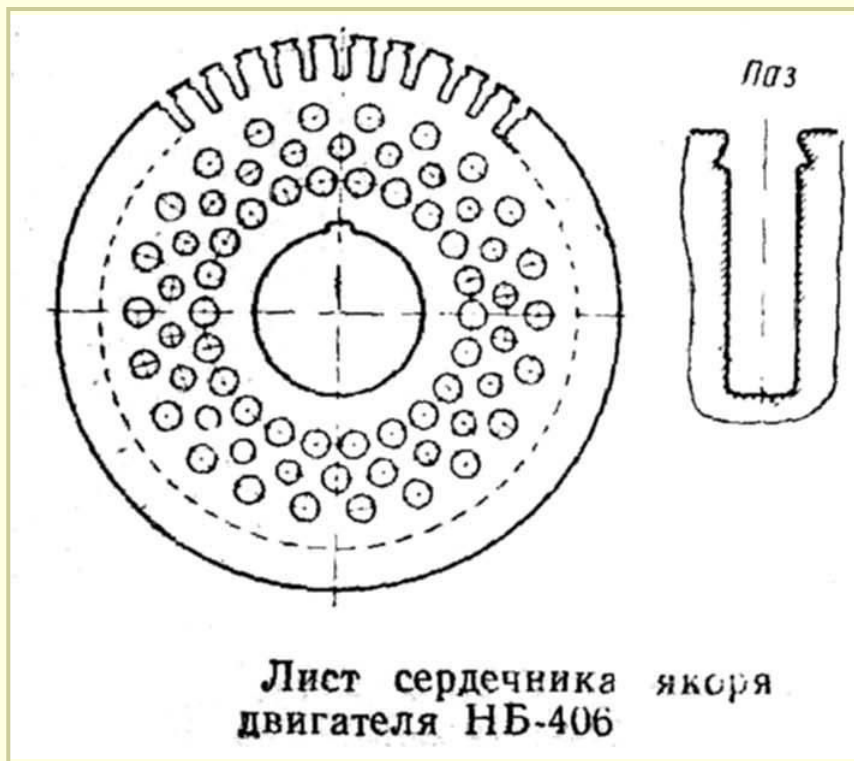


Схемы соединения катушек полюсов со стороны коллектора (а) и противоположной (б) тягового электродвигателя ТЛ2К1

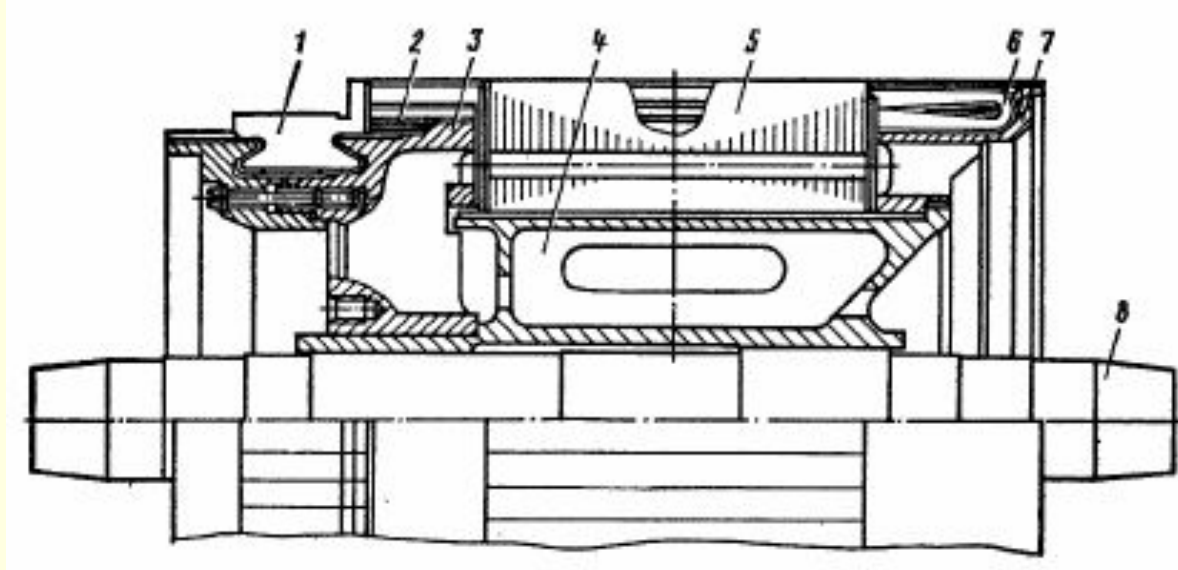
Якорь

- У тягового двигателя якорь состоит из сердечника, вала, обмотки и коллектора.
- Сердечник собран из штампованных листов специальной электротехнической стали, т. е. шихтован (см. главный полюс). Каждый лист изолирован от соседнего тонким слоем лака.
- В сердечнике делают ряд круглых отверстий для пропуска воздуха, охлаждающего якорь, который нагревается теплом, выделяемым обмоткой при прохождении по ней тока, и не полностью устраненными вихревыми токами.
- Валы якорей тяговых двигателей изготавливают из особой стали повышенного качества. Листы сердечника собирают на специальной втулке, а не непосредственно на валу. Это позволяет при необходимости выпрессовывать вал из втулки, не разбирая сердечник, обмотку и коллектор. Втулка выполняется пустотелой для снижения веса якоря.

Якорь



Якорь



1 - коллектор, обмотки; 2 – изоляция из миканита; 3 – передней нажимных шайба;
4 – втулка; 5 – сердечник; 6 – обмотка якоря; 7 - задняя нажимная шайба; 8 - вал.

Якорь

- Обмотку якоря укладывают в пазы его сердечника. Проводники обмотки соединяют один с другим в определенной последовательности, применяя так называемые лобовые соединения. Последовательность соединения должна быть такой, чтобы все силы взаимодействия, возникающие между проводниками с током и магнитным потоком, стремились вращать якорь двигателя в одну сторону. Для этого соединяемые проводники, образующие виток, должны быть расположены один от другого на расстоянии, примерно равном расстоянию между полюсами.
- Начало и конец витка присоединяют к разным коллекторным пластинам в определенной последовательности, образуя таким образом обмотку якоря. Отдельные витки, составляющие обмотку, называют секциями.

Якорь

- Проводники обмотки якоря могут быть соединены двумя способами, и в зависимости от этого получают обмотки двух типов — петлевую и волновую.
- Для наглядности изображения полюса электрической машины и пластины коллектора, которые в действительности расположены по окружности, на рисунке изображают в виде развертки на плоскости.
- В большинстве тяговых двигателей первоначально применяли волновую обмотку. В современных тяговых двигателях большой мощности применяют петлевые обмотки. Обмотку якоря укладывают в пазы, выштампованные в листах стали, из которых собирают сердечник. В каждом пазу помещают стороны двух секций, так как обмотки двигателей обычно располагают в два слоя.
- Уложенная обмотка закреплена в пазах текстолитовыми клиньями, а в лобовых частях с помощью бандажей. Проводники, имеющих прямоугольное сечение, уложены плашмя. Это позволило повысить мощность двигателей при заданных габаритных размерах.

Якорь. Обмотка якоря

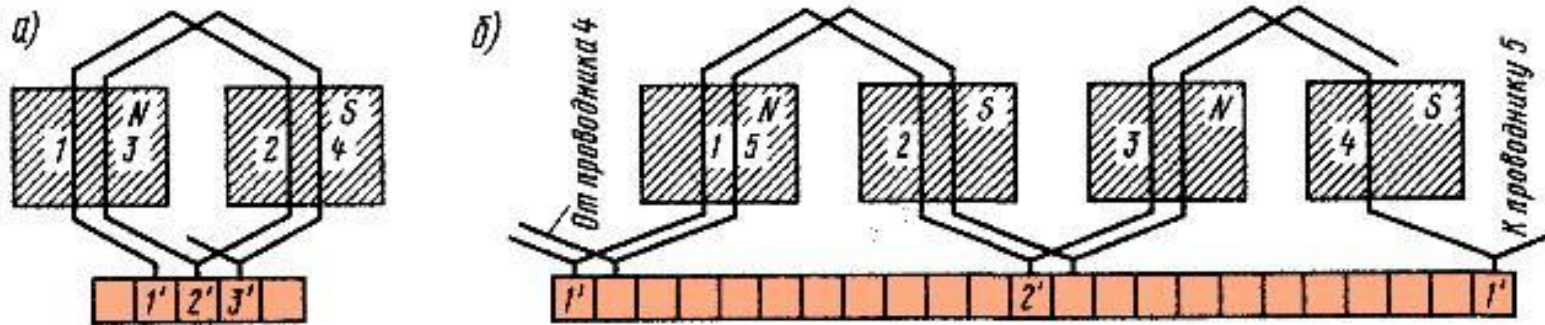
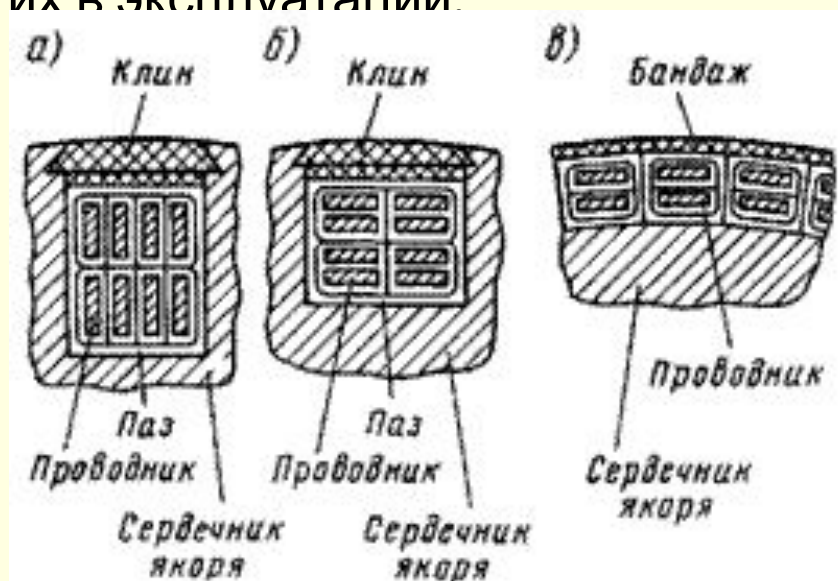


Рис. 16. Петлевая (а) и волновая (б) обмотки якоря

Якорь

- Производство новых электроизоляционных материалов высокой прочности позволило создать (пока опытные) гладкие беспазовые якоря, т. е. укладывать обмотки на гладкую цилиндрическую поверхность. Это снижает стоимость изготовления двигателей и расходы на содержание их в эксплуатации.



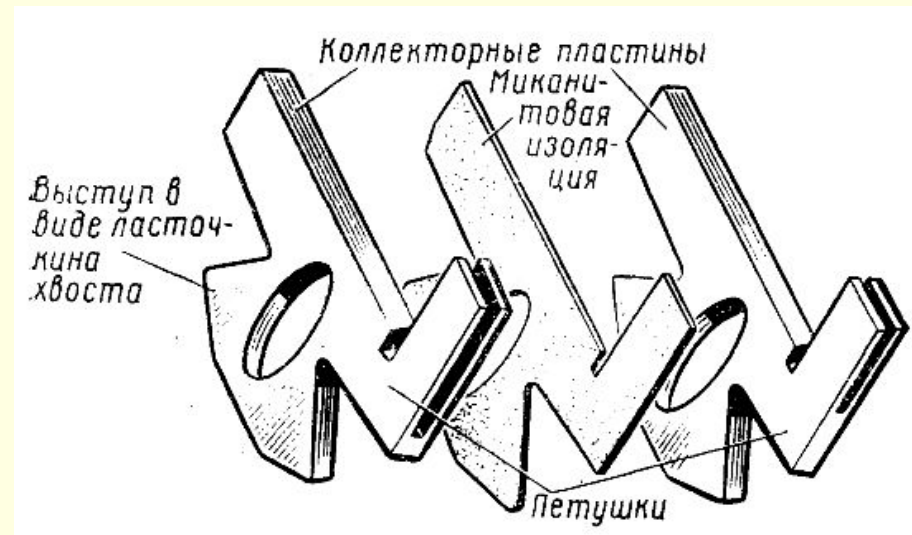
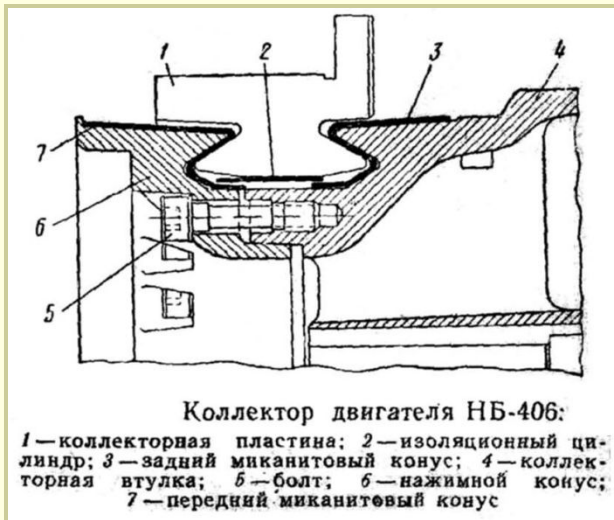
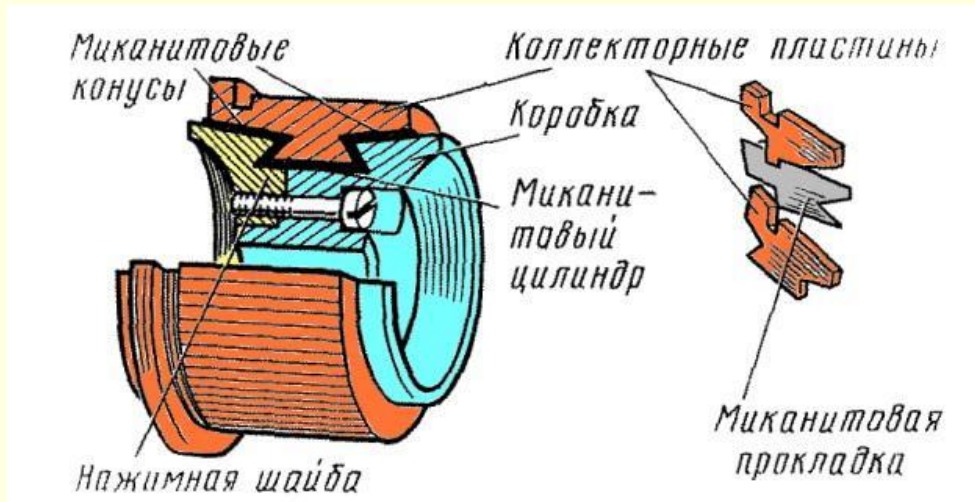
Коллектор

- Коллектор - один из основных и наиболее ответственных узлов ТЭД постоянного тока. Коллектор наиболее нагружен в электрическом отношении, и условиями его надежной работы ограничиваются предельные мощности тяговых двигателей. Диаметр коллектора современных тяговых двигателей превышает 800 мм, число пластин достигает 600. Медные пластины коллектора имеют в сечении форму клина. Одна от другой они изолированы прокладками из коллекторного миканита. Миканит изготавливают из лепестков слюды, обладающей очень высокими электрической прочностью и теплостойкостью, а также влагостойкостью. Склеивают лепестки специальными лаками или смолами.

Коллектор

- В нижней части коллекторные и изоляционные пластины имеют форму так называемого «ласточкиного хвоста». «Ласточкины хвосты» пластин и прокладок надежно зажаты между коробкой коллектора и нажимной шайбой, стянутыми болтами. От коробки и нажимной шайбы коллекторные пластины изолируют, прокладывая конусы и цилиндр, изготовленные из миканита. Коллекторные пластины имеют выступы, называемые петушками. В петушках сделаны прорезы, куда впаивают концы секций обмотки якоря.
- Во время работы двигателя щетки истирают поверхность коллектора. Миканит более износостоек, чем медь, поэтому в процессе работы поверхность коллектора может стать волнистой. Чтобы этого не произошло, изоляцию в промежутках между медными пластинами после сборки коллектора делают меньшей высоты - продороживают коллектор фрезами.

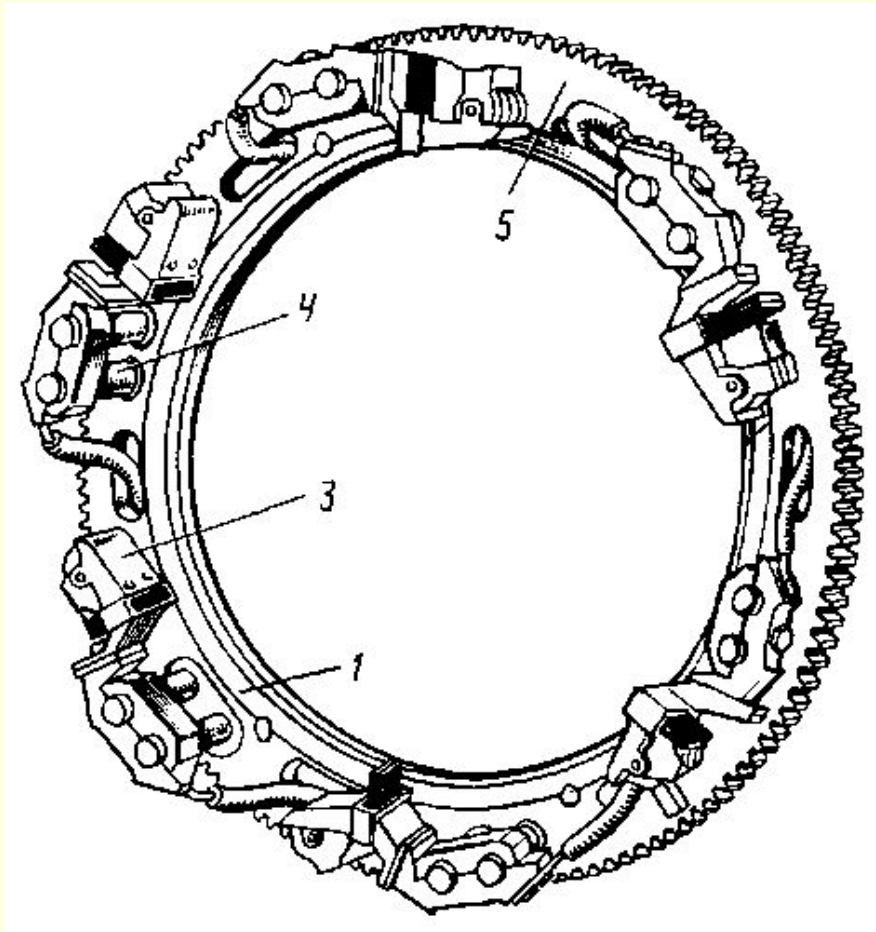
Коллектор



Щетки и щеткодержатели

- Через щетки, установленные в щеткодержателях, электрический ток подводится к обмотке якоря тягового двигателя.
- Щетки для тяговых двигателей изготавливают из графита. Изготавливая их, стремятся к тому, чтобы они имели высокое переходное сопротивление, низкий коэффициент трения, были упругими, износоустойчивыми.
- Одна щетка обычно перекрывает несколько коллекторных пластин, что ухудшает коммутацию двигателей.
- Щеткодержатель состоит из корпуса и кронштейна, корпус соединяют с кронштейном болтом. Для более надежного крепления и лучшего электрического контакта соприкасающиеся поверхности кронштейна и корпуса сделаны рифлеными. Щеткодержатели должны быть надежно изолированы от остова двигателя. Поэтому их кронштейны крепят к остову или подшипниковым щитам с помощью изоляторов.
- Щетки прижаты к поверхности коллектора пальцами, соединенными с пружинами. Для улучшения контакта между щетками и коллектором применяют составные (разрезные) щетки.

Щеточный аппарат тягового электродвигателя ТЛ-2К1



1 – траверса; 2 – стопорный болт;
3 – щеткодержатели; 4 – палец
щеткодержателя; 5 – зубчатый венец

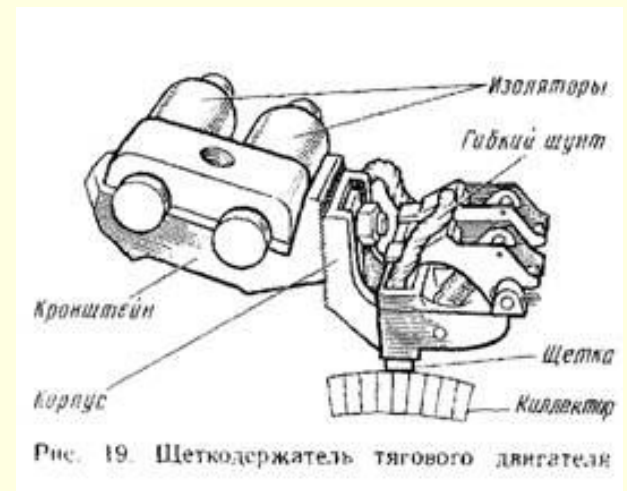
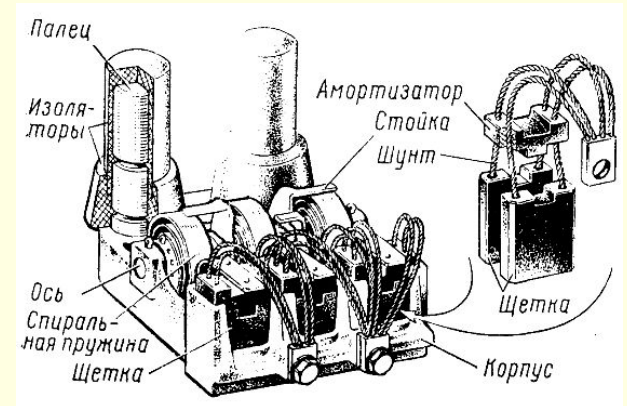
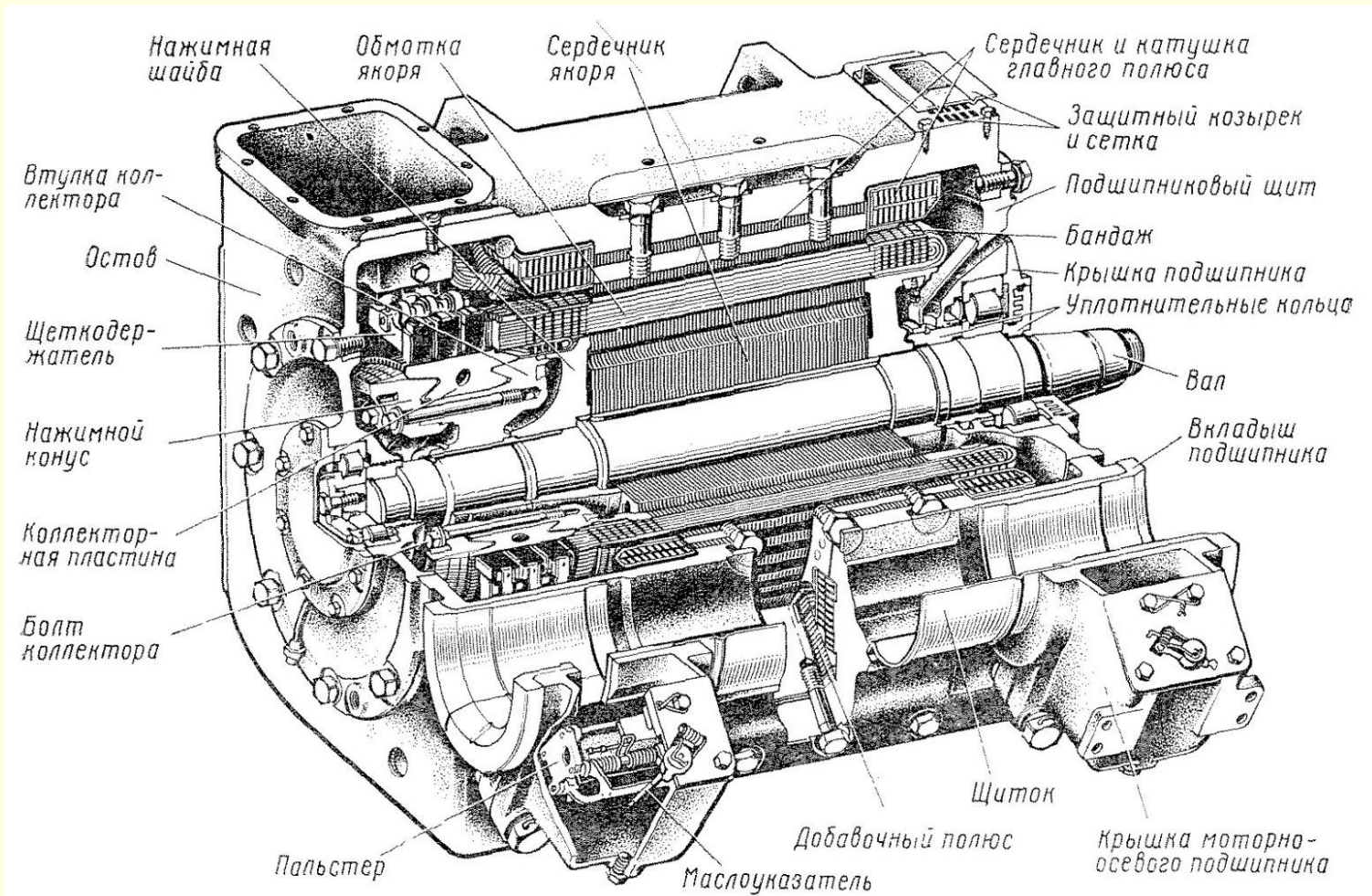


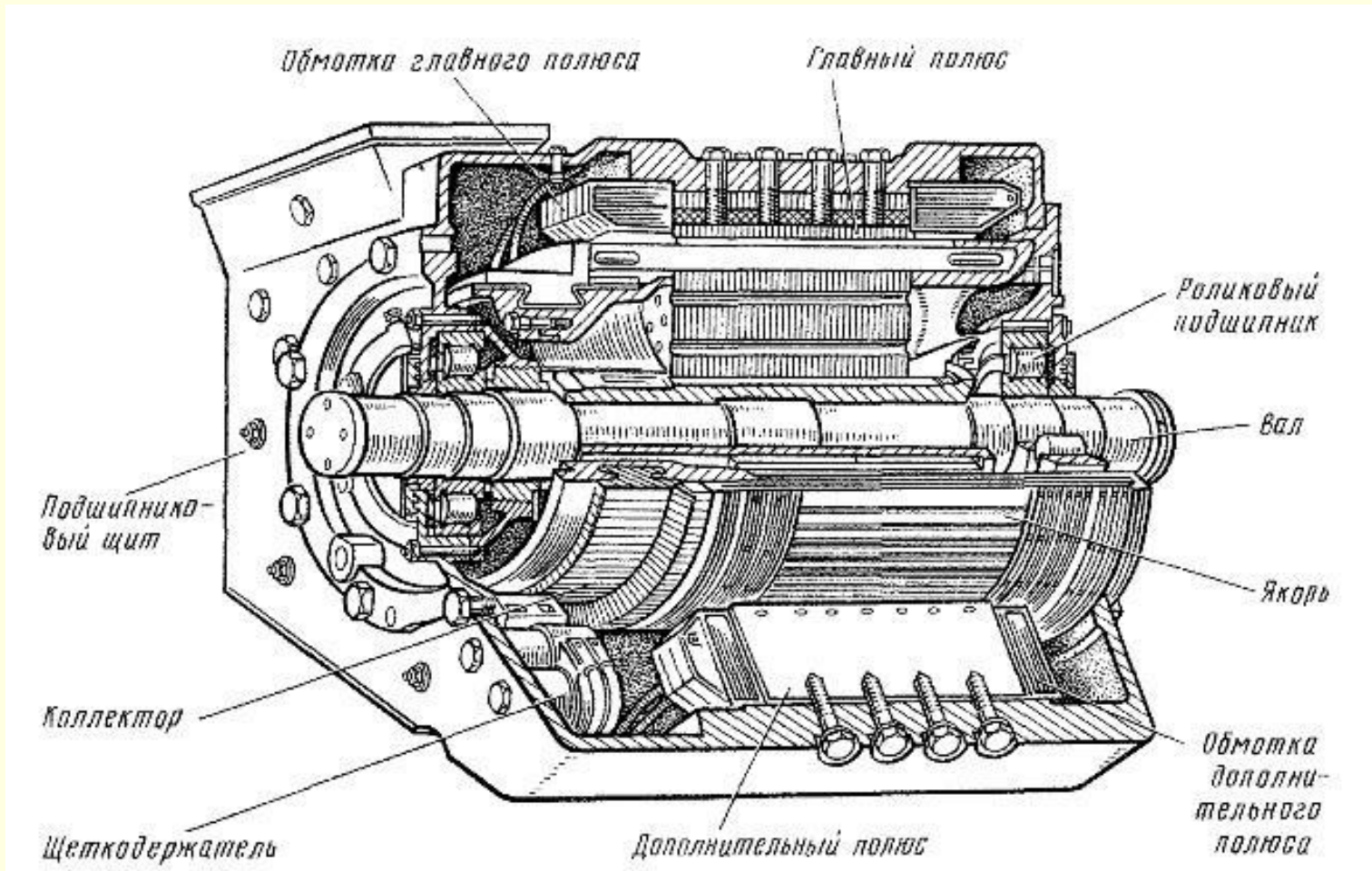
Рис. 19. Щеткодержатель тягового двигателя

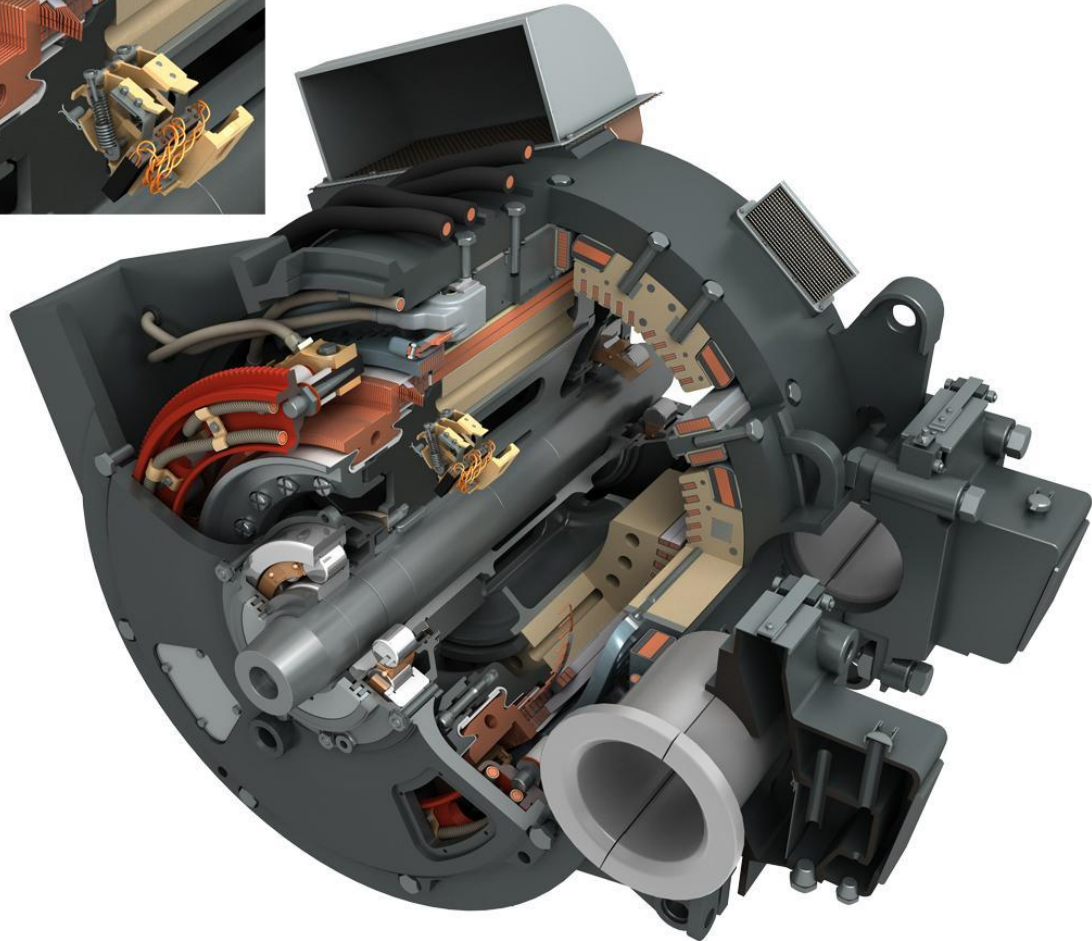
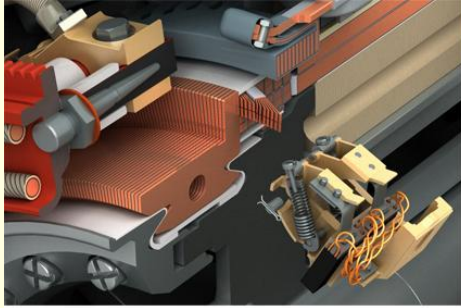
Устройство электродвигателя ЭД 107 (тепловоза 2ТЭ10Л)

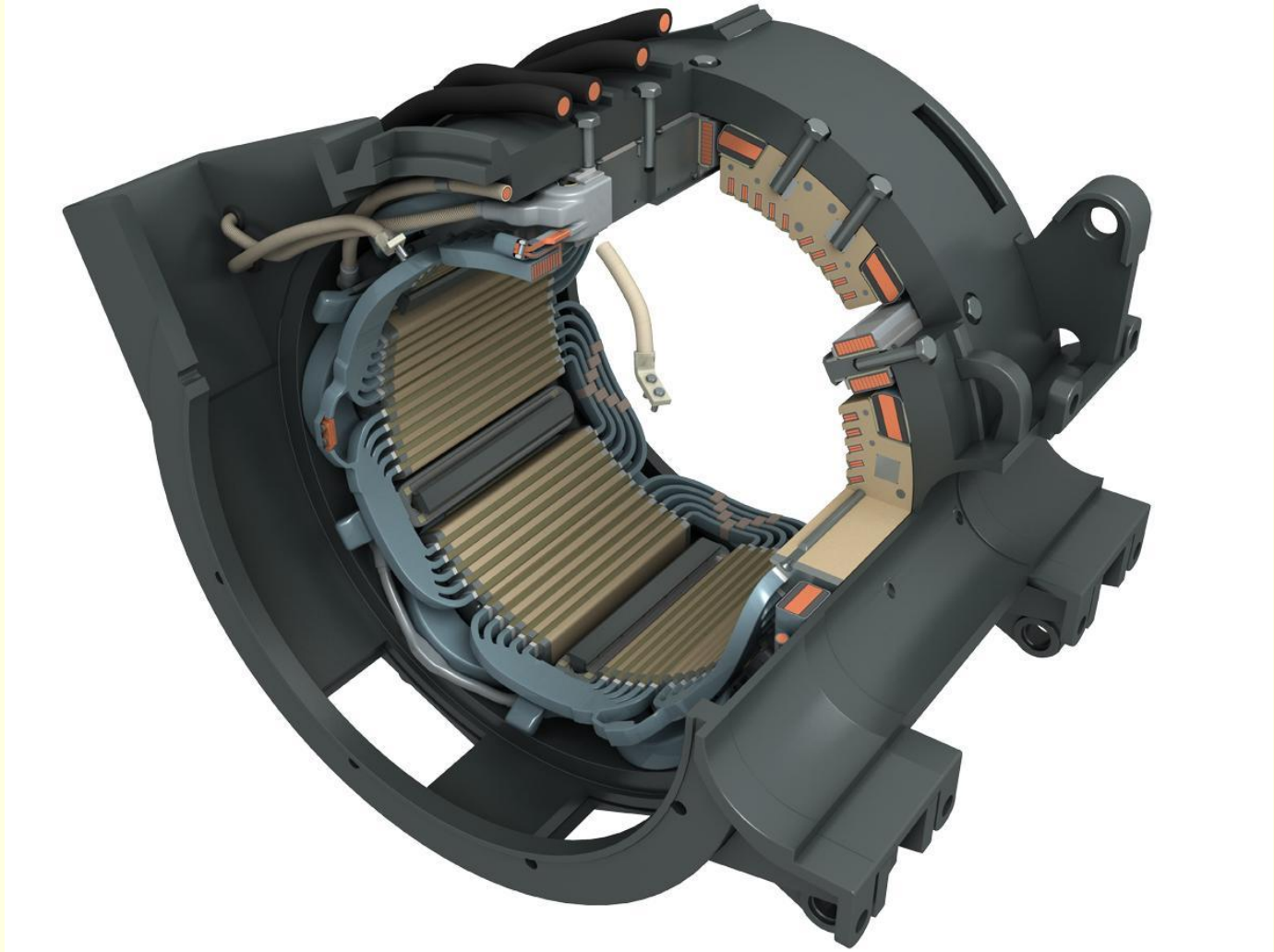


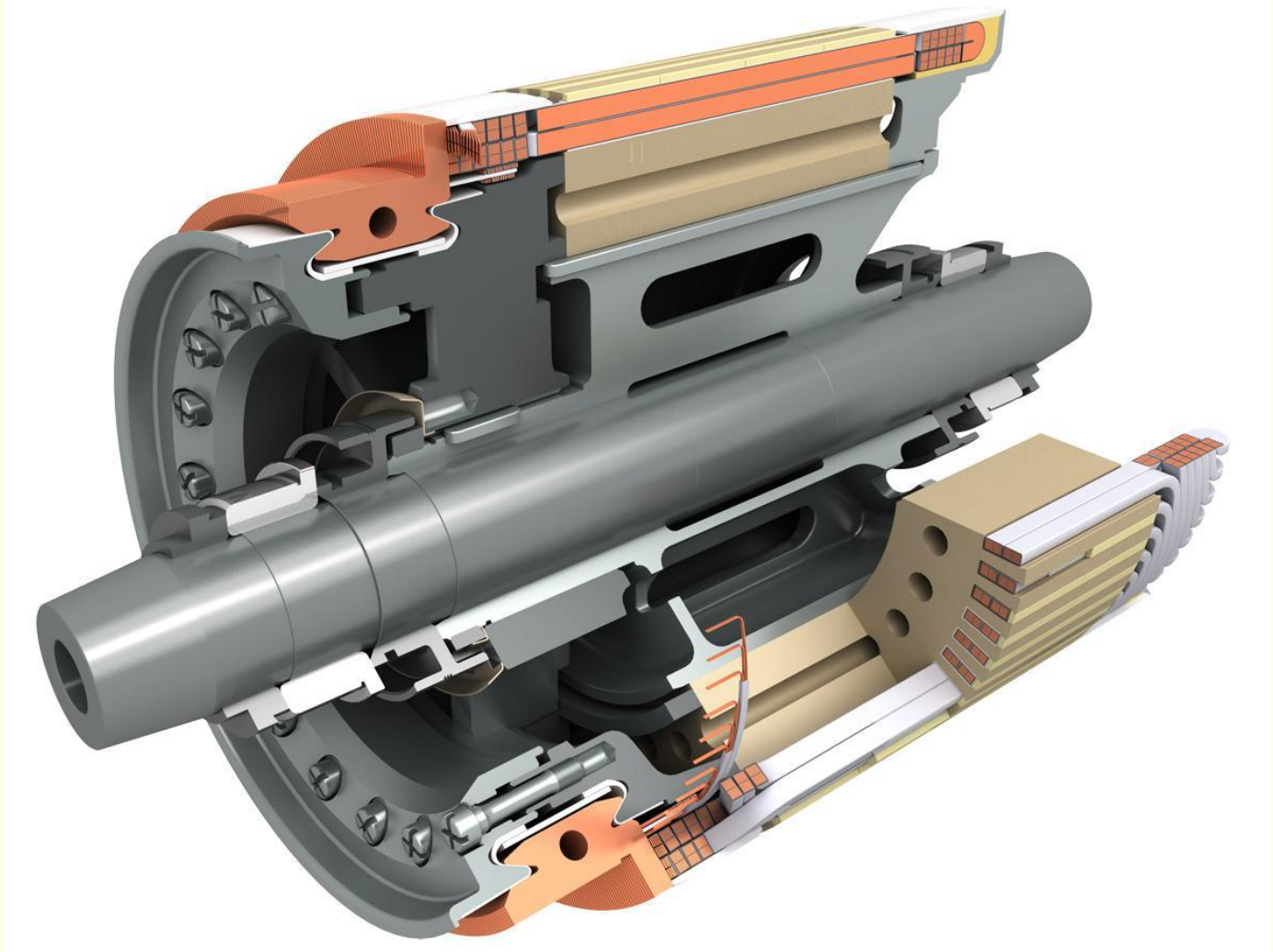
Тяговый электродвигатель тепловоза 2ТЭ10Л

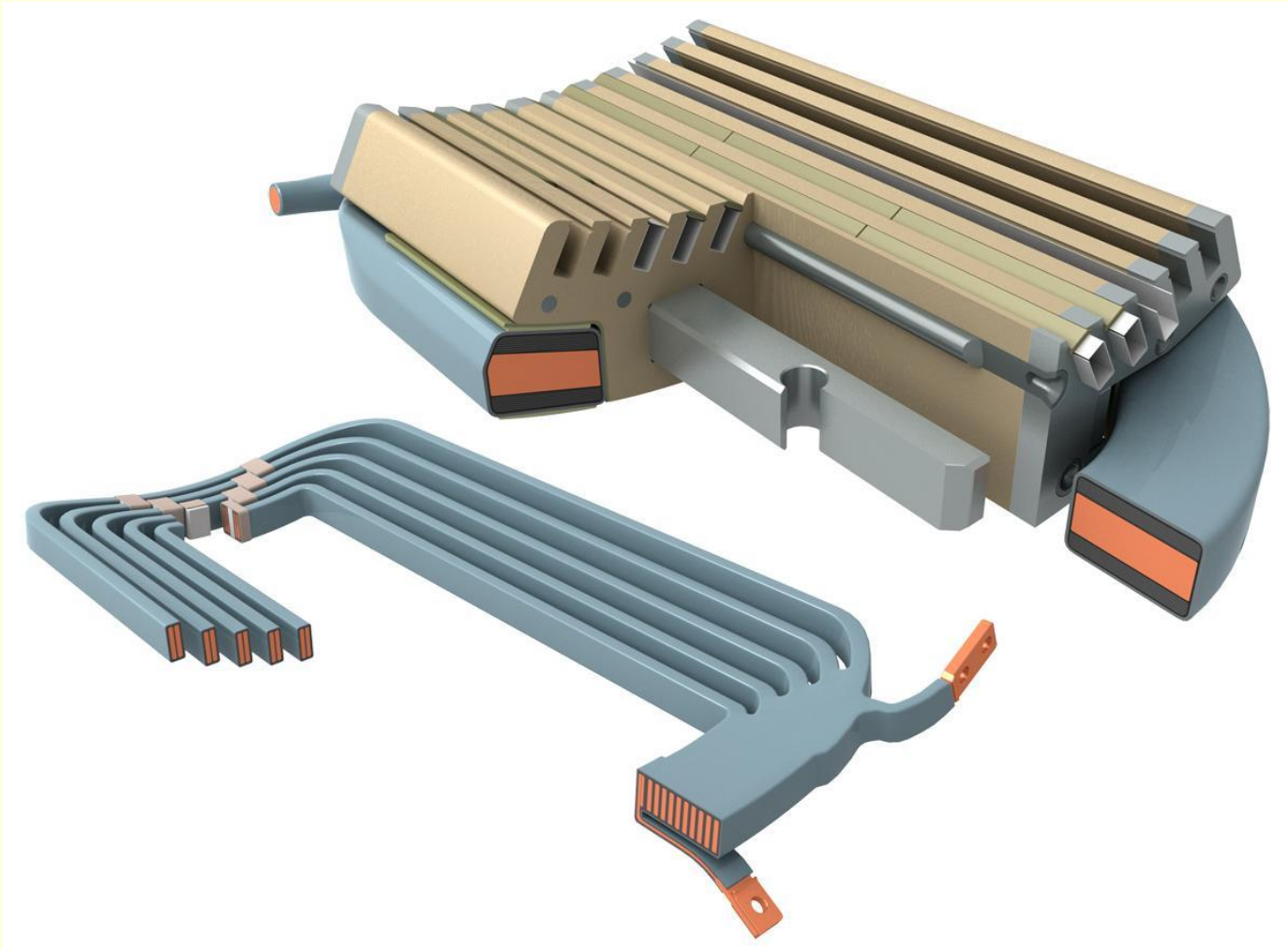
Устройство электродвигателя ЭД 107 (тепловоза 2ТЭ10Л)





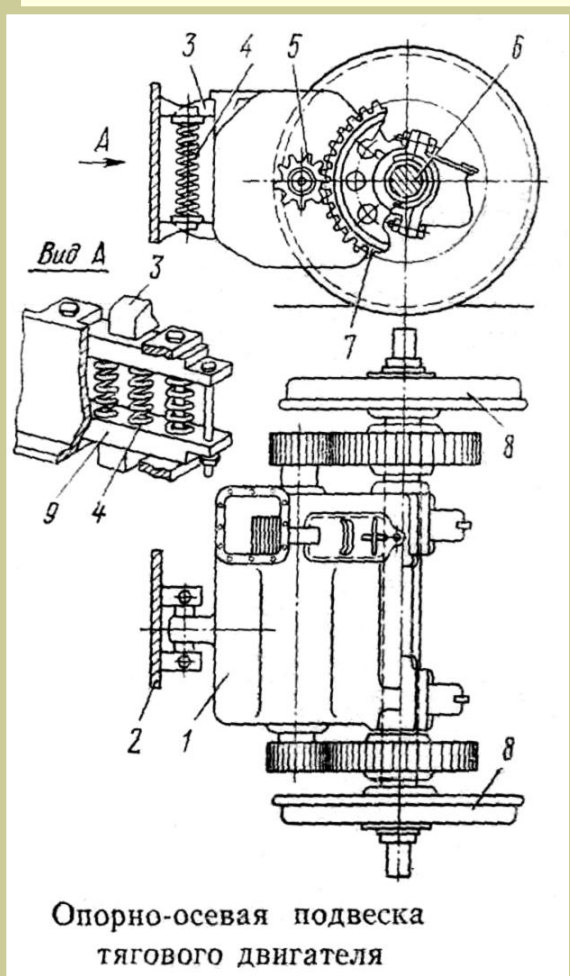








Тяговые передачи



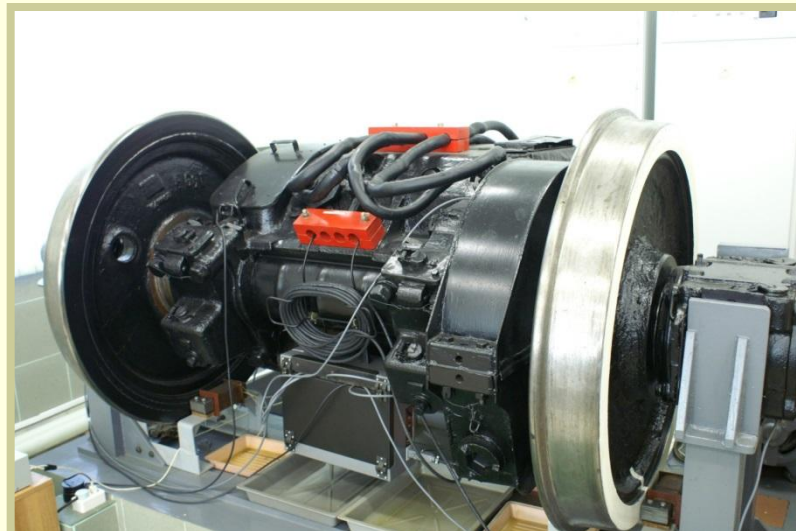
Вращающий момент образованный на валу ТЭД передается на КП.

Различают передачи:

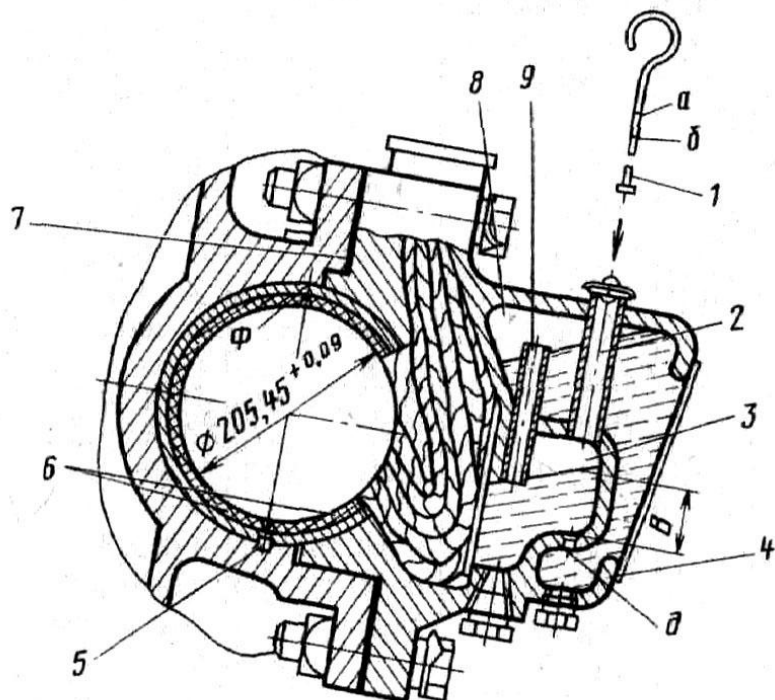
- с опорно-осевым подвешиванием (для грузовых и маневровых ТПС) - когда двигатель с одной стороны опирается на ось колесной пары через моторно-осевые подшипники скольжения (МОП) и связан с ней тяговой передачей, а с другой - через кронштейн и упругий элемент (маятниковую подвеску или траверсу) на раму тележки;

1-ТЭД; 2-рама тележки; 3-кронштейн;
4-пружины; 5-шестеренка; 6-ось;
7-зубчатое колесо; 8-колесная пара; 9-траверса.

Тяговые передачи

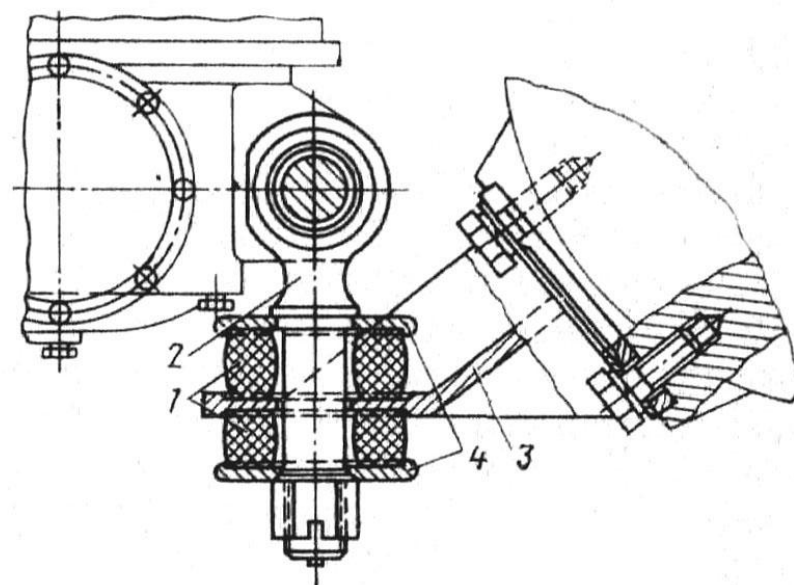


Тяговые передачи



Моторно-осевой подшипник:

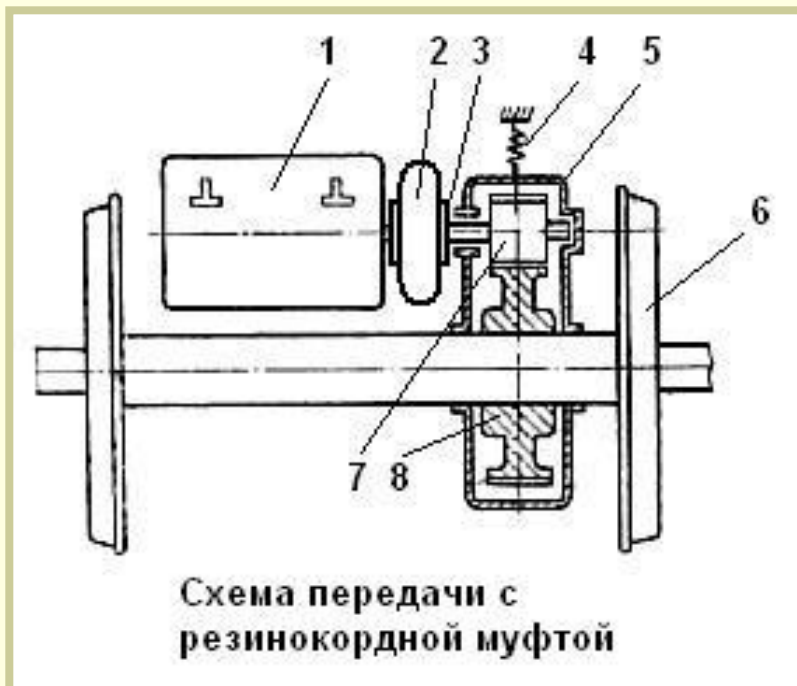
1—контрольный указатель; 2—трубка для заправки подшипника маслом под давлением; 3—рабочая камера; 4—букса с постоянным уровнем; 5—шпонка; 6—вкладыш; 7—стальная прокладка; 8—запасная камера; 9—трубка: d —отверстие; а, б—контрольные риски уровня масла (уровень В) в камере ($B_{\text{ном}} = 40$ мм, $B_{\text{мин}} = 30$ мм)



Подвеска тягового двигателя электровозов ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80:

1 — резиновая шайба; 2 — подвеска; 3 — кронштейн; 4 — стальные диски

Тяговые передачи



- с опорно-рамным подвешиванием (для пассажирского ТПС) - когда ТЭД полностью опирается на раму тележки, то есть полностью обрессорен и защищен от динамических воздействий пути.

1-ТЭД; 2-резинокордная муфта; 3-фланец;
4-упругая подвеска редуктора; 5-редуктор;
6-КП; 7-шестерня; 8-зубчатое колесо.

Тяговый электродвигатель

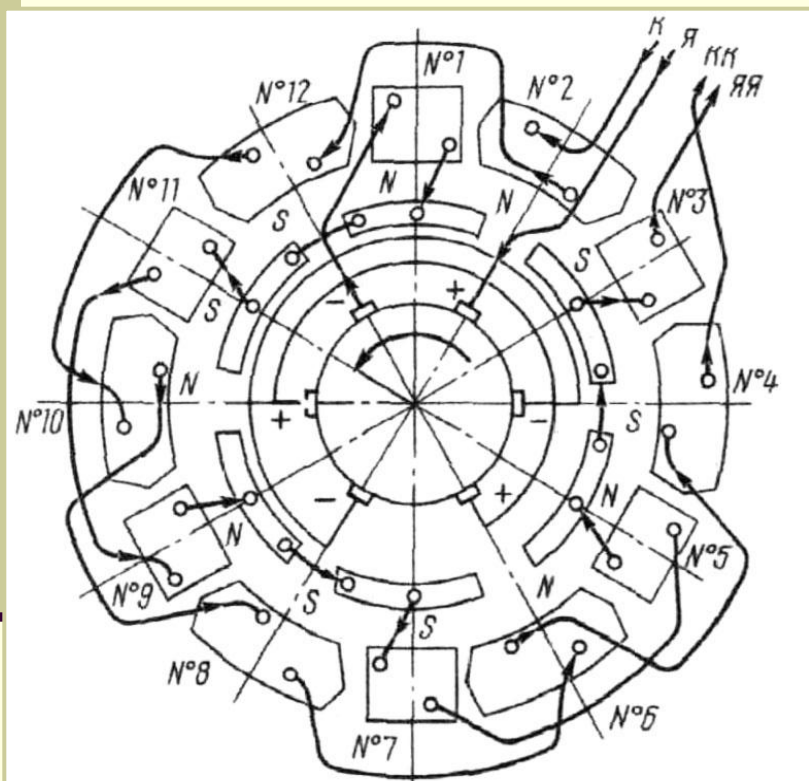
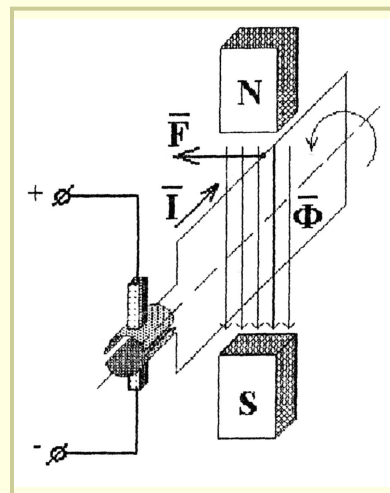


Схема соединения обмоток тягового двигателя НБ-418К6



Принцип работы ТЭД
Правило «левой руки»

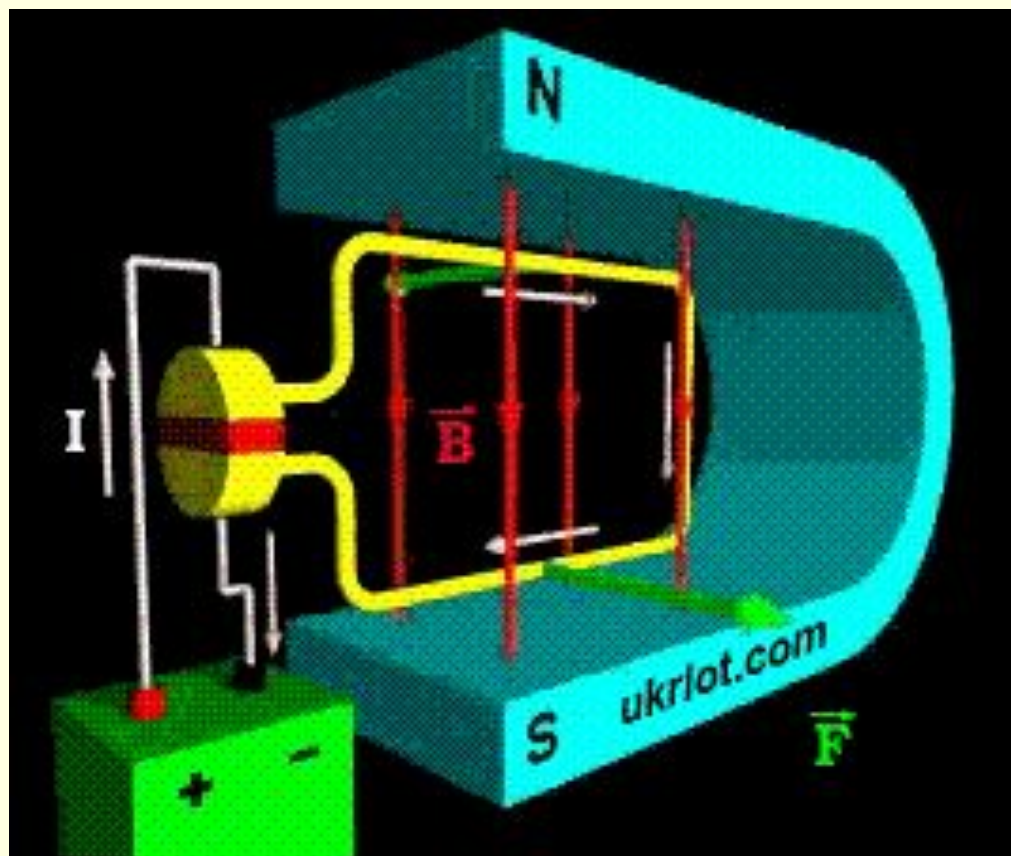
Пуск двигателей постоянного тока

- В начальный момент пуска двигателя якорь неподвижен и противо-э. д. с. и напряжение в якоре равна нулю, поэтому

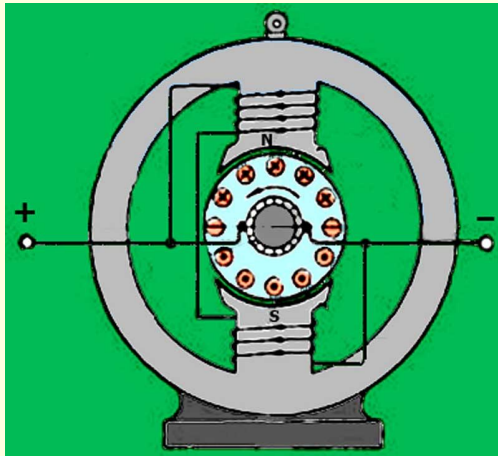
$$I = U / R_{я}.$$

- Сопротивление цепи якоря невелико, поэтому пусковой ток превышает в 10 - 20 раз и более номинальный. Это может вызвать значительные электродинамические усилия в обмотке якоря и чрезмерный ее перегрев, поэтому пуск двигателя производят с помощью пусковых реостатов.
- Двигатели мощностью до 1 кВт допускают прямой пуск.
- Величина сопротивления R_p выбирается по допустимому пусковому току двигателя. Реостат выполняют ступенчатым для улучшения плавности пуска электродвигателя.
- В начале пуска вводится все сопротивление реостата. По мере увеличения скорости якоря возникает противо-э. д. с, которая ограничивает пусковые токи. Постепенно выводя ступень за ступенью сопротивление реостата из цепи якоря, увеличивают подводимое к якору напряжение.

Принцип работы



Принцип работы



- Если по проводам верхней части якоря пропустить ток движущийся «от нас» (отмечено крестиком), а в нижней части - «на нас» (отмечено точкой), то согласно **правилу левой руки** верхние проводники будут выталкиваться из магнитного поля статора влево, а проводники нижней половины якоря по тому же принципу будут выталкиваться вправо. Поскольку медный провод уложен в пазах якоря, то, вся сила воздействия будет передаваться и на него, и он будет проворачиваться.

- Когда проводник с направлением тока «от нас» провернётся вниз и станет против южного полюса создаваемого статором, то он будет выдавливаться в левую сторону, и произойдёт торможение. Чтобы этого не случилось нужно поменять направление тока в проводе на противоположное, как только будет пересечена нейтральная линия. Это делается с помощью коллектора – специального переключателя, коммутирующего обмотку якоря с общей схемой электродвигателя.
- Таким образом, обмотка якоря передаёт вращающий момент на вал электромотора, а тот в свою очередь приводит в движение колесную пару.